



PROCESSOS HIDROMORFOQUÍMICOS NA MORFOGÊNESE DE AMBIENTES TROPICAIS ÚMIDOS: APLICAÇÃO DA AEROGAMAESPECTROMETRIA NA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA REGIÃO DE MORRO DO FERRO E PASSA TEMPO, MG

Henrique Angelo Piovesan Dal Pozzo^{1,2}, Dionísio Uendro Carlos^{1,2},
Eder Cassola Molina², Jurandy Luciano Sanches Ross³

¹AeroGeoPhysica Latinoamérica: Al. Madeira, 53, Cj. 41 - Barueri/SP dalpozzo@agp-la.org

²Depto de Geofísica IAG/USP: Rua do Matão, 1226 - C. U. São Paulo/SP eder@iag.usp.br

³Depto de Geografia FFLCH/USP: Av. P. Lineu Prestes, 338 - C. U. São Paulo/SP
juraross@usp.br

Palavras chave: processos hidromorfoquímicos, aerogamaespectrometria, morfogênese.

Eixo Temático: Análise e diagnóstico de processos erosivos.

Resumo

Este trabalho discute a aplicação de dados aerogamaespectrométricos no estudo e mapeamento de processos geomórficos, utilizando-se como modelo uma área na região de Morro do Ferro e Passa Tempo, no sul do Estado de Minas Gerais, onde estão disponíveis dados de alta resolução e boa qualidade. As informações provenientes dos dados gamaespectrométricos contribuem significativamente na compreensão dos processos geomórficos e de intemperismo da região, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de gerenciamento ambiental mais efetivas, bem como no entendimento dos aspectos hidroquímicos da morfogênese em ambientes tropicais úmidos.

Abstract

This work discusses the application of airborne gamma-ray spectrometric surveys for geomorphic process studies and mapping. A test area at Morro do Ferro and Passa Tempo region, south Minas Gerais State, where high resolution and high quality data is available was investigated. The airborne gamma-ray data information contributes significantly to the understanding of the geomorphic and weathering process of the region, assisting in the development of more effective environment management strategies, as well to understand the morphogenesis hydrochemicals aspects in humid tropical environments.



Introdução

A aerogamaespectrometria é um importante método para obtenção de informações a respeito da composição mineralógica e geoquímica das rochas e de seus produtos de alteração, pois reflete as variações do potássio (K), urânio (U) e tório (Th) da camada superior da superfície terrestre (aproximadamente 30cm). A distribuição e concentração desses radioelementos na superfície variam de acordo com a litologia e com a natureza do intemperismo que o material original foi submetido.

Durante o intemperismo químico e físico, os radioelementos são liberados, redistribuídos e incorporados ao regolito *in-situ* e transportado. Em muitos casos, os radioelementos característicos de materiais regolíticos diferem sensivelmente de suas fontes subjacentes de rochas, devido à reorganização textural e geoquímica no perfil de intemperismo. Alguns materiais regolíticos alterados tipicamente apresentam perda de K, em razão da sua retirada por lixiviação, e elevados valores de U e Th associados com argilas e/ou óxidos de ferro na parte superior do perfil de intemperismo (Dickson & Scott, 1997). Nesse contexto as respostas gamaespectrométricas podem assumir dois aspectos distintos. Nos afloramentos rochosos ou onde o solo é pouco espesso, a resposta gamaespectrométrica retrata diretamente a mineralogia e geoquímica primária da rocha. Já em lugares onde o regolito é mais desenvolvido a resposta gamaespectrométrica retrata a mineralogia e geoquímica secundária. Dessa forma, esses aspectos permitem inferir a respeito da gênese e evolução do manto de alteração, que por sua vez expressam fundamentalmente os processos geomórficos nas vertentes e fundos de vale.

Embora a aerogamaespectrometria seja utilizada essencialmente em exploração mineral e mapeamento geológico, a aplicação em estudos geomorfológicos tem ganhado importância como mostram os trabalhos de Hutchinson (1995), Cook et al. (1996), Dickson et al. (1996), Wilford et al. (1997), Pickup & Marks (2000) e (2001), Wilford et al. (2001), Roberts et al. (2003) e Thomas et al. (2003).

A presente pesquisa discute como os dados aerogamaespectrométricos podem ser utilizados para mapear materiais regolíticos e assim contribuir para o entendimento de processos morfogenéticos em ambientes tropicais úmidos.

Foi utilizada, como exemplo de aplicação da metodologia empregada, uma área na região de Morro do Ferro e Passa Tempo no sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1), onde estão disponíveis dados aerogamaespectrométricos de alta resolução e boa qualidade do Projeto



Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 2 - Pitangui - São João Del Rei - Ipatinga (SEME, 2001).

