

Capítulo 13

**Processos erosivos
em áreas de afloramento
do sistema Aquífero
Guarani no Brasil**

Heloisa Ferreira Filizola

Kátia Canil

Gerson Salviano de Almeida Filho

Marco Antonio Ferreira Gomes

Introdução

A erosão é um processo natural e ocorre mesmo em ecossistemas em equilíbrio, porém sua escala de tempo é geológica, ou seja, de centenas de milhões de anos. A intervenção humana, quando conduzida de forma desordenada e mal planejada, proporciona o aumento da taxa de incidência do processo natural gerando a erosão acelerada. Essa constitui um fenômeno de grande importância em razão da rapidez de seu desencadeamento e por acarretar grandes prejuízos não só para a exploração agropecuária, mas também para diversas outras atividades econômicas e ao meio ambiente.

A susceptibilidade natural dos solos aos processos erosivos decorrentes da água superficial é uma função da interação entre as condições climáticas, modelado do terreno e tipo de solo. A água que provém das chuvas ou da irrigação, quando atinge a superfície do solo, pode infiltrar ou escorrer pela superfície. A água infiltrada pode chegar até o lençol freático, abastecendo-o. Mas quando, pelos motivos mais diversos, esta água escorre pela superfície, devido ao potencial gravitacional, ela carrega consigo partículas do solo, erodindo-o. Conforme o tipo de cobertura vegetal que protege o solo, o processo pode ser mais ou menos intenso:

Nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani, localizadas nos estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, extensas áreas de Cerrado foram desmatadas e utilizadas em atividades agropastoris, cuja maior parte é destinada à cultura de cana-de-açúcar e produção de soja para exportação. O desmatamento do Cerrado para fins de produção agropecuária e a adoção de práticas de preparo do solo pouco recomendáveis para áreas susceptíveis à erosão constituem-se nas causas para o desenvolvimento dos processos erosivos nessas áreas. Como consequência, os sedimentos produzidos pela erosão são transportados para os cursos d'água, provocando o assoreamento dos mesmos (Fig. 1), diminuindo a capacidade de transporte e aumentando o processo de inundação. Um dos impactos pode ser observado pela perda das matas de galeria (Fig. 2 e 2a). A perda de solo por erosão pode também contribuir para a contaminação dos corpos d'água, pois há o risco de existirem agroquímicos e metais pesados associados às partículas transportadas.

Foto: René Georges Leon Boulet



Fig. 1. Assoreamento do Rio Araguaia próximo às suas nascentes.

Fig. 2. Parte da mata galeria submersa em consequência do assoreamento.



Foto: Heloisa Ferreira Filizola

Foto: René Georges Leon Boulet



Fig. 2a. Detalhe da foto anterior.

Como os solos das áreas de recarga são naturalmente frágeis (Neossolos Quartzarênicos originários do arenito da Formação Botucatu), pois são extremamente arenosos (< 9 % de argila), os processos erosivos laminar e linear instalam-se mais rapidamente, e o processo de evolução também é mais acelerado do que nas áreas que comportam Latossolos mais estáveis do ponto de vista físico.

Os dois locais estudados no interior da área do Sistema Aquífero Guarani, o Córrego do Espraiado, em Ribeirão Preto, SP, e as nascentes do Rio Araguaia, na divisa entre Goiás e Mato Grosso, mostram características bem diferenciadas quanto ao uso da terra e aos processos erosivos.

Córrego do Espraiado

Na região de Ribeirão Preto a cana é a cultura predominante. O relevo apresenta predomínio nas classes de declividade de 3 % a 8 % (relevo suave ondulado) e de < 3 % (plano). Nas fotografias aéreas, na escala 1:25.000, identificou-se nos canaviais a predominância de áreas com terraços e o cultivo em nível destinado ao controle da erosão. Nenhuma erosão linear ou sinais de assoreamento dos cursos d'água foi observado, em especial, na Bacia do Córrego do Espraiado, uma das áreas piloto.

