

# ANOMALIAS RADIOMÉTRICAS DE SUPERFÍCIE EM JAZIDAS COBERTAS POR MANTOS LATERÍTICOS DE INTEMPERISMO. Exemplo da Jazida de urânio Laranjeiras, Lagoa Real, BA

E. B. Rocha, J. M. Schmitt, A. J. Melfi

Departamento de Geofísica/IAG/NUPEGEL/USP.  
Caixa Postal 9638, 01065-970, São Paulo, Brasil

École des Mines de Paris, 35, rue Saint-Honoré,  
77305 Fontainebleau CEDEX, France

A Província Uranífera de Lagoa Real, localizada no centro-sul da Bahia, contém diversas jazidas de U descobertas por levantamento aerogeofísico (radiométrico). A distribuição dos depósitos de urânio está ligada à evolução recente da paisagem. Estudos geomorfológicos preliminares revelam dois contextos preferenciais para as anomalias radiométricas: a zona de escarpa, onde se encontram todas as jazidas conhecidas; e o alto platô, com anomalias fracas e difusas. A jazida Laranjeiras é um bom exemplo de jazida de encosta. Ela é recoberta por um manto de intemperismo laterítico típico de ambientes tropicais. Os estudos geoquímicos mostram que o U lixiviado das mineralizações migra, com os elementos associados, em direção a jusante. A relação entre o U remobilizado e sua expressão radiométrica superficial é estabelecida.

**SURFACE RADIOMETRIC ANOMALIES IN MINERAL DEPOSITS COVERED BY LATERITIC WEATHERED MANTLES. EXAMPLE OF THE URANIUM DEPOSIT AT LARANJEIRAS, LAGOA REAL, BA**  
*The Lagoa Real Uranium Province, located in mid-southern Bahia State, contains several economic U deposits which were recognized following an airborne geophysical (radiometric) survey. The distribution of uranium anomalies is closely linked to the recent landscape evolution. A geomorphological approach shows two preferential contexts for radiometric anomalies: the scarp unit, which contains all known deposits, and the high plateau, where very weak and diffuse anomalies occur. The Laranjeiras U deposit represents a good example of the former one. It is covered by a lateritic weathered mantle typical of tropical environments. Geochemical studies show that the leached U from mineralizations migrates downslope with the associated elements. The relationship between migrated U and superficial radiometric values is established.*

## INTRODUÇÃO

Muitas anomalias radiométricas foram, nos últimos 30 anos, detectadas em lateritas espalhadas por várias partes do Mundo. Várias delas foram confirmadas como devidas à presença de urânio. Entretanto, a despeito do grande volume de informações que se tem hoje, o comportamento do urânio e dos elementos a ele associados diante da alteração meteórica ainda não é perfeitamente conhecido. No caso particular da alteração laterítica, alguns problemas importantes e de caráter específico apresentam-se em aberto para estudo e discussão. O problema básico, sobre o qual todos os pesquisadores que estudam esse assunto se interrogam, consiste na identificação do itinerário geoquímico do urânio remobilizado desde a sua origem, ou seja, a mineralização primária, até os ambientes onde ele é redepositado. Esses ambientes correspondem normalmente às mudanças locais das condições físico-químicas indutoras da precipitação e/ou fixação dos minerais de urânio hexavalente, as quais se materializam no zoneamento da mineralização supérgena dentro do perfil laterítico.

Em certos casos, o problema da mobilização geoquímica do urânio tem sido colocado nos seguintes termos (Samama, 1984): "seriam essas anomalias radiométricas o resultado da dispersão secundária do urânio em solos lateríticos desenvolvidos sobre concentrações primárias de alto teor, ou seriam resultado de processos de concentração muito intensos e eficientes atuantes sobre rochas-fonte ordinárias? Adicionalmente, no caso de serem derivadas de concentrações primárias, quais seriam os mecanismos envolvidos na mobilização geoquímica do urânio e dos elementos associados?" Embora vários pesquisadores tenham estudado essas questões, até agora são raros os casos onde elas puderam ser satisfatoriamente resolvidas. Os estudos das ocorrências de Madaba, Tanzânia (Kogler et al., 1983) e Kenieko, Mali (Mogé et al., 1987) podem talvez ser resgatados como os melhores exemplos já divulgados. Este último mostra

claramente a importância da adsorção na fixação do urânio sobre hidróxidos de Fe em amostras lateríticas naturais, sob condições de pH neutro ou fracamente ácido. Neste caso, os halos de dispersão gerados a partir de depósitos primários poderiam representar a fixação secundária do U na paisagem.

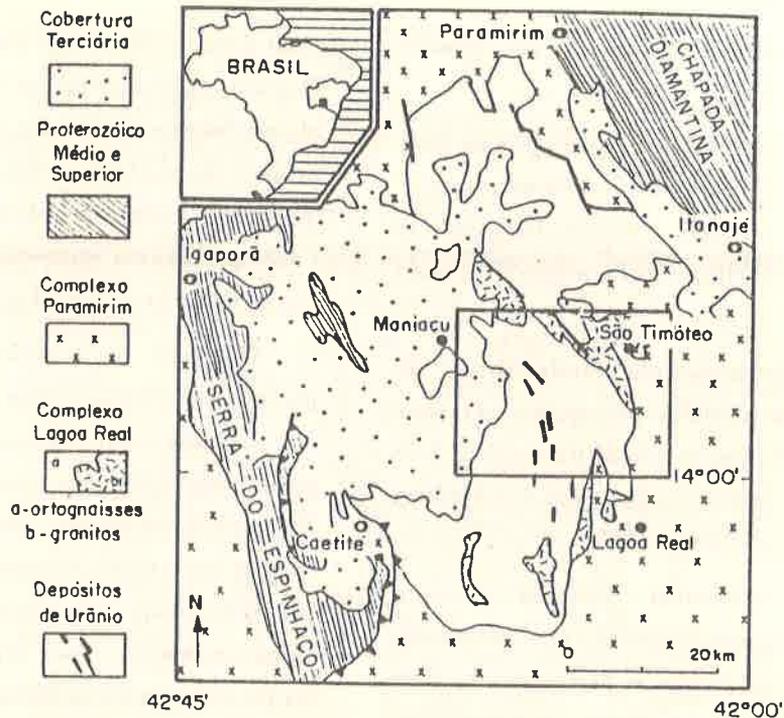
O interesse maior é, portanto, o estabelecimento das relações entre a anomalia radiométrica de superfície, a geoquímica do urânio no manto de intemperismo e o contexto morfoclimático. A compreensão destas interrelações é imprescindível, tanto para o conhecimento básico acerca da dispersão do urânio nos ambientes superficiais, quanto para a formulação de modelos de prospecção apropriados aos ambientes lateríticos, onde ocorrem as espessas formações alumino-ferruginosas intertropicais.

## CONTEXTO REGIONAL

A Jazida Laranjeiras integra, juntamente com outras cinco jazidas e dezenas de anomalias (ocorrências e indícios), a Província Uranífera de Lagoa Real, BA (Fig. 1), uma das maiores e mais importantes áreas de ocorrência de urânio no Brasil (Oliveira et al., 1985).

### Depósitos de urânio

Os depósitos de urânio, econômicos ou subeconômicos, conhecidos atualmente, formam um cinturão arqueado, submeridiano, localizado no quadrilátero Caetité-Maniaçu-São Timóteo-Lagoa Real (Fig. 1). A mineralização de urânio ocorre como corpos de minério albitizados que se colocam como veios de direções NS a NNW-SSE no complexo granitóide Lagoa Real. Estudos petrológicos e geocronológicos (Fuzikawa et al., 1988; Turpin et al., 1988; Maruejol, 1989) mostraram que a mineralização de urânio e o metassomatismo sódico gerador das rochas albitizadas relacionam-se a um evento hidrotermal ocorrido há cerca de 1,4 Ga. Há, entretanto, autores que postulam uma idade brasileira



**Figura 1.** Mapa geológico esquemático da Província Uranífera de Lagoa Real. O quadro menor indica a área de estudo, detalhada na Fig. 2.