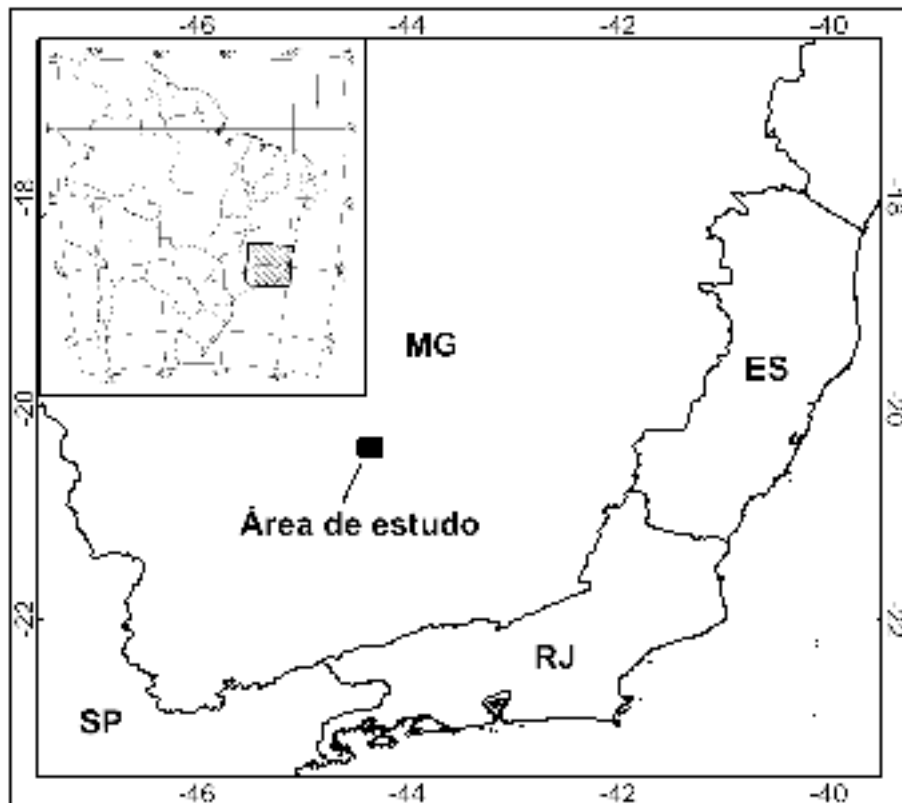


Figura 1: Localização da área de estudo.

Área de estudo

A área de estudo situa-se geologicamente no Complexo Metamórfico Passa Tempo, um dos complexos que constituem a crosta siálica da porção meridional do Cráton do São Francisco. Esse complexo abrange gnaisses tonalíticos e graníticos, rochas máficas e ultramáficas, migmatitos e granitóides (Figura 2). Os litotipos félsicos ocorrem geralmente difundidos em regiões como corpos graníticos (quartzo-monzonítico/ granodiorítico e alcali-graníticos), na maioria das vezes ricos em feldspato potássico e biotita. Ortopiroxênio está presente nos gnaisses, e é comumente re-allocado por hornoblenda e/ou biotita (Campos et al., 2003). No extremo da porção NE da área ocorrem corpos ultramáficos. Uma extensa faixa de metassedimentos do Supergrupo Minas aflora a W da área. Dentro do contexto geomorfológico, a área de estudo localiza-se no domínio morfoescultural de planaltos e serras do sudeste brasileiro. O padrão morfológico é caracterizado por morros de topos convexos com distância interfluvial média, alto grau de entalhamento e predomínio de altas declividades nos setores de média vertente (30 a 80%). A área apresenta um padrão de drenagem fortemente condicionado pela estruturação



tectônica, com lineamentos claramente marcados de NW-SE e NNE-SSE (Figura 3), onde estão encaixados os principais canais.

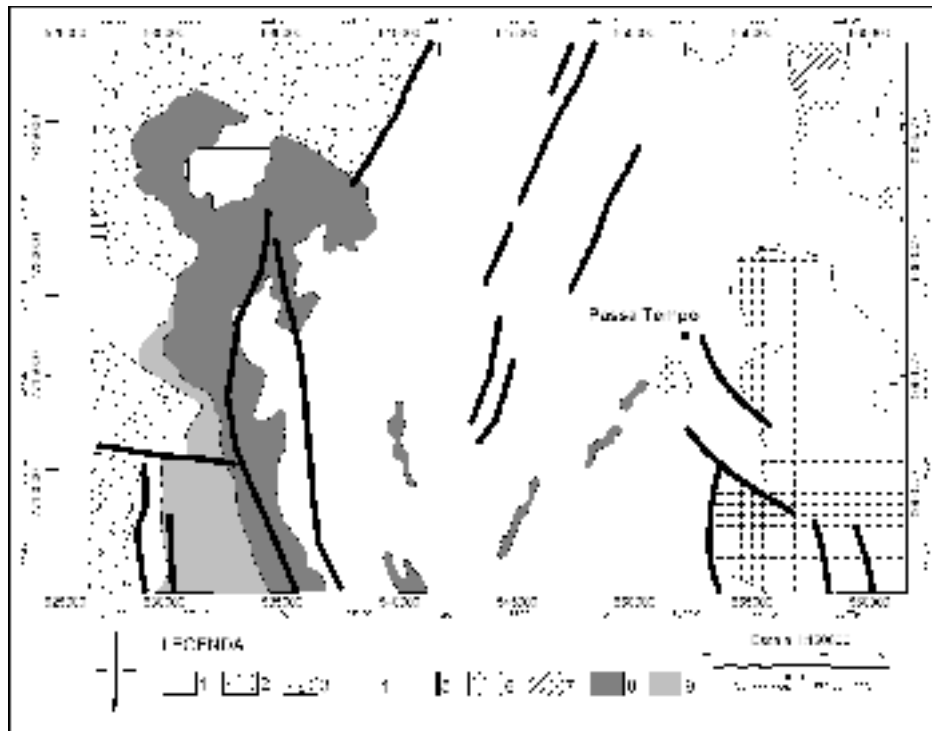


Figura 2: Mapa geológico esquemático da região de Passa Tempo, MG (Adaptado de Campos et al., 2003).
Legenda: 1 – Complexo Metamórfico Passa Tempo - CMPT (granulitos); 2 – CMPT (ortognaisses migmatizados e granodioritos); 3 – CMPT (ortognaisses tonalíticos); 4 – (granitos cinza claros variavelmente deformados); 5 – CMPT (granitos); 6 – (granodioritos cinza claros deformados); 7 – (gabros); 8 – Supergrupo Rio das Velhas; 9 – Complexo Metamórfico Bonfim.