Mas, se hoje não se observa na área problemas erosivos graves, Politano e Pissarra (2005), em avaliação sobre fotos aéreas na escala 1:40.000, assinalam que, por ocasião do final da década de 1980, a erosão acelerada do solo se constituía em um fator muito importante de degradação do solo agrícola, tanto nos canaviais como nos pomares de citros e em especial sobre os Argissolos, que ocupam as áreas de maior declive.

Como nessa área piloto não há problemas de erosão linear, as pesquisas realizadas deram ênfase à região onde estão localizadas as nascentes do Rio Araguaia e ao alto curso desse rio.

Nascentes do Rio Araguaia

O relevo das nascentes do Rio Araguaia é diversificado, resultante de um processo de modelagem principalmente por erosão geológica a partir de encostas escarpadas. Podemos dividi-lo em três domínios morfológicos: os chapadões, as colinas e a várzea.

Os chapadões

O termo chapadão é a denominação local dada aos platôs que circundam as áreas das nascentes do Rio Araguaia. Esses localizam-se entre 700 m e 900 m de altitude, distribuídos em uma faixa contínua, mas de largura irregular, formando uma série de anfiteatros (Fig. 3 e 4). Apresentam baixa declividade, com predomínio de solos argilosos a argilo-arenosos espessos. Essas características são fatores restritivos à instalação de processos erosivos mais intensos. O uso agrícola nessa área contempla parcialmente procedimentos e práticas de boa técnica de manejo agrícola que minimizem os impactos decorrentes de sua ocupação.

Foto: Radar Topography Mission - 90 (SRTM)
JPL (Jet Propulsion Laboratory) - NASA



Fig. 3. Imagem do radar satélite Shuttle mostrando a superfície dos chapadões e as colinas.

Foto: Heloisa Ferreira Filizola



Fig. 4. Vista parcial dos domínios dos chapadões e das colinas, nas nascentes do Rio Araguaia.

Esses chapadões têm suas vertentes constituídas, em grande parte, por escarpas (Fig. 3 e 4) com declividade acima de 30 %, desenvolvidas sobre a alteração dos basaltos da Formação Serra Geral, sobre as cascalheiras terciárias (NAHON et al., 1989; TARDY, 1993) ou ainda sobre os arenitos da Formação Botucatu, silicificados ou não e, em menor área, sobre as rochas do Grupo Bauru. Dada a declividade, o potencial de escoamento superficial é alto, sendo essas escarpas vulneráveis à erosão. Os escorregamentos de taludes e queda de blocos são os principais processos erosivos atuantes nesse compartimento.

A comparação entre as fotos aéreas da região de 1977 e de 2005 mostrou que, apesar dessas características desfavoráveis, a erosão dessas vertentes pode ser considerada natural ou geológica. As escarpas têm sua vegetação natural preservada, mas em alguns pontos a mesma foi removida para a instalação de estradas ou para a retirada de cascalho ferruginoso como material de empréstimo para revestimento de estradas ou ainda pelo escorregamento natural de seus taludes (Fig.5).

As áreas onde se concentram as cascalheiras de nódulos ferruginosos, provenientes da destruição da couraça terciária (NAHONET al., 1989; TARDY,

Fig. 5. Feição de escorregamento na vertente da escarpa do Chapadão.



Foto: Heloisa Ferreira Filizola

1993), geralmente aparecem no relevo como pontões ou proeminências que se projetam a partir da borda do Chapadão, como resultado de uma maior resistência à erosão em relação ao material das áreas onde o mesmo não ocorre.

As colinas

À jusante dos chapadões, o relevo é composto por uma série de colinas (Fig. 3 e 4) desenvolvidas sobre Latossolos Vermelho-Amarelos, argilosos, quando estão próximas às escarpas, gradando para areno-argilosos em cotas mais baixas. A partir da cota 780, as vertentes dessas colinas passam a ser constituídas pelo Neossolo Quartzarênico, com menos de 9 % de argila. Contrastando com os chapadões, esse setor apresenta alta densidade de drenagem. Nas porções à montante das várias nascentes existentes na área, próximas à base da escarpa, o relevo é mais ondulado e apresenta muitos recortes. Em direção à várzea, as colinas perdem altitude e tornam-se mais suaves (Fig. 3). Os principais processos instalados contemplam o transporte de massa por erosão laminar e linear, sendo o mais intenso deles o desenvolvimento de voçorocas.