*Geologic schematic map of the Uranium Province at Lagoa Real. The lesser frame indicates the study area, detailed in Fig. 2.*

para esses mesmos eventos (Lobato e Fyfe, 1990).

### Situação geográfica e geológica

A Província de Lagoa Real está localizada no centro-sul do Estado da Bahia, cerca de 350 km da costa Atlântica, entre 42°00' e 42°30' de longitude oeste, e entre 13°45' e 14°15' de latitude sul. Esta área compõe a parte superior ocidental da bacia hidrográfica do Rio de Contas.

A Província de Lagoa Real faz parte do cráton São Francisco (Fig. 1), o qual compreende um embasamento do Arqueano e Proterozóico Inferior e dois cinturões dobrados do Proterozóico Médio e Superior: Chapada Diamantina a leste e Serra do Espinhaço a oeste (Moutinho da Costa et al., 1976; Inda e Barbosa, 1978; Almeida e Hasui, 1984).

As seguintes unidades são distingüidas no embasamento: (i) migmatitos e rochas plutônicas do Arqueano e Proterozóico Inferior (complexo

Paramirim); e (ii) o complexo granítico Lagoa Real, constituído de ortognaisses com alguns corpos graníticos indeformados (Costa et al., 1983; 1985).

Na parte oeste da região encontra-se uma cobertura rasa de sedimentos arenosos do Terciário.

### Quadro morfoclimático

A caracterização do quadro morfoclimático é de primordial importância para entender a disposição espacial das jazidas e anomalias de urânio em face da evolução recente do modelado.

A região está submetida a um clima tropical quente e subúmido (Nimer, 1977) com duas estações contrastadas. A estação seca estende-se de maio a setembro, e a estação chuvosa, durante a qual ocorrem 80% das precipitações, de outubro a abril. A temperatura média anual é de 22°C. A precipitação anual excede 800 mm, mas a rede de drenagem consiste essencialmente de cursos d'água temporários.

## Anomalias Radiométricas de Superfície em Jazidas Cobertas por Mantos Lateríticos de Intemperismo

A vegetação padrão é constituída por savanas tropicais dos tipos caatinga e cerrado.

Do ponto de vista geomorfológico pode-se dizer que, de um modo geral, o relevo colinoso relaciona-se aos planaltos que constituem o divisor de águas das bacias hidrográficas do Rio São Francisco (W) e do Rio de Contas (E).

Os traços geomorfológicos fundamentais da região são claramente revelados pelo exame de mapas topográficos e de fotografias aéreas da região. Três grandes unidades de relevo (Fig. 2) são distingüidas (Schmitt et al., 1989; Schmitt, 1990):

**O alto platô ocidental** - Unidade extensa e razoavelmente plana, com altitudes aproximadas entre 920 e 1100 m, que ocupa a parte ocidental da área. Compreende duas subunidades: (i) a superfície principal do platô, entre 920 e 1020 m, e (ii) pequenas mesas isoladas de uma superfície cujas elevações variam de 1070 a 1040 m. A rede de drenagem, apesar de mal definida, mostra um padrão predominantemente dendrítico. Uma característica típica desta unidade é a presença de numerosas lagoas de 50 a 300 m de diâmetro, feição muito freqüente nas paisagens tropicais do Brasil Central.

**A unidade escarpada central** - Complexa unidade escarpada que ocupa a parte submeridiana central da região, entre 600 e 920 m de altitude. Mostra relevo alto e acidentado, constituído por vertentes com inclinações suaves (menores que 3°) a fortes (10° e maiores). Inclui também alguns fragmentos isolados, relíquias das duas superfícies do platô superior (Fig. 2). Afloramentos de rocha fresca, matacões, e algumas paredes do tipo inselberg são encontradas ao longo da linha principal da escarpa. A rede de drenagem é muito mais densa que na unidade anterior. Seu padrão geral permanece dendrítico, mas torna-se paralelo a retangular na sua parte superior.

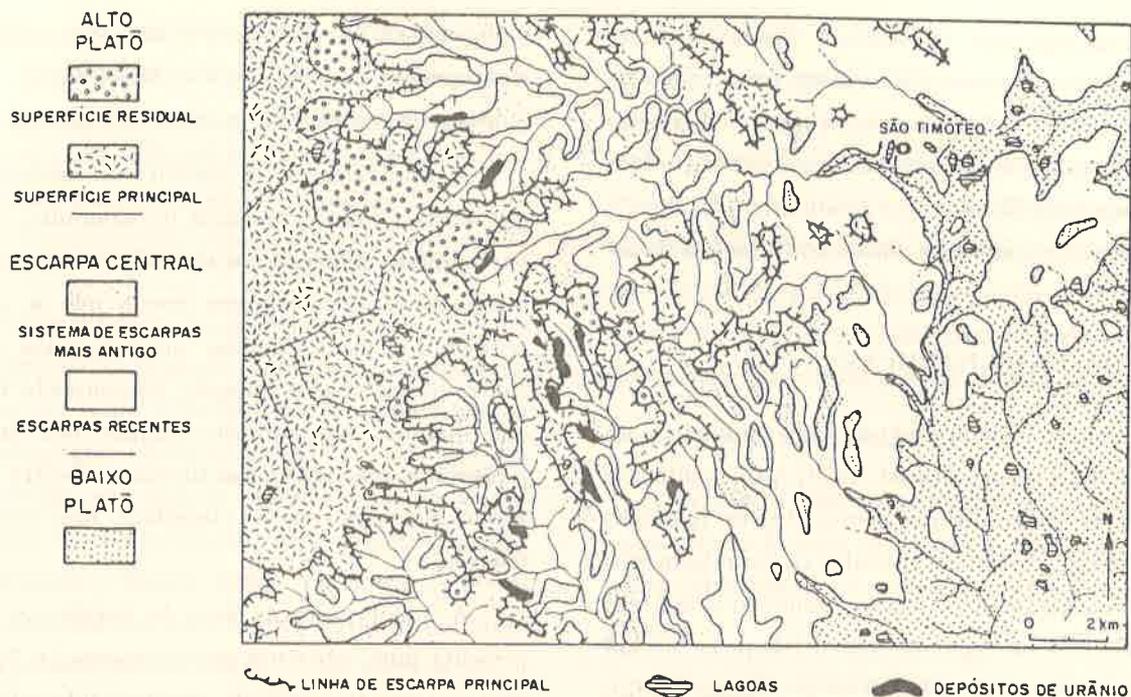
**O baixo platô oriental** - Unidade bastante plana, similar em muitos aspectos à superfície prin-

cipal do alto platô, com altitudes entre 500 e 650 m. O platô inferior inclui, próximo ao sopé da escarpa, alguns fragmentos do sistema de piemontes e pedimentos da unidade escarpada e, excepcionalmente, do platô superior. A rede de drenagem aparece aqui também bastante imprecisa, e numerosas e grandes lagoas estão presentes (Fig. 2).