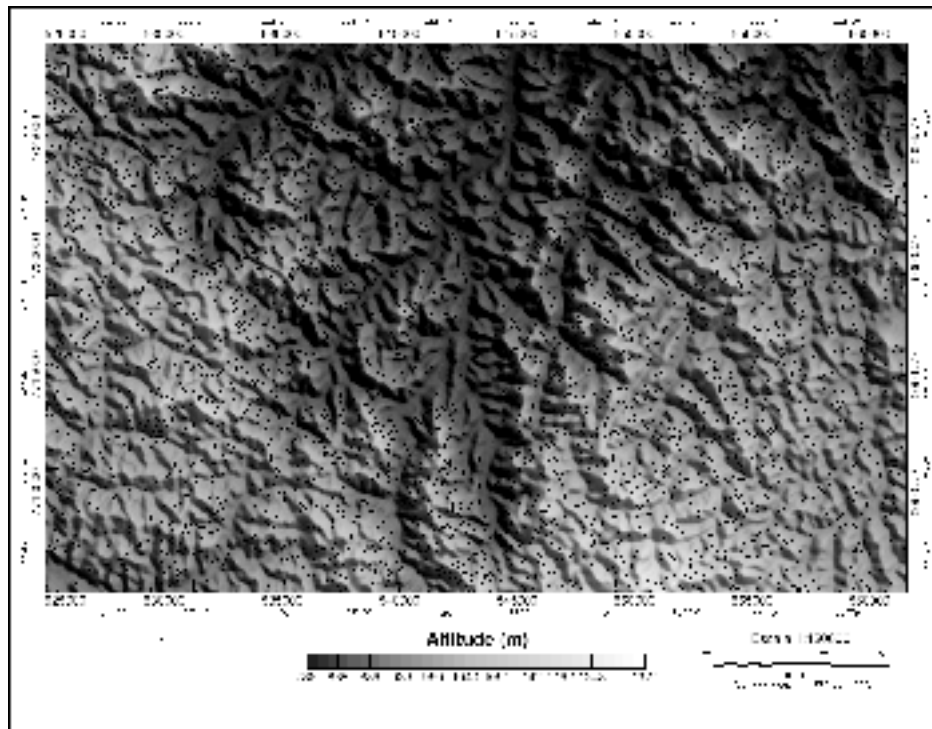


Figura 3: Mapa Topográfico da região de Passa Tempo, MG.

Metodologia

Os levantamentos aerogamaespectrométricos medem a abundância de urânio, tório e potássio na superfície terrestre pela detecção da radiação gama proveniente do decaimento natural dos radionuclídeos das séries do ^{238}U (^{214}Bi), ^{232}Th (^{208}Tl) e do próprio ^{40}K . Destes, o potássio é o que ocorre em maior abundância na crosta terrestre (2,5% em média). Os maiores hospedeiros de K nas rochas são o feldspato potássico e as micas. U e Th, por sua vez, apresentam uma média crustal de 3ppm e 12 ppm, respectivamente. U ocorre geralmente associado a rochas silicáticas, granitos, pegmatitos, sienitos, folhelhos e minerais acessórios. Já o Th é comum em minerais acessórios e resistentes como zircão, apatita, xenotímio, monazita e epidotita.

A resposta gamaespectrométrica retrata a mineralogia e geoquímica das rochas e minerais e seus produtos de alteração (solo, saprolito, sedimentos aluviais e coluviais). Como a maior parte (90%) da radiação gama medida provém de uma profundidade de 30 a 45cm da superfície do terreno (Minty, 1997), o desenvolvimento do solo sobre a matriz rochosa desempenha um papel importante na caracterização gamaespectrométrica de uma determinada região (Wilford et al., 1997). Nos locais onde ocorre afloramento rochoso ou o solo é pouco espesso, a resposta gamaespectrométrica reflete essencialmente a mineralogia e o comportamento geoquímico primário da matriz rochosa. Por outro lado, durante o desenvolvimento do manto de alteração pelo intemperismo físico e químico e pela



pedogênese, esses radioelementos podem ser liberados, redistribuídos e incorporados no regolito *in-situ* e transportado. Em muitos casos, a resposta gamaespectrométrica difere significativamente da rocha matriz em virtude desses processos, retratando a mineralogia e geoquímica secundária. O K é geoquimicamente móvel e solúvel na maioria das condições de intemperismo (Pickup & Marks, 2000; Fonseca, 1999; Selby, 2000), sendo facilmente perdido por dissolução ou adsorção em minerais de argila como illita, montmorillonita e em menor extensão caolinita. U e Th tendem a ficar retidos nos minerais resistentes, argilas e óxidos de ferro (Wilford et al., 1997).

Dentro do escopo geomorfológico, as vertentes mais íngremes possuem normalmente uma razão de erosão elevada, e em virtude disto, o perfil de intemperismo é menos desenvolvido e pouco espesso, retratando do ponto de vista da resposta gamaespectrométrica, a mineralogia e geoquímica primária da rocha matriz. Wilford et al. (1997), Pickup & Marks (2000), Thomas et al. (2003) e Wilford et al. (2003) observaram uma relação direta entre o aumento da porcentagem de K e o aumento da declividade. Por outro lado, em relevos mais estáveis onde a razão de erosão é menor que a razão de intemperismo, nas zonas de topo e vertentes mais suaves, o regolito torna-se mais maduro e conseqüentemente pobre em K, que é facilmente removido das zonas mais superficiais do perfil de alteração. Como Th e U tipicamente se associam a argilas, óxidos e minerais resistentes, tendem a se concentrar em perfis altamente intemperizados (Wilford et al. 1997). A mobilidade relativa dos principais elementos constituintes das rochas frente à atividade intempérica e a resposta gamaespectrométrica associada está sumarizada na figura 4.