Esse compartimento encontra-se, de maneira geral, totalmente desmatado, à exceção de pequenas manchas de vegetação natural remanescente. As atividades agrícolas (pecuária, cultivos de soja, algodão e milho) a que essa área está submetida favorecem os processos de movimentação de solo como erosão laminar, sulcos, voçorocas e assoreamento de áreas topograficamente mais rebaixadas e canais de drenagem (Fig. 1).

A várzea

De caráter coluvionar e aluvionar, esse compartimento é representado por superfícies planas, desenvolvidas sobre sedimentos recentes, areia, silte, argila e muita matéria orgânica. A planície aluvial de inundação, de idade quaternária, é geralmente constituída por uma alternância de Fluvissois e Gleissolos. Nas porções média e baixa da área das nascentes, a planície de inundação é bordejada por terraços aluviais bem marcados por uma ruptura de declive e pelo acúmulo de areia branca que a delimitam (Fig. 6).

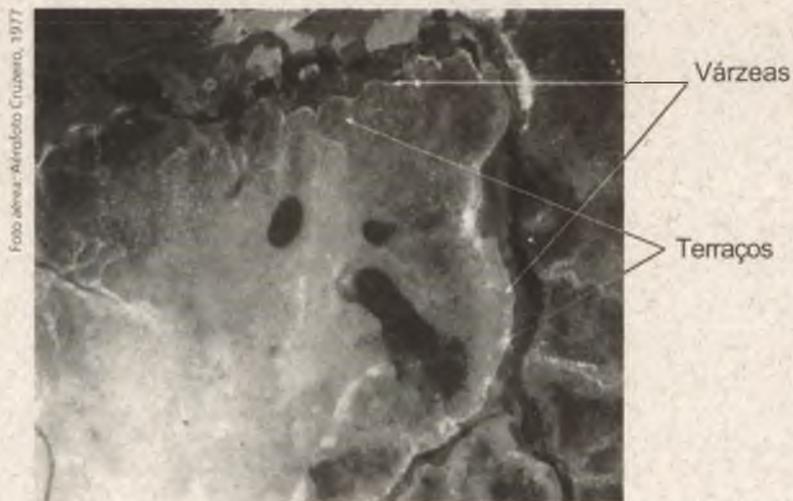


Fig. 6. Várzea, terraços, com suas bordas de areia branca, do Rio Araguaia e de seu afluente, o Córrego Cabeceira Alta.

Os processos erosivos nas nascentes e no alto curso do Rio Araguaia

Moreira (1999) identificou 196 feições erosivas (ravinas e voçorocas) na bacia que se distribuem heterogeneamente, mas sempre conectadas ao sistema de drenagem e geralmente associadas aos canais de primeira ordem.

As voçorocas apresentam grandes dimensões, alcançando frequentemente mais de 500 metros de extensão e profundidades acima de 20 metros. Essas voçorocas evoluem por meio de vários mecanismos, com destaque para os escorregamentos rotacionais, favorecidos pelos altos gradientes hidráulicos nos taludes e por *piping*. Atualmente a maioria das voçorocas encontra-se estabilizada ou com pequenas taxas de recuo, pois muitas já atingiram os divisores de drenagem no seu recuo remontante.

A imagem de satélite (Fig. 7) mostra a localização das maiores voçorocas da área em estudo. Essas se localizam no domínio das colinas, em especial naquelas desenvolvidas sobre o Neossolo Quartzarênico, próximas ao Rio Araguaia. Essas voçorocas são mais frequentes nas concavidades do relevo, que são feições criadas por perda de matéria, numa



Fig. 7. Imagem de satélite das nascentes e do alto Rio Araguaia. As marcas em cruz indicam a localização das voçorocas visitadas.

prova que a erosão tende a avançar pelas mesmas rotas já seguidas anteriormente, certamente devido ao condicionamento hídrico superficial e subsuperficial.