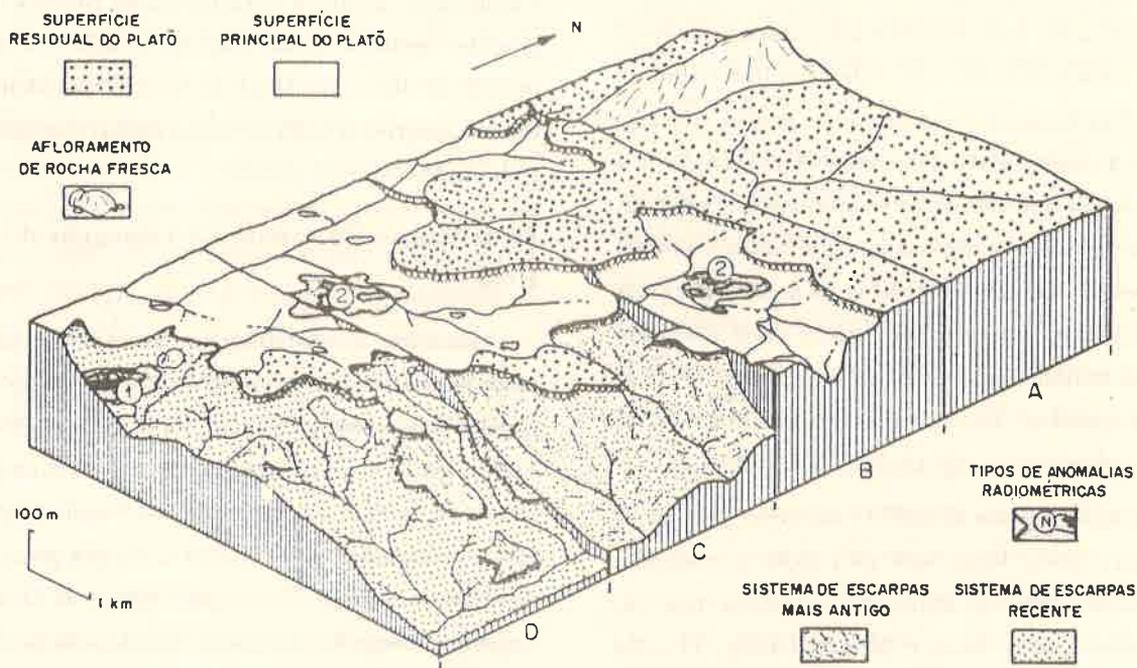
Os platôs alto e baixo, com suas superfícies de pedimentos planas e suas redes de drenagem imprecisas, aparecem como unidades morfológicas cuja evolução é atualmente dominada pelo intemperismo. A unidade escarpada, por outro lado, com seus taludes inclinados e sistemas de pedimentos superimpostos mostram uma rápida evolução dominada por erosão recessiva. Essa organização do relevo pode ser identificada como típica da maioria das paisagens tropicais de clima quente e úmido, apesar da altura da escarpa (cerca de 400 m) ser um tanto reduzida.

Um cenário para o desenvolvimento da paisagem de Lagoa Real é mostrado na Fig. 3. A elaboração da superfície principal - mais alta e coberta por lateritas - do alto platô, representa o primeiro estágio (Fig. 3A). É um sistema de pedimentos relacionado com remanescentes de um alto relevo formado por terrenos metamórficos dobrados. Um desnível moderado do nível de base, e uma provável mudança climática, resultou no desenvolvimento para norte da superfície principal do platô (Fig. 3B). Um novo e considerável desnível do nível de base, provavelmente relacionado a tectonismo, induziu uma rápida erosão recessiva para oeste (iniciada em 3B) e o desenvolvimento da unidade escarpada. Houve posterior estabilização da escarpa com um sistema quase contínuo de taludes e formações de pedimentos (3C). O mais recente reinício da erosão em (3D) tem causado uma nova recessão do escarpamento às custas do alto platô, com o entalhamento do sistema de taludes anterior.

Até o momento são insuficientes os dados sobre a idade dos sucessivos estágios de evolução da



**Figura 2.** Principais unidades geomórficas da província de Lagoa real. JL: Jazida Laranjeiras.  
*Main geomorphic units of the Lagoa Real Province JL: Jazida Laranjeiras.*



**Figura 3.** Elaboração da paisagem de Lagoa Real. A → D: estágios sucessivos de desenvolvimento. 1: anomalia radiométrica do tipo escarpa; 2: anomalia radiométrica do tipo platô.

*Evolution of the Lagoa Real landscape. A → D: sequential stages of development. 1: radiometric anomaly of the scarp type; 2: radiometric anomaly of the plateau type.*

paisagem na região de Lagoa Real. Tentativamente, seria possível relacionar o alto platô com o ciclo de aplainamento "Sul Americano" (King, 1956), iniciado no Terciário Inferior, enquanto que o baixo platô poderia ser identificado com a superfície "Velhas", cujo desenvolvimento teve início no Terciário Superior.

### A JAZIDA LARANJEIRAS

A prospecção de urânio na região foi iniciada no ano de 1971 (Ramos e Maciel, 1974), principalmente por meio de levantamentos aerogeofísicos (gamaespectrometria). Esta fase inicial e os levantamentos complementares, realizados pela Urânio do Brasil (EXNUCLEBRÁS) na segunda metade daquela década (Geisel Sobrinho et al., 1980; Raposo e Matos, 1982), resultaram na descoberta de mais de 30 ocorrências de interesse econômico, entre elas a Jazida Laranjeiras.

Foi através da adoção de estratégias clássicas de pesquisa e prospecção que as jazidas de U de Lagoa Real vieram a ser descobertas e delimitadas. Evidentemente, apenas as áreas com radioatividade anômala em superfície foram detectadas. Isso, porém, não significa que a extensão atual das jazidas não possa vir a ser modificada e provavelmente ampliada. Para isso, basta que sejam desenvolvidos e aplicados métodos de prospecção capazes de revelar as áreas favoráveis à presença de U, mesmo nos lugares onde não haja anomalias radiométricas evidentes em superfície (e.g. depósitos recentes), ou onde elas estejam mascaradas por uma cobertura de alteração.

Abrangendo uma superfície superior a 40 ha, a Jazida Laranjeiras localiza-se na porção setentrional da província uranífera, aproximadamente a meio caminho entre Lagoa Real e Maniaçu (Fig. 1). As rochas, via de regra mal expostas, apresentam-se na área da jazida como blocos rolados e matacões. São essencialmente gnaisses e albitos (termos metassomáticos com alto conteúdo de albita), estes últimos ocorrendo em superfície como corpos lenticulares

alongados. A mineralização de urânio encontra-se exclusivamente associada à fácies albitica desprovida de quartzo e em geral rica em minerais cálcicos.

A mineralização é constituída essencialmente por cristais microgranulares de uraninita, às vezes parcialmente alterada em uranofânio. A análise dos testemunhos de sondagem revela que a uraninita apresenta-se como massas ou agregados e filetes concordantes com a foliação, concentrada nas bandas máficas, normalmente inclusa nos anfibólios, piroxênios, granadas e nas titanitas. Ocorre também como inclusões ou na interface dos cristais de feldspato.

A maior parte da área da Jazida (> 85%) apresenta uma cobertura pouco espessa (< 30 cm) de solo marrom-avermelhado, desenvolvido sobre material "in situ", comparável aos solos ferruginosos tropicais característicos de regiões de clima semi-úmido.

O estudo radiométrico de detalhe da Jazida Laranjeiras, aliado à caracterização precisa das migrações verticais e laterais do urânio no seio do manto de alteração (Rocha, 1991), apontam os dados necessários à interpretação global das anomalias radiométricas.

### Distribuição de urânio na paisagem de Lagoa Real

Embora a distribuição de ocorrências proterozóicas de urânio deva ser *a priori* independente do quadro geomorfológico atual, na realidade, observa-se que todos os depósitos conhecidos têm uma posição muito específica na paisagem de Lagoa Real. Eles estão localizados logo abaixo da linha principal da unidade de escarpa, entre 800 e 900 m de altitude. A origem e o significado desta distribuição incomum é um dos pontos-chave de nossas indagações na busca de uma interpretação adequada para as anomalias radiométricas de urânio em Lagoa Real.

A exemplo do que ocorre com as demais jazidas de urânio da Província de Lagoa Real, a Jazida Laran-

jeiras exhibe um posicionamento topográfico bem definido. Os afloramentos rochosos que dão origem em superfície à anomalia radiométrica integram a **zona escarpada**, identificada acima como uma das três unidades básicas do relevo na região.

#### O manto de intemperismo sobre a jazida

A Jazida expõe-se numa área de encosta, em cuja porção superior foi estabelecida uma topossequência, composta por uma trincheira e por dois poços de investigação (Rocha, op. cit.). Nas paredes da trincheira encontra-se exposto o manto de intemperismo sobre o principal corpo mineralizado da Jazida (Raposo e Matos, 1983). Os poços de investigação, situados respectivamente 30 m a montante e 70 m a jusante da trincheira, foram abertos com o intuito de investigar perfis de alteração comparativos sobre o gnaiss estéril, encaixante das mineralizações, nas partes superior e inferior da topossequência.