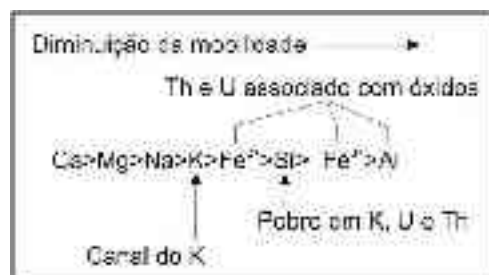


Figura 4: Mobilidade relativa dos elementos constituintes das rochas. Adaptado de Wilford et al. (1997).

A resposta gamaespectrométrica em ambientes morfogenéticos agradacionais dá indicações sobre a mineralogia e geoquímica das áreas fontes e pode ser utilizada para avaliar o grau de alteração dos sedimentos aluviais e coluviais e as condições de regime deposicional. Depósitos aluviais recentes derivados de rochas graníticas e metamórficas geralmente apresentam alta porcentagem de K (Wilford et al., 1997). Este fato sugere que o processo



morfofogenético agradacional neste caso é relativamente rápido e atual, uma vez que o K é facilmente removido por intemperismo e lixiviação. Por outro lado, os sedimentos relativamente mais antigos de terraços aluviais também derivados de rochas graníticas e metamórficas apresentam comumente baixa porcentagem do K, com relação ao Th e U, em razão da atuação de processos pedogenéticos e lixiviação (Wilford et al., 1997).

Com base nesses pressupostos acima expostos a gamaespectrometria pode ser usada para separar áreas com alta atividade erosiva de áreas com superfícies mais estáveis, onde prevalece o desenvolvimento do manto de alteração, e permite avaliar as condições morfofogenéticas em compartimentos agradacionais.

Características dos dados

Os dados aerogamaespectrométricos utilizados nesta pesquisa correspondem a uma parcela dos dados aerogeofísicos do Bloco W do Projeto Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 2 - Pitanguí - São João Del Rei - Ipatinga (SEME, 2001). As linhas de vôo foram executadas com espaçamento de 250m na direção N30°E e as linhas de controle com espaçamento de 2500m na direção N60°W. A altura nominal de vôo foi de 100m e a velocidade da aeronave de 200km/h, com intervalo de amostragem de 1 medida por segundo (1 Hz), equivalendo aproximadamente a uma medida a cada 55 metros no terreno. Foi utilizado um gamaespectrômetro EXPLORANIUM, modelo GR820 de 256 canais. O sistema detector é composto de dois conjuntos de cristais de NaI(Tl) de 1042 polegadas cúbicas, totalizando 2048 polegadas cúbicas de detectores voltados para baixo (*downward looking*) e dois cristais, de 256 polegadas cúbicas cada, voltados para cima (*upward looking*).

Na análise do relevo e elaboração do mapa clinográfico foram utilizados os dados do Modelo Digital de Elevação da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução nominal de 90m.

Procedimentos

A análise dos processos geomórficos e dos aspectos hidromorfoquímicos na morfofênese em ambientes tropicais úmidos, realizada nesta pesquisa, baseou-se na integração de dados aerogamaespectrométricos e morfométricos, com o intuito de delimitar compartimentos geomorfológicos cujas características específicas dos processos físico-químicos atuantes podem ser contempladas, em âmbito regional, a partir do modelo de correlação construído.



Os dados aerogamaespectrométricos foram interpolados com tamanho de célula de 50m pelo método de mínima curvatura, para compor uma malha regular de porcentagem de K para a área de estudo. A partir da malha do modelo digital de elevação SRTM foram calculadas as derivadas horizontais (dz/dx , dz/dy) utilizando-se a FFT (Fast Fourier Transform). Dessas derivadas calculou-se a clinografia (S em %) através da equação:

$$S = \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} \times 100$$

A correlação dos dados de concentração de K e dados morfométricos foi feita utilizando-se uma análise estatística com base na separação de classes a partir de um histograma bidimensional. Com base nesta correlação foi elaborado um mapa de classificação dos processos geomórficos, retratando a dinâmica geomorfológica e seus aspectos hidroquímicos na região de Passa Tempo, MG.

Resultados

As figuras 5 e 6 mostram os mapas clinográfico e de concentração de K, respectivamente.