As pesquisas na área de recarga do sistema Aquífero Guarani nas cabeceiras e no alto curso do Rio Araguaia começaram, em 2000, com um estudo em detalhe de uma voçoroca denominada Chitolina, situada em sua margem direita. Este trabalho mostrou que algumas voçorocas da região têm sua gênese num processo erosivo pouco habitual.

Geralmente os processos erosivos lineares começam gradativamente pela formação de sulcos pelo escoamento superficial concentrado, sulcos estes que vão se aprofundando e tornando-se mais largos, passando pelo estágio de ravinas, se não forem controlados a tempo e finalmente, ao se aprofundarem e atingirem o nível do lençol freático, tornam-se voçorocas. A partir daí, o controle das mesmas torna-se complexo e oneroso, pois tendem a crescer até encontrar novo equilíbrio dinâmico. O escoamento da água superficial provocado pela ação antrópica é o principal fator externo que contribui para a formação dessas erosões.

A voçoroca Chitolina (Fig. 8) e o braço esquerdo da voçoroca Olho d'Água, localizada na margem esquerda do Rio Araguaia, quase em frente àquela, tiveram início devido à sobrealimentação do lençol freático que provocou a fluidificação de seu armazém e determinou uma corrida de lama

Fig. 8. Foto aérea de 2000 da voçoroca Chitolina.



Foto: René George Leon Boulet

(FILIZOLA et al., enviado). Nesse caso, a feição erosiva não passou pelo processo de formação de sulco e ravina, ou seja, ambas nasceram voçorocas. É quase impossível prever o aparecimento desse tipo de voçoroca.

A maior parte das erosões dessa região foi evoluindo ao longo do tempo devido principalmente a:

- a) Solos extremamente suscetíveis à erosão por terem textura arenosa e grande espessura, além da presença constante do nível d'água ao longo dos talwegues.
- b) Desmatamento generalizado, envolvendo as áreas de cabeceiras de drenagem e linhas de talvegue, para a implantação de culturas anuais e pastagem.
- c) Falta de práticas de conservação e manejo do solo nas bacias de contribuição das erosões.
- d) Estradas vicinais sem um eficiente sistema de drenagem de águas superficiais, tanto nas formas de captação como na dissipação.
- f) Trilhas feitas pelo gado.

A avaliação de várias voçorocas e das respectivas bacias de contribuição, nas áreas das nascentes e Alto Araguaia, permitiu identificar

três conjuntos de erosão linear que apresentam causas e mecanismos de desenvolvimento diferenciados, apresentados a seguir:

- a) Voçorocas de grande porte, desenvolvidas em cabeceiras de drenagens com surgências d'água ao longo de toda erosão, evoluem principalmente pela ação do *piping*, com solapamento da base das paredes, e por *tension crack*, como as voçorocas Chitolina, Olho d'Água e Granada. Essas erosões estão ainda em atividade, evoluindo tanto longitudinalmente como lateralmente. A contribuição da água superficial para o crescimento das mesmas é pequena hoje, uma vez que estão todas terraceadas em suas cabeceiras, mas a grande quantidade de surgências d'água é responsável pelo processo de desenvolvimento dessas voçorocas. Um dos maiores impactos, além da perda do solo, é a grande quantidade de sedimentos produzidos por essas voçorocas, provocando o assoreamento do Rio Araguaia (Fig. 8) e de seus afluentes. A formação e evolução da voçoroca Chitolina provocou a perda de 229.606,5 m³ de solo (avaliação feita em 2000) (Fig. 9). A maior dessas na região é a voçoroca denominada do Urtigão (Fig. 10).