#### Origem e evolução dos perfis de alteração

Pode-se imaginar a evolução dos perfis de alteração da topossequência a partir de um estado inicial onde os corpos de albitito encaixados no gnaiss se expunham ao intemperismo numa zona de encosta vinculada a uma unidade dinâmica do relevo: um platô elevado em permanente recuo (Schmitt et al., 1989; 1992). Em tal contexto geomórfico as condições climáticas recentes ou atuais podem ser admitidas entre os fatores que provocaram a alteração dessas rochas. A ação dos processos de alteração sobre esta encosta pouco íngreme foi, como era de se esperar, limitada em profundidade e levou ao desenvolvimento de horizontes de alteração pouco evoluídos. A progressão dos "fronts" de alteração levou à formação, tanto nos perfis sobre gnaiss quanto albitito, de horizontes isalteríticos de base sobrepostos por horizontes aloteríticos. Estes últimos, marcados pelas transformações feldspáticas e por fortes acumulações argilo-(titano-) ferruginosas. No desenvolvimento das formações superficiais surgiu um

horizonte pouco espesso de solo laterítico alimentado de modo restrito por componentes (sobretudo quartzosos) coluvionares. O resultado do prosseguimento da alteração estará claramente condicionado à evolução da paisagem. O aprofundamento da atuação dos processos de alteração, e a conseqüente maturação dos perfis, será tanto mais intenso quanto mais tempo perdurar a superioridade de tais processos em relação à dinâmica da própria paisagem.

#### Distribuição do urânio

Na Fig. 4 são apresentadas as curvas de distribuição do U para os perfis de alteração sobre albitito mineralizado e gnaiss estéril a montante e a jusante.

No perfil sobre albitito mineralizado os teores mais elevados são encontrados junto à base do horizonte isalterítico. A partir daí assumem uma tendência decrescente até o nível da transição para o horizonte aloterítico. Na porção mediana deste horizonte, os teores, novamente elevados, voltam a diminuir até atingirem um valor mínimo junto ao horizonte de solo.

A curva de distribuição do perfil a montante indica uma redução dos teores de U na base do horizonte isalterítico e também na porção mediana do perfil, ao nível da transição para os horizontes aloteríticos. Nestes últimos, a tendência dos teores de U é de manterem-se relativamente baixos e estáveis, voltando a diminuir no horizonte de solo.

A curva de distribuição do perfil a jusante mostra um forte enriquecimento em U a partir da transição entre os horizontes isalterítico e aloterítico. A partir daí a tendência é de redução brusca dos teores e, em seguida, a estabilização num patamar baixo.

#### As razões Th/U

As razões Th/U para o perfil a montante (Tab. 1) situam-se na média, em torno do valor 6, e concordam com valores conhecidos para outros

gnaises da Província de Lagoa Real (Fig. 5). No perfil a jusante, este valor médio cai para cerca de 0,3, um decréscimo aproximado de 17 vezes.

Os teores em U ao longo do perfil a jusante são, em média, cerca de 10 vezes mais elevados que os do perfil a montante. Ao contrário, os teores em Th são até cerca de 2 vezes inferiores no perfil a jusante (Tab. 1). Essa variação dos teores entre os dois perfis, juntamente com a queda brutal na relação Th/U, vem confirmar, por um lado, as importantes transferências laterais do U e, por outro, a já conhecida imobilidade geoquímica do Th diante dos processos de alteração.

#### Evolução vertical e lateral das fases portadoras de urânio

Esses dados permitiram também estabelecer o itinerário básico das transferências locais e redistribuições verticais e laterais do urânio e acompanhadores nos perfis sobre albitito e gnaiss estéril.

Através das análises por microsonda eletrônica (Rocha, op. cit.), foi possível localizar e identificar quimicamente as fases e produtos de alteração portadores de U. Desse modo, a expressão mineralógica do urânio em face das mudanças composicionais causadas pela alteração - impressas nos perfis sobre albitito e gnaiss - pode ser caracterizada.

A presença atual ou pretérita do U junto a minerais ou produtos secundários de alteração é atestada também pela formação de halos radioativos (glóbulos) bem demarcados, identificados nos estudos por microsonda e microscopia ótica.

O U redistribuído no interior do manto de intemperismo provém dos agregados de uraninita e também das finas inclusões desse mineral contidas em certas fases acessórias dos albititos, particularmente em alanitas, titanitas e em certos óxidos e silicatos de metais raros ainda mal identificados (Fig. 6). Nos primeiros estágios da alteração, com a destruição das fases portadoras primárias, parte do U liberado vai compor os produtos fortemente uraníferos, enquanto

outra parte vai ser adsorvida nos argilo-minerais e oxihidróxidos de Fe, denominados genericamente produtos argilo-ferruginosos. Com o prosseguimento da alteração, as fases secundárias portadoras de U passam a ser, na seqüência: os plasmas constituídos por produtos amorfos ricos em oxihidróxidos titaníferos (tipo leucóxênio), juntamente com uranofânio; e os produtos argilo-cerianos. O U que migra vertente abaixo vai ser fixado, principalmente, pelos produtos titaníferos presentes junto aos primeiros horizontes de alteração, e, secundariamente, pelos produtos argilo-ferruginosos, sobretudo nos horizontes alteríticos superiores.

#### RADIOMETRIA

##### Anomalia de superfície

O corpo mineralizado principal da Jazida Laranjeiras gera em superfície uma anomalia radiométrica notavelmente característica. A configuração da porção sul dessa anomalia está representada em detalhe no mapa radiométrico da Fig. 7a. Ela apresenta um flanco a montante bem delimitado, e uma parte a jusante muito mais difusa, cuja extremidade, pouco contrastada, se estende até a base da encosta.

##### Radiometria na Trincheira

A distribuição da radioatividade na parede da trincheira ficou bem caracterizada pela realização de um total de 234 medidas radiométricas, segundo uma malha semi-regular com espaçamento médio de aproximadamente 0,50m entre os pontos de medida (Fig. 8). Este levantamento mostra a ocorrência de um máximo bem marcado (mais de 15000 cps), coincidente com a base do perfil estabelecido sobre o corpo de albitito (supostamente) mineralizado. Esse corpo mostra-se estreitamente relacionado às curvas de isotividade mais elevadas, tendo o seu contorno delimitado grosseiramente pela curva de 5000 cps. Por outro lado, a radioatividade dentro do gnaiss estéril, encaixante do corpo mineralizado, aparece, notavel-