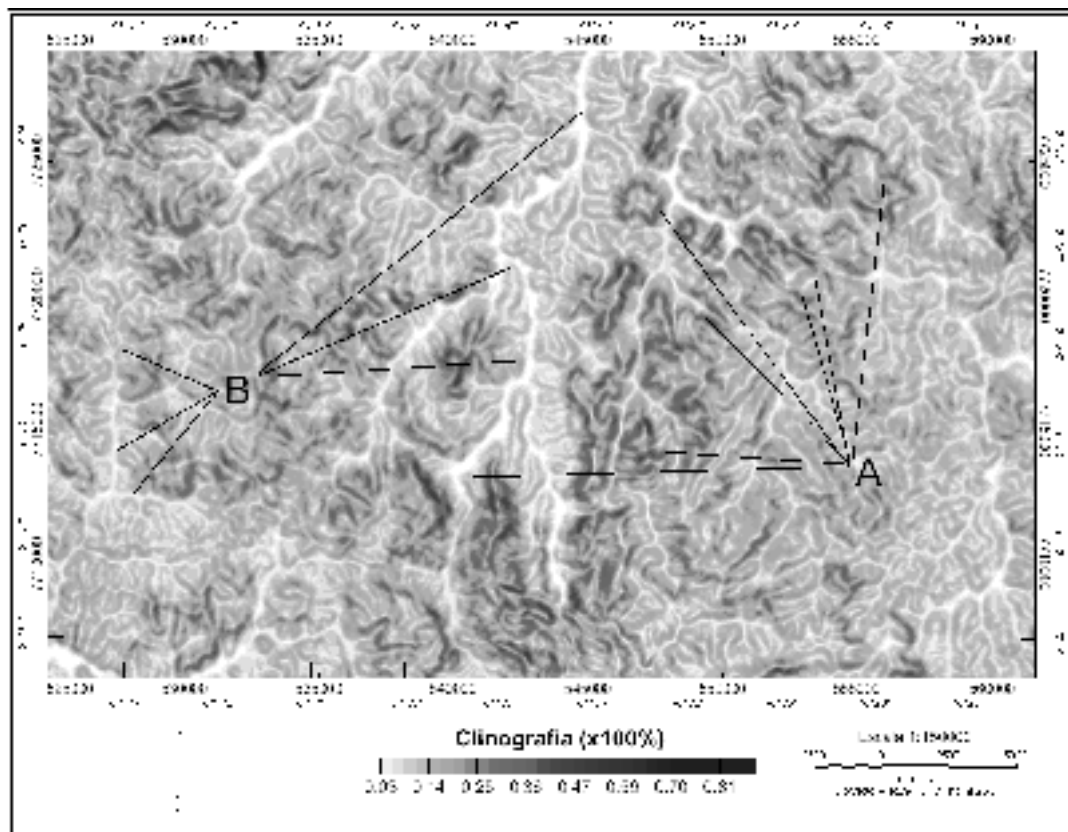


Figura 5: Mapa Clinográfico da região de Passa Tempo, MG.

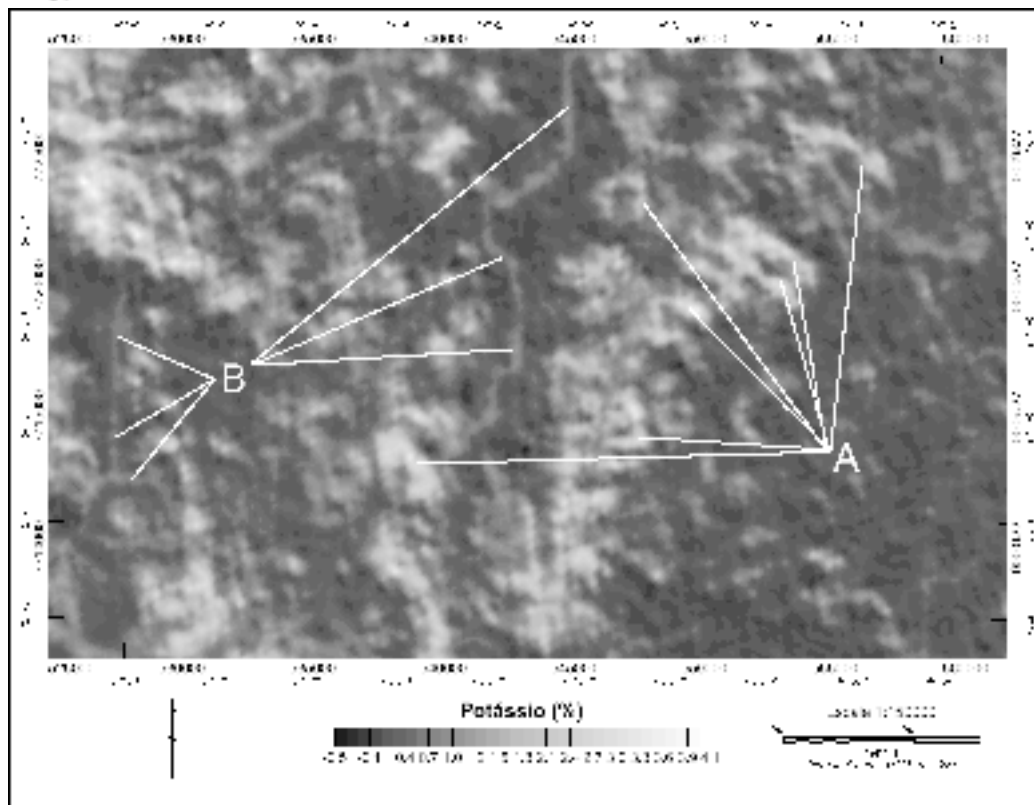


Figura 6: Mapa de concentração de potássio da região de Passa Tempo, MG.

Os compartimentos indicados com a letra A nos dois mapas representam as áreas cujas vertentes possuem alta declividade e alta concentração de K. A alta concentração de K nesses setores de vertentes com altas declividades se deve à mineralogia e geoquímica primária dos litotipos que compõem o Complexo Metamórfico Passa Tempo – gnaisses, tonalitos, granitos, migmatitos e dioritos – que são geralmente ricos em feldspato potássico e biotita, principais hospedeiros primários de K na natureza. Tal característica sugere a presença de um perfil de alteração jovem, pouco desenvolvido (neossolos litólicos e cambissolos) evidenciando que nessas áreas a razão de erosão é superior à razão de intemperismo. As áreas com declividades média e baixa, nos setores de topo e vertentes mais suaves, apresentam baixa concentração de K. Como os litotipos fontes nessa área caracterizam-se por alta concentração de K, a baixa concentração observada desse elemento nessas superfícies mais estáveis do ponto de vista geomórfico está provavelmente associada ao grau de alteração do material regolítico. Dessa forma, a razão de intemperismo supera a razão de erosão, permitindo assim um maior desenvolvimento do manto de alteração.