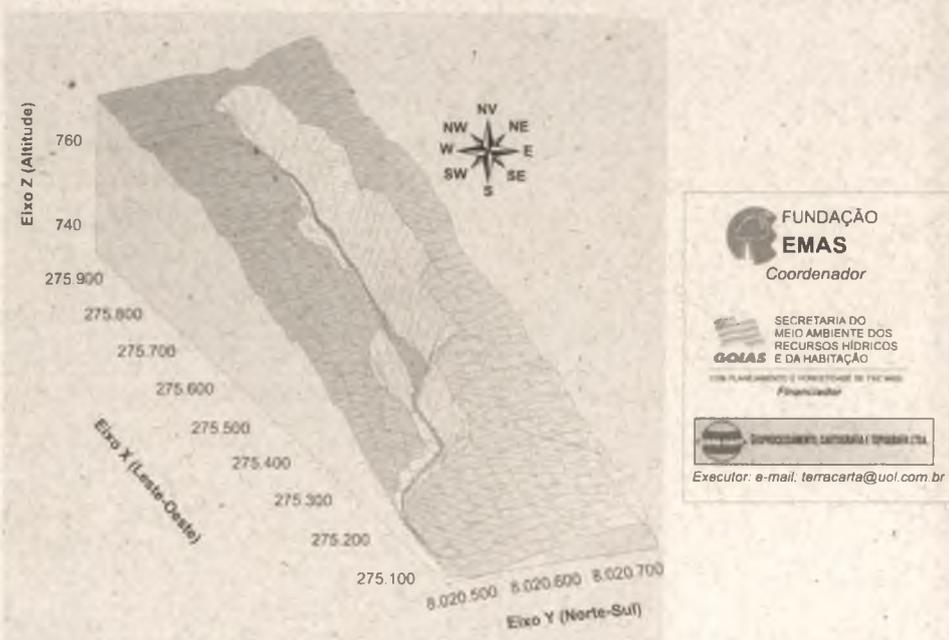


Fig. 9. Vista em 3D da voçoroca Chitolina (Mineiros, GO).

Fig. 10. Voçoroca do Urtigão (Mineiros, GO).



Foto: Fundação Ecológica de Mineiros, GO (Emas)

b) Voçorocas com cabeceira na forma de ravina (Fig. 11), ou seja, a surgência d'água aparece a partir do terço superior para a jusante, onde a erosão torna-se mais profunda provocando o aparecimento do lençol freático. Normalmente são erosões de médio a grande porte, podendo apresentar ou não ramificações, principalmente nas cabeceiras (Fig. 12). Não há linhas preferenciais de escoamento superficial bem definidas.



Foto: Orleães – Núcleo de Geoprocessamento

Fig. 11. Um exemplo de voçoroca com cabeceira em ravina.

Foto: Heloisa Ferreira Filizola



Fig. 12. Voçoroca com a cabeceira em ravinas (ramificada).

- c) Ravinas, ou seja, erosões lineares onde não há surgências d'água ao longo de toda erosão; às vezes o lençol subsuperficial aflora bem próximo à confluência com um curso d'água. A maioria dos taludes apresentam-se semi-estabilizados, a ação de desmonte e aprofundamento é somente da água superficial durante o período chuvoso (outubro a março). Os sedimentos tendem a se depositar dentro da própria ravina, pois apenas durante eventos chuvosos mais intensos é que os materiais provenientes das vertentes são carregados para os curso d'água a jusante.

Assim, dentre os diversos mecanismos responsáveis pelo processo erosivo que atua em diversas escalas de tempo e de espaço, sobressaem: o escoamento de águas superficiais, em especial a água pluvial e o fluxo de água subterrânea; a rede de drenagem intermitente, não canalizada, mas bem marcada na paisagem, que alimenta os canais fluviais durante as chuvas, e é de particular interesse e pode ser associada ao processo de erosão linear.