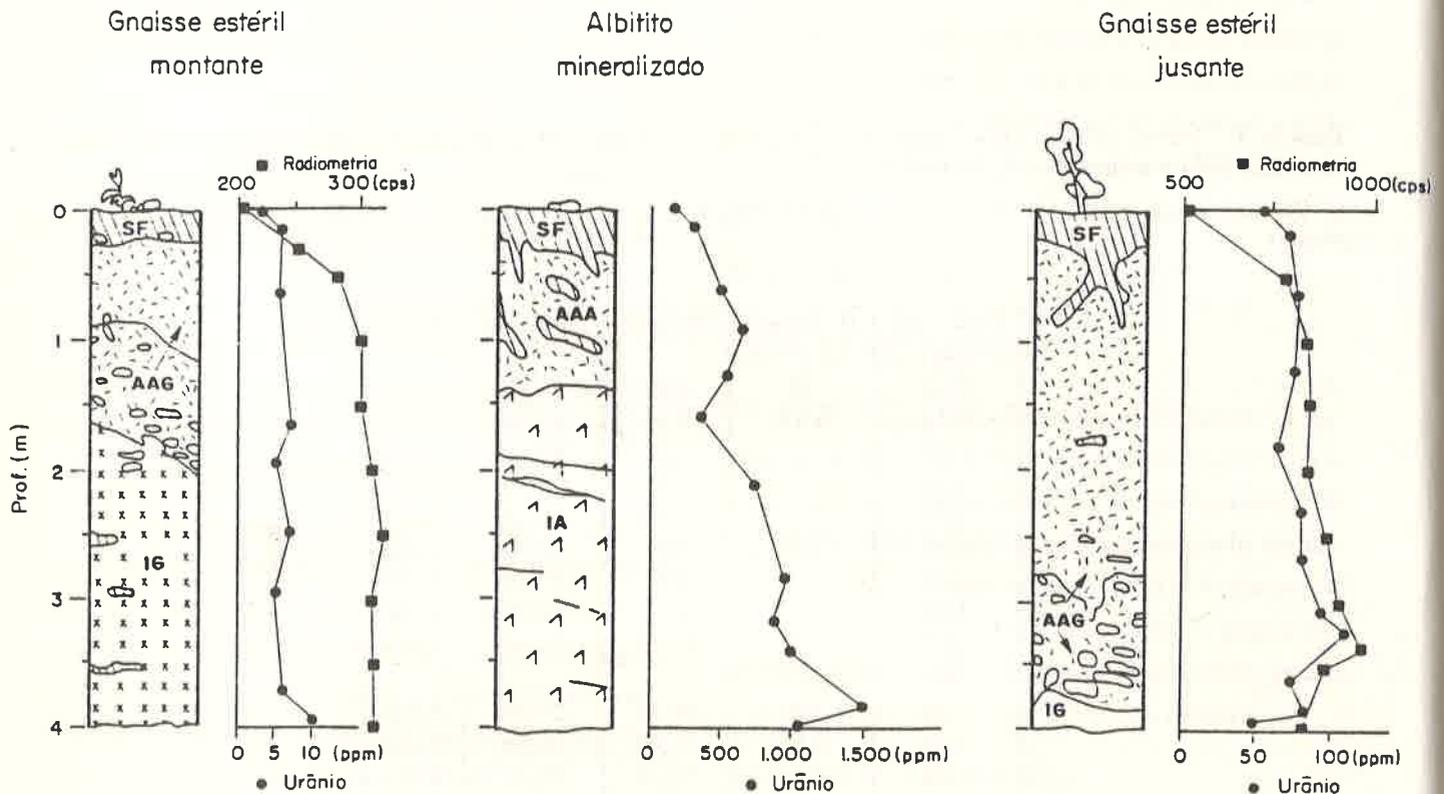
## Anomalias Radiométricas de Superfície em Jazidas Cobertas por Mantos Lateríticos de Intemperismo

**Tabela 1.** Teores de  $U$  e  $Th$  e razões  $Th/U$  em função da profundidade para os perfis sobre gnaisse estéril a montante ( $M$ ) e a jusante ( $J$ ) da trincheira.

*U, Th concentrations and Th/U ratios at different depths in upslope (M) and downslope (J) unmineralized gneiss profiles.*

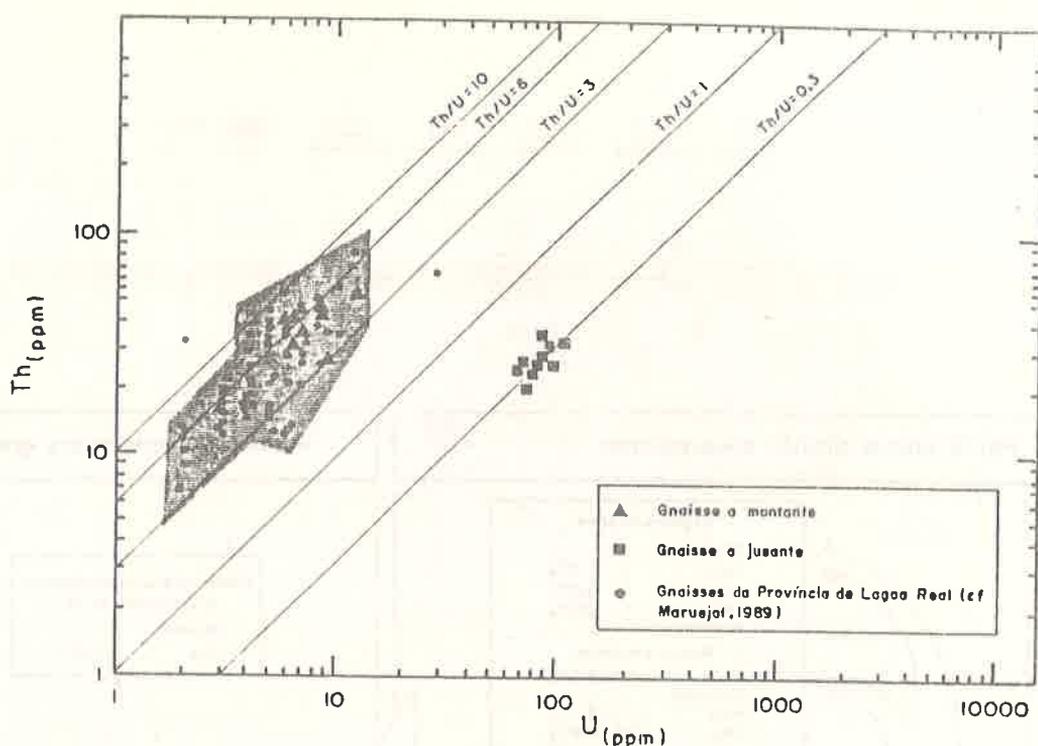
Prof. (m)	Horizonte	U(ppm)	Th(ppm)	Th/U
(M)				
0,10	SF	3,49	28,06	3,305
0,60	AAG	5,80	41,31	7,122
1,40		6,35	49,82	7,846
1,70		7,89	42,69	5,411
1,95		6,18	33,28	5,385
2,50	IG	7,95	42,65	5,365
3,00		5,61	39,88	7,110
3,80		6,75	35,03	5,190
4,00		11,74	54,96	4,681
(J)				
0,10	SF	69,16	27,86	0,403
0,60	AAG	76,06	26,98	0,355
1,20		75,74	26,61	0,351
1,80		65,98	25,50	0,386
2,30		78,96	34,34	0,435
2,70		79,60	24,30	0,305
3,10		91,97	26,02	0,283
3,25		111,71	32,38	0,290
3,65		69,26	19,73	0,285
3,80	IG	83,60	31,42	0,376

## Anomalias Radiométricas de Superfície em Jazidas Cobertas por Mantos Lateríticos de Intemperismo



**Figura 4.** Distribuição de urânio nos perfis de alteração na jazida de encosta de Laranjeiras. IG: isalterita de gnaiss, AAG: aloteria argilo-ferruginosa de gnaiss, IA: isalterita de albitito, AAA: aloteria argilosa de albitito, SF: solo ferruginoso. Radiometria nos perfis sobre gnaiss a montante e a jusante.

*Uranium distribution in weathered profiles of the Laranjeiras scarp deposit. IG: saprolite with preserved gneiss structure, AAG: argilliferous-ferruginous saprolite without preserved gneiss structure. IA: saprolite with preserved albitite structure, AAA: argilliferous saprolite without preserved albitite structure, SF: ferruginous soil. Radiometry in upslope and downslope gneiss profiles.*



**Figura 5.** Diagrama comparativo das razões  $Th/U$  dos gnaisses da Jazida Laranjeiras e de outros gnaisses da Província de Lagoa Real.

*Comparative diagram of  $Th/U$  ratios for the gneisses of Laranjeiras and other deposits in Lagoa Real Province.*

mente, mais fraca. Observa-se que a 5 metros dos limites laterais do corpo mineralizado os valores radiométricos podem apresentar-se até dez vezes mais elevados a jusante (5000 cps) que os valores a montante (500 cps). Aliás, de um modo geral, o traçado das curvas de isoatividade apontam para uma nítida progressão dos valores em direção a jusante. Em particular, observa-se ainda que os ventres dessas curvas de isoatividade localizam-se na parte superior dos horizontes isalteríticos (saprolitos), a cerca de 2 metros de profundidade.