Os compartimentos indicados com a letra B representam as superfícies planas de baixa declividade das planícies aluviais, com alta concentração de K. Nessas áreas de regime morfogenético agradacional a alta concentração de K retrata a mineralogia e geoquímica da



área fonte (litotipos do Complexo Metamórfico Passa Tempo), sugerindo que o processo deposicional na área está ativo ou pelo menos é recente, uma vez que o K é facilmente lixiviado.

Esses três padrões de regimes geomórficos acima expostos foram correlacionados e classificados a partir de uma análise de histograma bidimensional, o que permitiu chegar a um modelo de processos geomorfológicos atuantes na área. Os resultados da correlação dos dados gamaespectrométricos e morfométricos estão na tabela 1, e os modelos são apresentados nas figuras 7, 8 e 9.

Tabela 1: Resultados da classificação dos processos geomórficos.

Nome	N. de pontos	Parâmetro	Média	Variância	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Correlação
Classe 1	5137	%K	0,64923	0,04235	0	0,93100	0,38756
		S	0,04615	0,00050	0,00461	0,09030	
Classe 2	16326	%K	1,38809	0,26084	0,71735	3,59200	0,30468
		S	0,26034	0,00389	0,18377	0,85368	
Classe 3	42147	%K	0,28074	0,02496	0	0,69792	0,46947
		S	0,12719	0,00122	0,05135	0,22272	

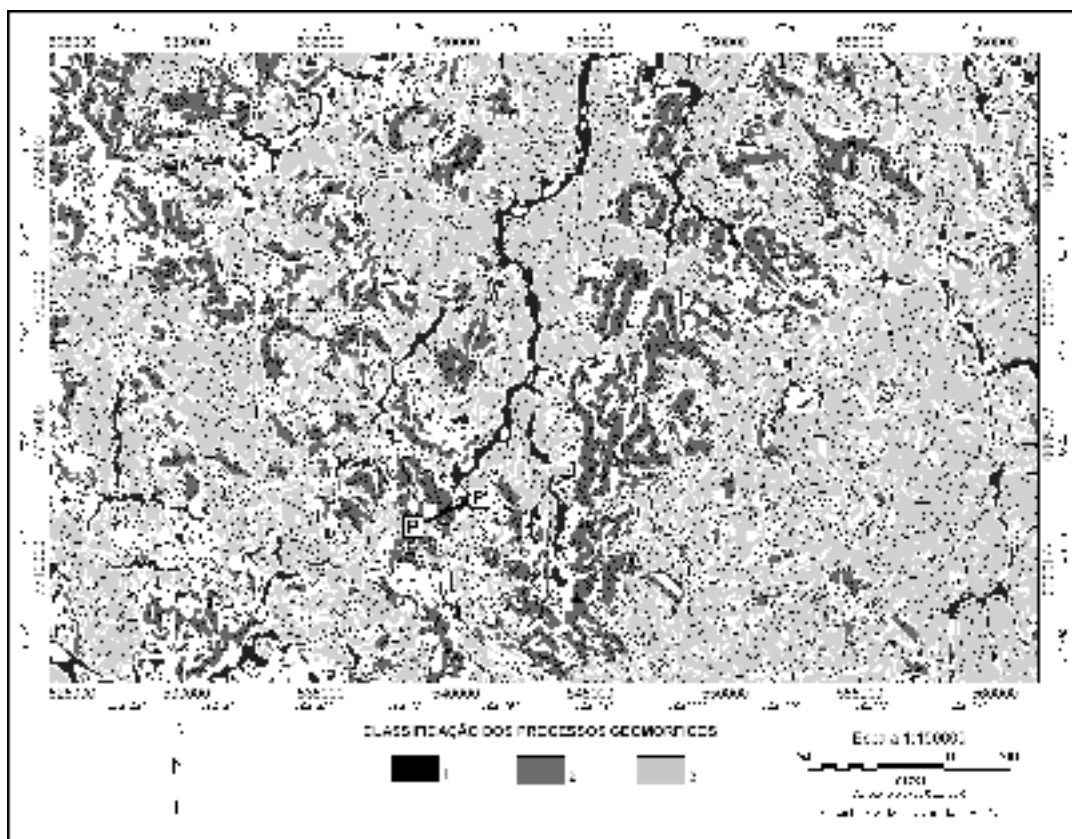


Figura 7: Classificação dos processos geomórficos. Legenda: 1 - Processo agradacional ativo: superfícies planas e alta concentração de K; 2 - Predomínio de processo degradacional ativo: vertentes de altas declividades com alta concentração de K; 3 - Predomínio do desenvolvimento do solo e transporte hidroquímico ao longo do perfil: vertentes com baixas e médias declividades e baixa concentração de K; P-P': Localização do perfil modelo mostrado na figura 9.