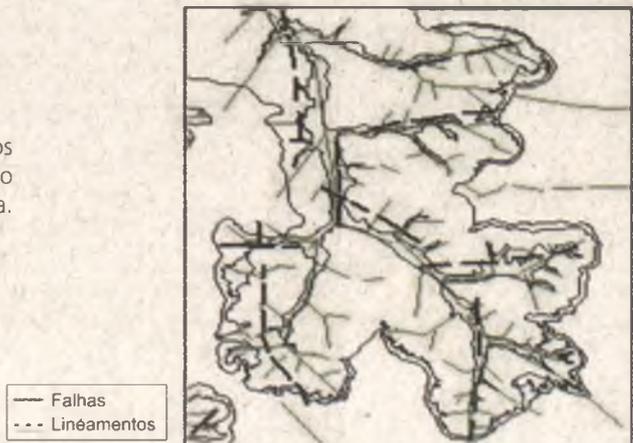
A erosão laminar e eólica também estão presentes, sendo que sobre a última não há dados de nenhuma espécie. A erosão laminar também não foi ainda avaliada quantitativamente, mas se não sabemos o quanto é perdido em solo, podemos vê-la por suas marcas deixadas na paisagem, em especial a presença de areia lavada em superfície. Essa nos indica que a argila e a matéria orgânica estão sendo retiradas pela água superficial, deixando somente os grãos de areia que, além de serem inertes, pelo fato de estarem soltos, pois os elementos de agregação foram retirados, serão mais facilmente carregados pela chuva ou pelo vento.

Registros históricos apontam que as voçorocas se originaram com o início da agricultura em grande escala na região e com práticas inadequadas de manejo do solo. Na Bacia do Alto Araguaia, cerca de 90 % das voçorocas estão diretamente associadas às atividades antrópicas, principalmente a estradas mal posicionadas (MOREIRA, 1999).

No entanto, os fatores antrópicos não explicam a concentração diferencial da erosão, pois, em alguns trechos da bacia intensamente modificados pelo homem, as voçorocas são raras, enquanto que em outros trechos, relativamente menos perturbados, as voçorocas são abundantes. Portanto, outro fator, que não o antrópico, parece condicionar o desenvolvimento da erosão na bacia.

Embora condicionadas pelo homem, as voçorocas só se desenvolvem plenamente nos trechos mais favoráveis, ditados pela litologia, no caso sobre os Neossolos Quartzarênicos desenvolvidos sobre as formações sedimentares arenosas. De fato, sobre os solos desenvolvidos a partir do basalto da Formação Serra Geral ou sobre as couraças ferruginosas terciárias, as erosões são raras. Parece existir um outro fator que seria as condicionantes tectônicas que também têm um papel importante (Fig. 13). Porém, a geologia (litologia e tectônica) não explica por completo a concentração diferencial do voçorocamento, uma vez que áreas semelhantes geologicamente apresentam incidências variáveis do fenômeno. Na verdade, as voçorocas se concentram nas regiões com maior declividade e em especial com relevo côncavo, como dito anteriormente.

Fig. 13. Falhas e lineamentos na região das cabeceiras do Rio Araguaia.



Considerando que curvas de contenção construídas nas cabeceiras de várias das voçorocas analisadas não foram suficientes para a diminuição do crescimento longitudinal da maior parte das voçorocas, o papel dessas curvas de contenção se restringe assim a impedir que a água superficial provoque a instabilidade dos taludes da voçoroca; mas isso não garante o impedimento do processo, considerando que a presença do *piping* contribui para a desestabilização desses taludes. Ao longo dos anos, o acompanhamento da evolução de algumas dessas voçorocas mostrou que a diminuição do ritmo de crescimento ou mesmo a estabilização de algumas delas acontece quando elas atingem o material argilo-arenoso de montante, com 25 % a 40 % de argila. Um exemplo desse comportamento são os dois divertículos funcionais da voçoroca Chitolina que se localizam sobre o solo arenoso (Fig. 14), os outros e a própria cabeceira da voçoroca permanecem estabilizados desde 2002.