#### Radiometria nos Poços

A radiometria dos perfis sobre gnaiss estéril, a montante e a jusante da trincheira, ilustra o comportamento da radioatividade ao longo da vertente. O levantamento radiométrico no interior desses poços de investigação foi feito através de medidas normalmente distanciadas 0,50 m uma da outra, na vertical (Fig. 4).

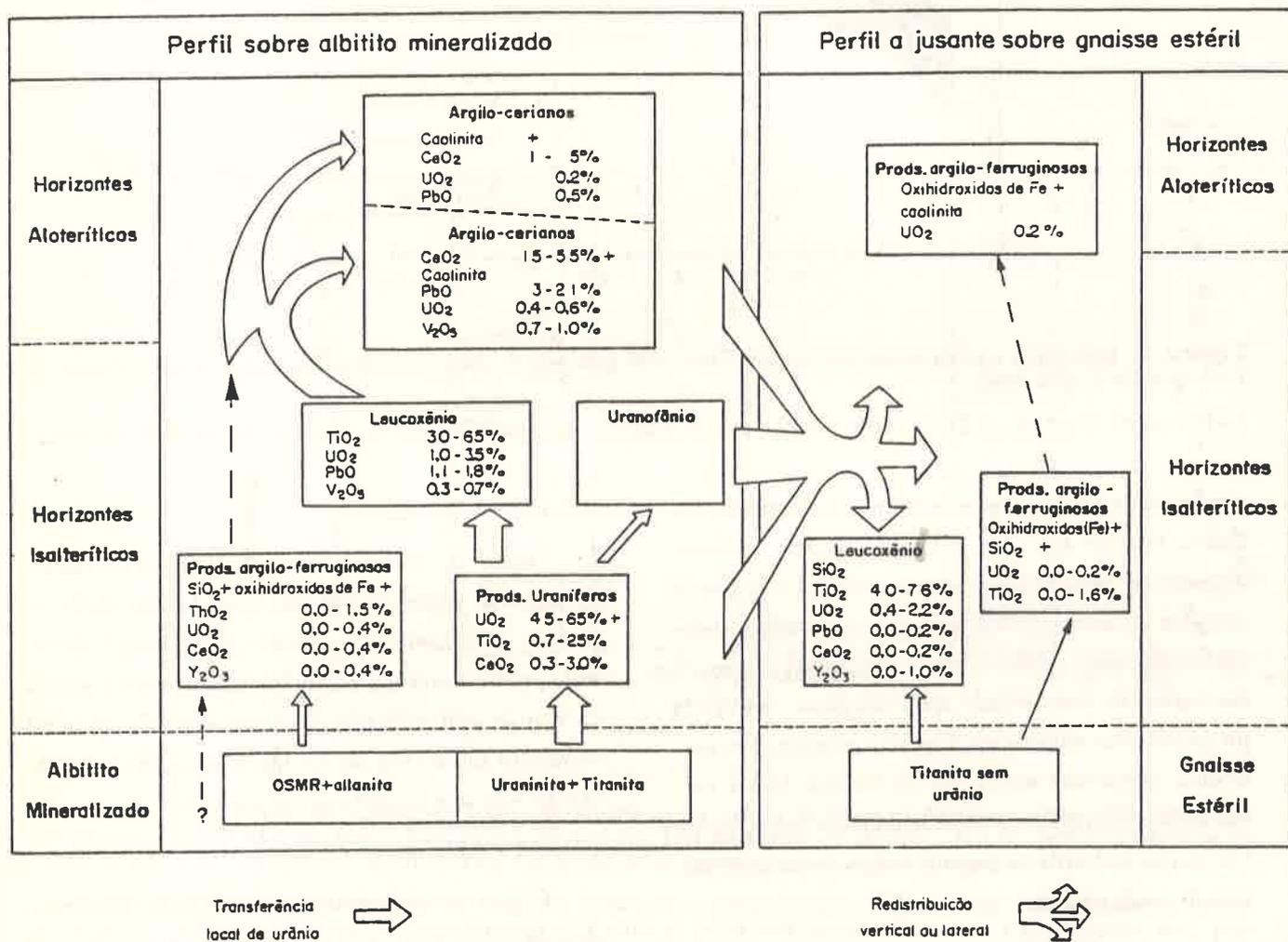
#### - Perfil a montante

Desde a base do perfil, a radioatividade encontra-se praticamente estabilizada em torno de 300 cps. Um ligeiro crescimento dos valores é observado próximo ao topo do horizonte isalterítico, acerca de 2 m de profundidade. Na parte superior do perfil os valores sofrem um decréscimo mais acentuado, até atingir a marca de 200 cps em superfície.

#### - Perfil a jusante

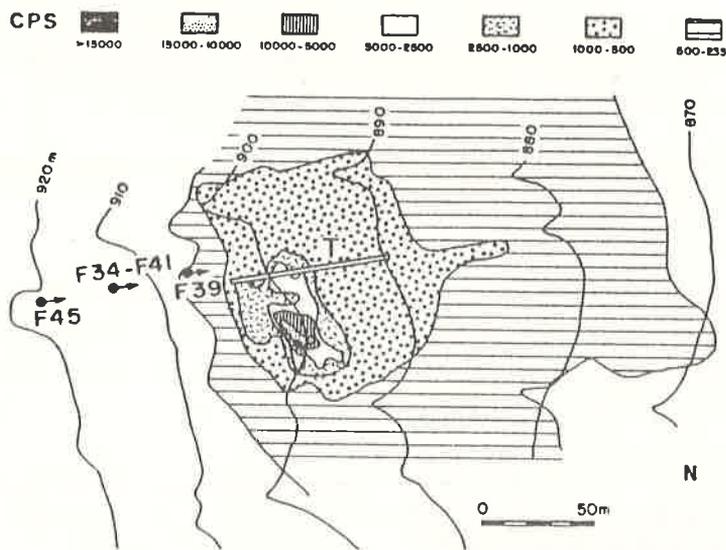
O pico que representa o valor radiométrico mais elevado (1000 cps), de modo idêntico aos perfis anteriores, aparece na transição entre os horizontes isalteríticos e aloteríticos. Os valores decrescem suavemente em direção ao topo do extenso horizonte aloterítico, e bruscamente no horizonte de solo, até 500 cps (medida em superfície).

Como se vê, há um forte contraste entre os valores radiométricos dos perfis a montante e a jusante, sendo estes últimos até 5 vezes mais elevados que os

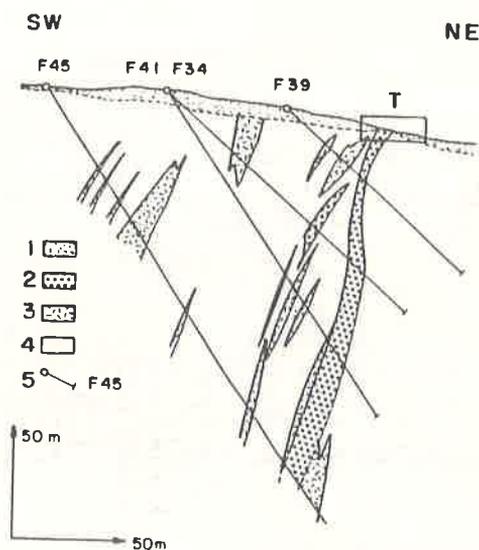


**Figura 6.** Quadro ilustrativo das transferências locais e redistribuições verticais e laterais do urânio e acompanhadores no manto de alteração da Jazida Laranjeira.