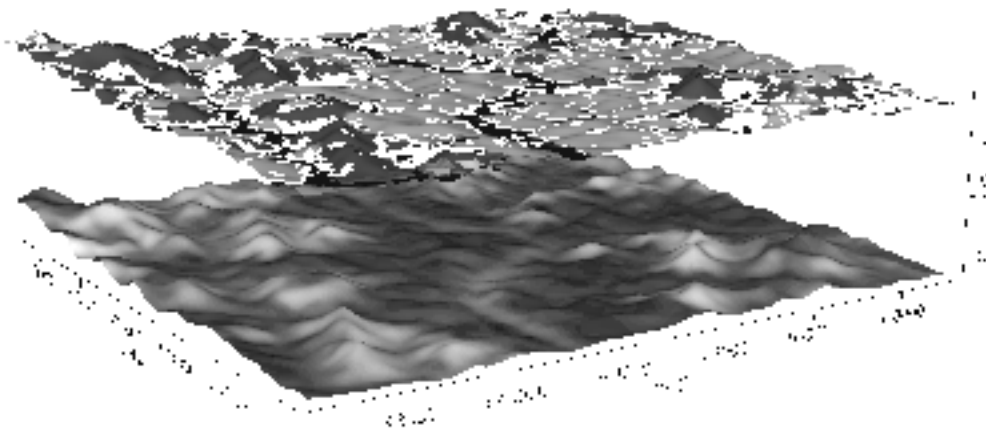


Figura 8: Modelo tridimensional do relevo da área de Passa Tempo, MG. O modelo inferior mostra a concentração de K na superfície do relevo. O modelo superior mostra o resultado da classificação dos processos geomórficos nas vertentes e fundos de vale.

Na figura 7 é mostrada a distribuição espacial dos processos geomorfológicos atuantes na região de Passa Tempo, MG, caracterizados pela separação em três classes distintas do regime geomórfico e da resposta gamaespectrométrica associada. Na figura 8 pode-se observar essa distribuição no modelo tridimensional do relevo da área.

A classe 1 representa os ambientes morfogenéticos agradacionais recentes onde estão sendo depositados os produtos de alteração do CMPT ricos em K, transportados mecânica e quimicamente. Nas figuras 7 e 8 as planícies aluviais podem ser visualizadas ao longo das drenagens principais, destacadas pela alta concentração de K.

A classe 2 representa o predomínio dos processos degradacionais ativos nas vertentes com altas declividades. Nesses setores de vertente a ação do processo erosivo faz com as porções menos intemperizadas do perfil de alteração sejam expostas. Nas figuras 7 e 8 é possível observar essa classe circundando os morros e áreas mais dissecadas do relevo.

A classe 3 representa o predomínio do processo de alteração e desenvolvimento do solo nos setores de topos e vertentes com declividades média a baixa. Nessas superfícies mais estáveis em que a infiltração da água é mais efetiva que o escoamento superficial, o processo de intemperismo conseqüentemente é mais atuante que o processo erosivo. Os elementos solúveis (mostrados na figura 4) são transportados ao longo do perfil e das vertentes, deixando as porções mais superficiais empobrecidas. Como desses elementos o K é detectável pela gamaespectrometria, a baixa concentração observada indica um nível elevado de alteração do perfil. As figuras 7 e 8 mostram a ocorrência dessa classe ao longo das morfologias mais suaves.

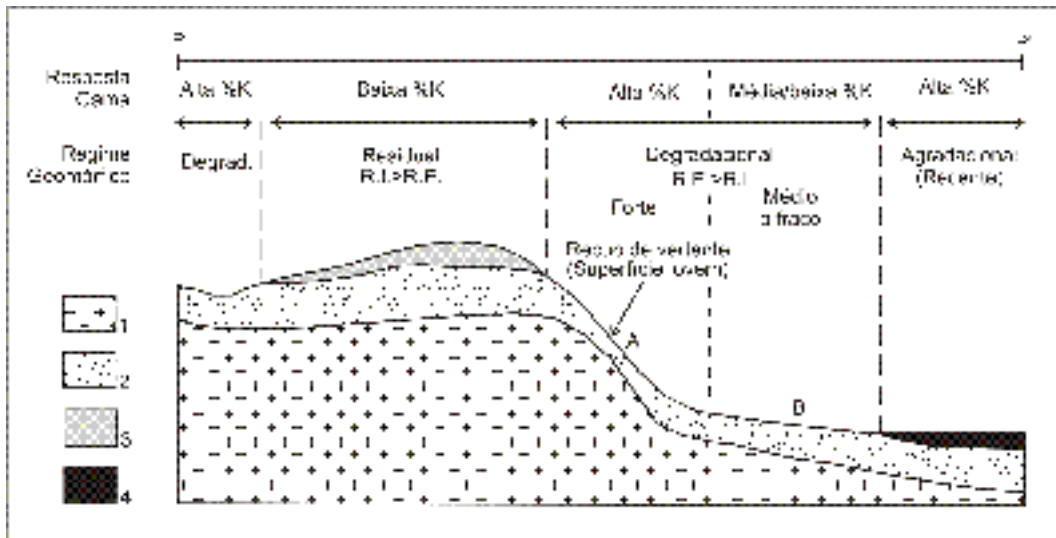


Figura 9: Modelo sintético da relação entre os processos geomórficos e a resposta gamaespectrométrica para a área de Passa Tempo, MG. O modelo foi concebido a partir de Wilford et al. (1997). Legenda: 1 – Matriz rochosa do Complexo Metamórfico Passa Tempo; 2 – Material saprolítico, com fragmentos da matriz rochosa e baixo grau de alteração; 3 – Material residual, geralmente arenoso, altamente alterado; A – Zona de recuo de vertente, com perfil de intemperismo pouco desenvolvido; B – Zona de menor atuação de processos erosivos em razão da diminuição da energia cinética do escoamento superficial; R.E. – Razão de erosão; R.I. – Razão de Intemperismo.