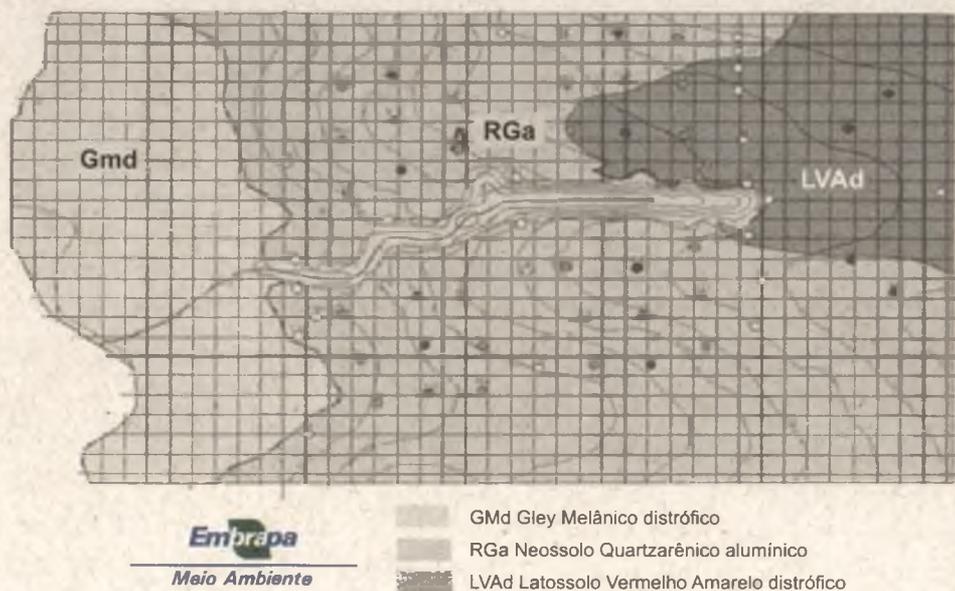


Fig. 14. Mapa de solos da área onde se encontra a voçoroca Chitolina. O divertículo A, que está se desenvolvendo sobre o solo arenoso (RQ), tem maior dimensão que os outros localizados no limite dos solos argilosos.

Discussão e conclusão

Se uma paisagem é a expressão da atuação do clima e do homem sobre seus componentes abióticos e bióticos, podemos, dentro dessa ótica, falar em paisagens em equilíbrio ou em desequilíbrio biogeodinâmico, isto é, em fluxos de entrada e saída de matéria e de energia em equilíbrio dinâmico ou em desequilíbrio. No caso presente, na região das nascentes e do Alto Araguaia há vários pontos em desequilíbrio em decorrência da ação antrópica. O desequilíbrio produzido pelo aumento de matéria disponibilizada no sistema nascentes-Alto Araguaia, provocado pela convergência do solo perdido para a rede de drenagem, poderá, num futuro não muito remoto, colocar seus afluentes e as próprias nascentes em risco, se o assoreamento das mesmas superar capacidade e competência de transporte.

Referências

- MOREIRA, R. A. **Aquífero Guarani**: caracterização agrícola das áreas de recarga na região de Mineiros-GO. 1999. 61 p. Monografia (Graduação). Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior, Mineiros.
- NAHON, D.; MELFI, A. J.; CONTE, C. N. Présence d'un vieux système de cuirasses ferrugineuses latéritique en Amazonie du sud. Sa transformation in situ en latosols sous forêt équatoriale actuelle. **Comptes Rendus de l' Academie de Sciences**, Paris, v. 308, n. 2, p. 755-760, 1989.
- POLITANO, W.; PISSARRA, T. C. T. Avaliação por fotointerpretação das áreas de abrangência dos diferentes estados da erosão acelerada do solo em canais e pomares de citros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 242-252, 2005.
- TARDY, Y. Climat, paléoclimats et biogéodynamique du paysage tropical. In: PAQUET, H.; CLAUER, N. (Ed.). **Sédimentologie et géochimie de la surface**: colloque à la mémoire de Georges Millot. Paris: Académie des Sciences, 1993. (Les Colloques de l'Académie des Sciences et du Cadas), p. 141-175, 1993.