*Local transfers and vertical uranium and associated elements redistributions in the weathered mantle of Laranjeiras deposit.*



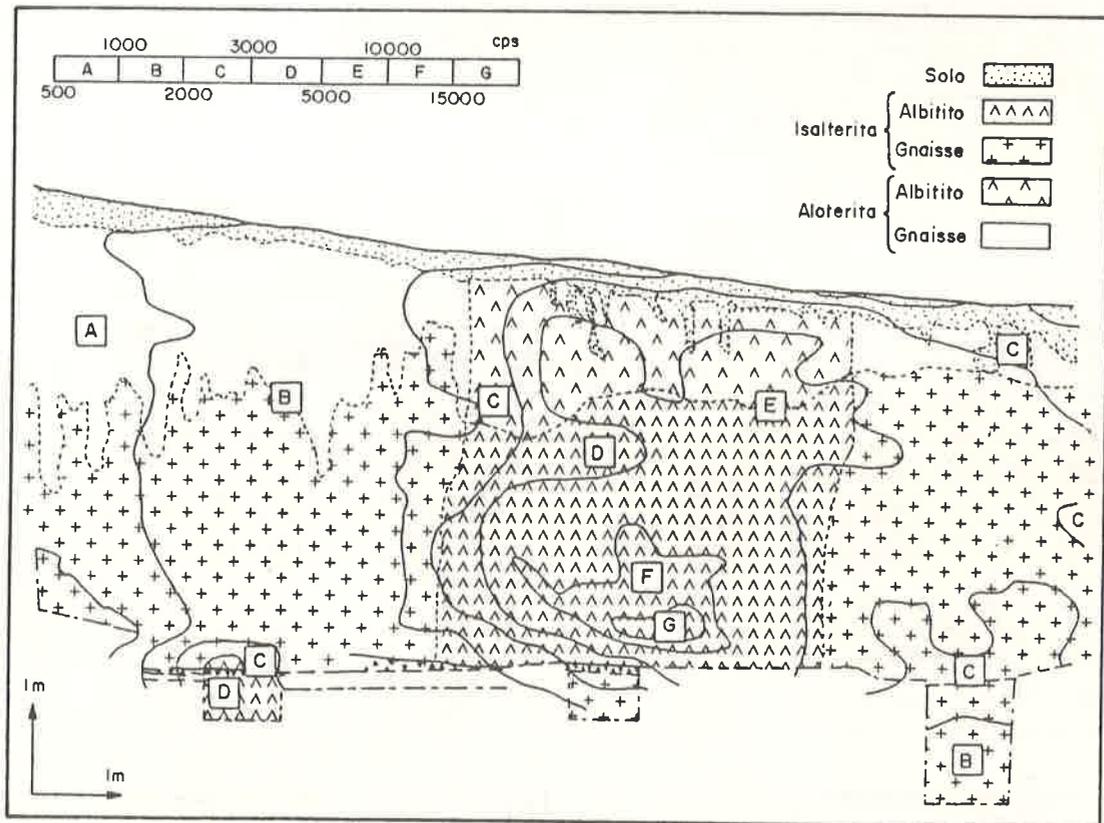
(a)



(b)

**Figura 7.** (a) Mapa radiométrico de detalhe sobre o corpo mineralizado principal da Jazida Laranjeiras; (b) Seção SW-NE que mostra a disposição do corpo mineralizado principal da Jazida Laranjeiras. 1: manto de alteração, 2: albitito uranífero, 3: albitito estéril, 4: gnaisse encaixante, 5: sondagem, T: trincheira. Modificado de documento da Nuclebrás, não-publicado.

(a) Detailed radiometric map upon the main mineralized body of Laranjeiras deposit; (b) SW-NE section showing the position of main mineralized body of Laranjeira deposit. 1: weathered mantle, 2: uraniferous albitite, 3: unmineralized albitite, 4: country gneiss, 5: sounding, T: trench. Modified from Nuclebrás paper, unpublished.



**Figure 8.** Radiometria na parede da trincheira.

*Radiometry in the trench.*

primeiros.

Os valores de radioatividade esbatem-se progressivamente em direção à base da encosta; ao mesmo tempo os picos apresentam a tendência de se aproximar da superfície.

## CONCLUSÕES

### CONTROLE GEOMORFOLÓGICO NA DISTRIBUIÇÃO DAS ANOMALIAS RADIOMÉTRICAS SOBRE AS JAZIDAS DE LAGOA REAL

Até o presente, a distribuição geográfica das mineralizações de urânio de Lagoa Real vinha sendo atribuída a um controle do tipo litológico-estrutural. Entretanto, as evidências da análise geomorfológica permitem agora evocar também um controle pelo relevo atual. De fato, todos os depósitos conhecidos ocupam uma posição particular no contexto geomorfológico: localizam-se na região escarpada, mais precisamente, na parte superior dessa unidade do relevo. Essa região corresponde à zona de afloramentos rochosos, de onde se conclui que a disposição das jazidas na superfície não é, portanto, senão aparente, pois inexistem evidências de que a zona de escarpa esteja ligada a qualquer feição geológica (litológica ou estrutural) controladora das mineralizações de U. Além disso, deve-se considerar ainda que a região de escarpa é uma unidade em recuo ativo e, portanto, não pode ser associada a uma feição geológica permanente. Acredita-se que as mineralizações sejam colocadas em evidência por esse recuo do escarpamento - tornando-se então detectáveis - e depois progressivamente mascaradas pela alteração e pelo coluvionamento, à medida que estes fatores prevaleçam sobre a erosão. Não fosse assim, deveríamos encontrá-las também longe da zona escarpada. Seguindo este raciocínio, é provável que existam mineralizações de urânio, ainda não detectadas, relacionadas a outras unidades do relevo, especialmente à superfície do platô mais elevado. Com efeito, o estudo das anomalias

lhas muito fracas sobre o platô (Schmitt et al., 1989; Schmitt, 1990) mostra que realmente existem indícios sob a cobertura laterítica, os quais, após trabalhos de avaliação e pesquisa, poderão se mostrar econômicos.

### Implicações para a prospecção

Decorre desse entendimento acerca do posicionamento geomorfológico das jazidas que os métodos de prospecção utilizados foram de fato eficazes somente nas zonas de afloramentos. Fica assim demonstrada claramente a limitação dos métodos radiométricos clássicos para pesquisa e prospecção de U em áreas intertropicais com cobertura laterítica. Fica também aberta a possibilidade de revisão do potencial uranífero regional da Província de Lagoa Real.

### AS ANOMALIAS RADIOMÉTRICAS DE SUPERFÍCIE E O CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

As mineralizações uraníferas de Lagoa Real exprimem-se em superfície sob a forma de dois tipos de anomalias radiométricas: as de platô (Fig. 3B, C), caracteristicamente difusas, com fraco contraste; e as de escarpa ou de encosta (Fig. 3D), muito mais intensas e melhor definidas. Esse segundo tipo é, até agora, o único que apresenta interesse econômico. A ele correspondem as mineralizações subaflorantes, expostas à superfície pelo recuo do escarpamento. A Jazida Laranjeiras representa um exemplo típico dessas anomalias de encosta, e nela não encontradas condições favoráveis ao estudo da redistribuição lateral do urânio e de seus acompanhadores ao curso da alteração.

### TRANSFERÊNCIAS LATERAIS DE PRODUTOS RADIOATIVOS NA JAZIDA LARANJEIRAS E SEUS REFLEXOS NA ANOMALIA DE SUPERFÍCIE

A dissimetria da anomalia radiométrica de superfície da Jazida Laranjeiras é característica das anomalias de encosta reconhecidas sob todos os cli-

mas. Essa disposição da anomalia poderia, em princípio, ser atribuída à inclinação ou dissimetria primária dos teores dos corpos mineralizados. Porém, a geometria dos corpos mineralizados, revelada pelas sondagens (Fig. 7b), mostra que o aspecto dissimétrico da anomalia não pode ser atribuído a nenhuma disposição particular da mineralização, e deve, na verdade, resultar de um fenômeno de redistribuição de origem meteórica dos produtos radioativos ao longo da encosta, no seio dos horizontes superficiais. A comprovação dessa hipótese pode ser obtida através de levantamentos radiométricos em perfis de alteração escalonados de montante a jusante, perpendicularmente à direção dos corpos mineralizados. A distribuição da radioatividade nas paredes desses cortes (cf § Radiometria) mostra claramente a ocorrência de transferências laterais dos produtos radioativos em direção a jusante, ao longo da encosta.