A análise dos processos geomórficos atuantes nessa área sugere que uma parte da retirada do material de alteração do ambiente degradacional ocorre quimicamente. Por se tratar de um ambiente tropical úmido com abundância hídrica, a mobilidade dos compostos (CaO, NaO, K₂O) por dissolução retira, durante o processo de alteração das rochas, uma quantidade considerável da massa de material pedológico e litológico que dá sustentação ao relevo. No caso do K, que pode chegar a compor cerca de 5,5% (Dickson & Scott, 1997) da massa rochosa em alguns litotipos ricos em feldspato potássico e biotita, a sua retirada pelo processo hidroquímico, como observado nessa pesquisa, pode representar um aspecto fundamental na morfogênese em ambientes tropicais úmidos.

Embora não exposto nesse trabalho, o comportamento de Th e U mostra um padrão similar ao discutido na metodologia, permitindo caracterizar as áreas com maior grau de alteração do regolito, e dessa forma contribuir efetivamente para a compreensão do processo morfogenético atuante nesses ambientes.

Conclusões

A análise química e física dos processos geomórficos a partir da aerogamaespectrometria tem a vantagem da possibilidade de investigar grandes áreas, permitindo uma análise da



morfogênese dentro de um contexto regional, o que para outras metodologias demandaria muito tempo, seria extremamente custoso, e exigiria que fossem feitas diversas generalizações.

A aplicação dessa metodologia integrada a dados morfométricos na análise do relevo permitiu investigar e mapear os processos geomórficos atuantes na região de Morro do Ferro e Passa Tempo, sul do Estado de Minas Gerais. Foram reconhecidos três compartimentos distintos: áreas com processo agradacional ativo, representadas por superfícies planas e com alta concentração de K, áreas com processo degradacional ativo predominante, caracterizadas por vertentes de altas declividades e alta concentração de K, e áreas com predomínio de desenvolvimento do solo e transporte hidroquímico ao longo do perfil e vertentes, associadas às vertentes com baixas e médias declividades e baixa concentração de K.

O mapa de classificação elaborado fornece importantes subsídios para avaliar os riscos econômicos e ambientais decorrentes da atuação dos processos geomórficos na região investigada.

O modelo geomórfico elaborado sugere que os processos hidroquímicos desempenham um papel importante na morfogênese em ambientes tropicais úmidos, uma vez que a retirada do material de alteração ocorre em parte por dissolução, e não apenas mecanicamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Estado de Minas e Energia (SEME) e Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG) pelo fornecimento dos dados aerogeofísicos utilizados nesse trabalho, ao geofísico Leandro Moutinho pela valiosa contribuição no processamento dos dados, e à geoquímica Erika Reyes pela esmerada revisão e discussão dos resultados.

Referências

- CAMPOS, J. C. S.; CARNEIRO, M. A.; BASEI, A. S. U-Pb evidence for Late Neoproterozoic crustal reworking in the southern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). **Anais da Acad. Bras. Cienc.**, v.75, n.4, p.497-511. 2003.
- COOK, S. E. et al. Application of airborne gamma radiometric data for soil mapping. **Australian Journal of Soil Research**, v.34, n.1, p.183-194. 1996.



- DICKSON, B. L.; FRASER, S. J.; KINSEY-HENDERSON, A. Interpreting aerial gamma-ray utilizing geomorphological and weathering models. **Journal of Geochemical Exploration**, n.57, p.75-88. 1996.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, v.17, n.2, p.187-200. 1997.
- FONSECA, A. C. Geoquímica dos solos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação de solos**. Conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.165-194.
- HUTCHINSON, S. M. Use of magnetic and gamma-ray measurements to investigate erosion and sedimentation in a British upland catchment. **Earth Surface Processes and Landforms**, n.20, p.293-314. 1995.
- MINTY, B. R. S. Fundamental of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, v.17, n.2, p.39-50. 1997.
- PICKUP, G.; MARKS, A. Identifying large-scale erosion and deposition process from airborne gamma radiometrics and digital elevation data in a weathered landscape. **Earth Surface Processes and Landforms**, n.25, p.535-557. 2000.
- PICKUP, G.; MARKS, A. Regional-scale sedimentation process models from airborne gamma ray remote sensing and digital elevation data. **Earth Surface Processes and Landforms**, n.26, p.273-293. 2001.
- ROBERTS, L. M. et al. High-resolution ground based gamma-ray spectrometry and electromagnetics to assess regolith properties, Boorowa, NSW. **Advances in Regolith**, p.352-357. 2003.
- ROSS, J. L. S. A morfogênese da bacia do Ribeira de Iguape e os sistemas ambientais. **GEOUSP - Espaço Tempo**, n.12. 2002.
- SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 2.ed. Oxford: Oxford University Press, 2000. 451p.
- SEME - SECRETARIA DE ESTADO DE MINAS GERAIS. Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área A2 - Pitangui - São João Del Rei - Ipatinga. **Relatório Final**. Texto técnico, v.1, 2001. 80 p.
- THOMAS, M.; FITZPATRICK, R. W.; HEINSON, G. S. Mapping complex soil-landscape patterns using radiometric K₂O: a dry saline land farming area case study near Jamestown, SA. **Advances in Regolith**, p.411-416. 2003.



- WILFORD, J. R.; BIERWIRTH, P. N.; CRAIG, M. A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, v.17, n.2, p.201-216. 1997.
- WILFORD, J. R.; DOWLING, T.; BRAATEN, R. Rapid Mapping of digital and salt stores, using airborne radiometrics and digital elevation models. **AGSO Research Newsletter**, n.34, p.33-40. 2001.