#### RELAÇÃO ENTRE RADIOATIVIDADE E REDISTRIBUIÇÃO DO URÂNIO NA JAZIDA LARANJEIRAS

Os produtos radioativos, como mostrado acima, movimentam-se em direção a jusante no seio do manto de alteração da Jazida Laranjeiras. Resta saber, porém, se tais produtos radioativos correspondem ao urânio redistribuído ou a sua filiação, mais precisamente aos gama emissores da cadeia de desintegração radioativa,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ . Essa questão se resolve pela comparação entre as curvas de distribuição de teores em U e as curvas de radioatividade, dos perfis a montante e a jusante (Fig. 4). Os teores em U são cerca de 10 vezes mais elevados no perfil a jusante relativamente ao perfil a montante. Os valores radiométricos mostram uma correlação muito estreita com os teores em U. Note-se, por exemplo, no perfil a jusante, além do traçado geral das curvas, a coincidência entre os picos de maior teor (acima de 110 ppm) e maior radioatividade (próximo de 1000 cps), situados na base do pacote aloterítico. Esses dados químicos e radiométricos mostram, sem

equivoco, que o espalhamento da radioatividade em direção a jusante é devido justamente à redistribuição do próprio urânio.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a Urânio do Brasil (ex-NUCLEBRÁS) pelo amplo apoio dado ao nosso programa de pesquisa. À Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Convênio CNPq-ORSTOM) - pelo suporte financeiro da pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. de e HASUI, Y. (1984) O Pré-Cambriano no Brasil. (Coords.). Ed. Edgard Blücher. São Paulo. 378 p.
- COSTA, P.H., ANDRADE, A.R.F., LOPES, G.A. e SOUZA, S. L. (1985) Projeto Lagoa Real. Mapeamento Geológico 1:25000. Salvador, NUCLEBRÁS - CPM-CBPM, 1 - texto e mapas. 98 p.
- COSTA, P.H., VIANNA, I., ANDRADE, A., LOPES, G. e SOUZA, S. (1983) Projeto Lagoa Real. Mapeamento Geológico 1:50000. Salvador, CBPM.
- FUJIKAWA, K., ALVES, J.V., MARUEJOL, P., CUNEY, M., KOSTOLANYI, C. and POTY, B. (1988) The Lagoa Real Uranium Province, Bahia State, Brazil: Some Petrographic Aspects and Fluid Inclusion Studies. *Geochimica Brasilienses*, 2(2): 109-118.
- GEISEL SOBRINHO, E., RAPOSO, C., ALVES, J.V., BRITO, W. de e VASCONCELOS, T.G. (1980) O Distrito Uranífero de Lagoa Real, Bahia. In: *Congr. Bras. Geol.*, 31.

- Camboriú, 1980. Anais. Camboriú. SBG. v. 3, p. 1499-1512.
- INDA, H.A.V. e BARBOSA, J.F. (1978)** Mapa Geológico do Estado da Bahia. Escala 1:1000000. Texto Explicativo. Salvador. SME/CPM. 137 p.
- KING, L.C. (1956)** A Geomorfologia do Brasil Oriental. Rev. Bras. Geogr., 2, Ano XVIII, 147-265.
- KOGLER, K., BIANCONI, F. and BÜTNER, W. (1983)** Geochemical Behaviour of Uranium in Lateritic Profiles in Southern Tanzania. In: Uranium Exploration in Wet Tropical Environments IAEA. Vienna. p. 119-136.
- LOBATO, L.M. and FYFE, W.S. (1990)** Metamorphism, Metasomatism, and Mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil. Economic Geology, 85(5): 968-989.
- MARUEJOL, P. (1989)** Métasomatose Alcaline et Minéralisations Uranifères: les Albitites du Gisement de Lagoa Real (Bahia, Brésil) et exemples complémentaires de Xihuashan (SE Chine), Zheltorechensk (Ukraine) et Chhuling Khola (Népal central). Thèse de doctorat. Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium - CREGU. Nancy. 428 p.
- MOGÉ, B., SAMAMA, T.C. and VALENCE, G. (1987)** Behavior of Uranium in Ferrallitic Environments - The case of the Kenieko occurrences (Mali) - Uranium, 3(2/4): 117-130.
- MOUTINHO DA COSTA, L.A., PORTELA, A.C.P., NILSON, A.A., VALE, C. R. O., MARCHETTO, C. M. L., SANTOS, E. L. dos, MENEGUETTO, G., INDA, H. A. V., STEIN, J. H., MARCHETTO, M., BATISTA, M. B., FRATIN, O., MOSSMANN, R., OLIVEIRA, T. F. de e SILVA, W. G. da (1976)** Projeto Leste do Tocantins/Oeste do Rio São Francisco (LETOS). Relatório Final. Petrópolis, DNPM/CPRM/PROSPEC. v. Ia, Ib, 558 p.
- NIMER, E. (1977)** Clima. In: Geografia do Brasil. Região Nordeste, IBGE, v. 2, p. 47-84.
- OLIVEIRA, A.G. de, FUZIKAWA, K., MOURA, L.A.M. e RAPOSO, C. (1985)** - Província Uranífera de Lagoa Real - Bahia. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, DNPM/CVRD. v. I, p. 105-120.
- RAMOS, J.R. de A. e MACIEL, A.C. (1974)** - Prospecção de Urânio no Brasil 1970/1974. Rio de Janeiro. CNEN. 129 p. (Boletim 4).
- RAPOSO, C. e MATOS, E.C. de (1982)** Distrito Uranífero de Lagoa Real. A história de um Exemplo. In: Congr. Bras. Geol., 32, Salvador. 1982. Anais. Salvador, SBG. v. 5, p. 2035-2048.
- RAPOSO, C. e MATOS, E.C. de (1983)** Projeto Lagoa Real. Relatório de Síntese da Jazida Laranjeiras. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS. 103 p.
- ROCHA, E.B. (1991)** Dispersão e Redistribuição de Urânio e Acompanhadores em Mineralizações Uraníferas submetidas a Alteração Lateritizante: Exemplo da Jazida Laranjeiras. Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia. Tese de Doutorado. IAG-USP. São Paulo. 150 p.
- SAMAMA, T.C. (1984)** Uranium in Lateritic Terranes. In: Surficial Uranium Deposits. IAEA-TECDOC-322 Vienna. p. 53-60.
- SCHMITT, J.M., ROCHA, E.B. and MELFI, A.J. (1989)** Geomorphic Studies as an Help to Uranium Exploration in Laterite Covered Areas: Example of the Lagoa Real (Bahia-Brazil) Uranium Province. In: XII International Geochemical Exploration Symposium. Workshop: "Uranium Geochemistry and Exploration In Humid

Tropical Terrains". Rio de Janeiro. AEG/SBGq. Abstracts, p. 15-17.

**SCHMITT, J.M.** (1990) Géomorphologie et Prospection de l'Uranium dans le Nord-est Brésilien. In: Séminaire Organisation et Fonctionnement des Altérites et des Sols, Bondy-França. ORSTOM. Resumés, p. 29.

**SCHMITT, J.M., ROCHA, E.B. and MELFI, A.J.** (1992) Landscape Evolution and Uranium Redistribution during Weathering under Tropical Climate (Lagoa Real, Bahia, Brazil). In: 2nd Meeting of IGCP 317: (UNESCO-UISG)/4a Reunión Argentina de Sedimentología. La Plata, Argentina. Actas, Tomo III, 193-200 p.

**TURPIN, L., MARUEJOL, P. and CUNEY, M.** (1988) U-Pb, Rb-Sr and Sm- Nd Chronology of Granitic Basement, Hydrothermal Albitites and Uranium Mineralization (Lagoa Real, South Bahia, Brazil). Contrib. Mineral. Petrol. 98: 139-147.

Submetido em 30.03.93

Revisado em 25.06.93

Aceito em 30.06.93

Editor responsável Daniel J. R. Nordemann

**Palavras chave**  
Jazidas de Urânio  
Anomalias radiométricas  
Distribuição de Urânio

**Key words**  
Uranium deposits  
Radiometric anomalies  
Uranium distribution