

**MOBILIDADE DOS ELEMENTOS RESIDUAIS  
SOB A ÓPTICA DA BIOGEOQUÍMICA NO COMPLEXO ALCALINO DE  
CATALÃO I, GOIÁS**

M.C. Lima e Cunha<sup>1</sup>, M.L.L. Formoso<sup>1</sup>, V.P. Pereira<sup>2</sup>

1. Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, CPGq, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS

2. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS

Recebido em 01/95. Aprovado para publicação em: 11/95

## ABSTRACT

Aspects related to the mobility of the residuals elements on supergene environment are approached in this work from the biogeochemical viewpoint, in the weathering profile of alkaline complex of Catalão I, Goiás.

The high contents of Nb, Ti, Zr and Y in *Solanum lycocarpum* St.Hil. ashes confer to this species a status of local indicator plant of the mineral paragenesis of that complex.

The results suggest that the mobility of these elements in lateritic conditions and resultant availability to plants, can be promoted by its geochemical speciation, relationships with cationic and anionic scavengers and dissolution by organic acids that exist in the radicular surrounding environment.

## RESUMO

Aspectos relativos à mobilidade dos elementos residuais, em ambientes supergênicos, são abordados neste trabalho, sob a óptica da biogeoquímica, no manto de alteração de Catalão I, Goiás.

Os altos teores de Nb, Ti, Zr e Y, obtidos nas cinzas de *Solanum lycocarpum* St.Hil.(Lobeira), conferem à mesma um status de planta indicadora local da paragênese mineral do referido complexo.

É sugerido, também, que a mobilidade destes elementos, em meio laterítico, e conseqüente disponibilidade para o vegetal, pode ser decorrente da especiação geoquímica dos mesmos, do seu grau de afinidade com os "scavengers" e da sua dissolução pelos ácidos orgânicos existentes no micro-ambiente radicular.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido em continuidade aos estudos biogeoquímicos feitos no perfil de alteração de Complexo Alcalino - Ultramáfico de Catalão I, Goiás, com enfoque, no presente caso, nos elementos que, juntamente com os ETR, caracterizam a paragênese mineral do referido complexo, quais sejam: Ti, Nb, Zr e P, abordando-se, ainda, o Al e o Y, além do Ca.

A espécie considerada, *Solanum lycocarpum* St.Hil., pela sua concentração em ETR (Lima e Cunha et al.,1993), revelou-se uma importante indicadora destes elementos, ao refletir, a partir da composição de suas cinzas, o grau de concentração e o comportamento dos ETR, no manto de alteração de Catalão I.

Dos elementos aqui abordados, a exceção do P e do Ca, que são essenciais ao desenvolvimento pleno de um vegetal, somente o Al e o Ti parecem ter alguma função fisiológica, embora esta não seja muito clara. Já o Zr, Nb e Y não desempenham nenhuma função vital conhecida nos vegetais (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

De acordo com Trudinger et al (1979, in Trudinger & Swaine, 1979), a biosfera é seletiva no que diz respeito ao acúmulo de elementos, significando que ela desempenha um papel importante na determinação das características

químicas do meio. Esta seletividade é particularmente pronunciada nos chamados "organismos acumuladores", que se caracterizam por uma incomum capacidade de absorver e acumular grandes quantidades de elemento(s) específico(s). O acúmulo de Y, por exemplo, em samambaias, é singular, na medida em que este elemento não tem função fisiológica conhecida (Vlasov, 1966).

Em geral, a concentração dos elementos não essenciais na biosfera varia de ppb a ppm, sendo o acúmulo, portanto, decorrente de combinações não específicas com agentes complexantes no organismo (Trudinger et al.,op.cit.). Desse modo, a concentração celular de alguns elementos é significativa porque reflete a quantidade relativa dos mesmos no ambiente, muito embora existam certas espécies chamadas "acumuladoras preferenciais" que concentram determinados elementos sem que os solos contenham teores anômalos destes.

Sendo o sistema solo-planta aberto, ele está sujeito a ganhos, como contaminantes, pesticidas e fertilizantes, e perdas, como lixiviação, erosão e volatilização. Por sua vez, os fatores que afetam a quantidade de elementos absorvidos pelas plantas são controlados por: 1) concentração e especiação do elemento na solução do solo; 2) movimento deste, do solo

para a superfície da raiz; 3) seu transporte, da superfície externa da raiz para dentro da mesma, e 4) transporte da raiz para as partes aéreas. Ainda, a maior ou menor absorção dos íons móveis presentes no solo depende da quantidade total dos mesmos no meio; já, no caso daqueles íons fortemente adsorvidos nos componentes do solo, uma maior absorção pela planta irá depender da quantidade de raiz produzida pela mesma (Alloway, 1990).

Algumas considerações sobre os elementos abordados neste trabalho são apresentadas, a seguir, no intuito de situá-los no contexto da biogeoquímica, muito embora, em se tratando de elementos menores e ou traços, poucas são as referências que os abordam, particularmente, em se tratando dos processos de absorção pelas plantas.

### Titânio

Este elemento ocorre, comumente, na natureza, na forma tetravalente. Seus minerais são, em geral, muito resistentes ao intemperismo, fazendo com que se apresentem praticamente não decompostos nos solos. O aumento na quantidade absoluta de Ti nos horizontes superiores do solo, durante os processos de alteração, é decorrente de sua solubilidade muito limitada (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Nos vegetais, mesmo sendo considerado relativamente não disponível e pouco móvel no interior da planta, sua concentração varia entre 2 e 1200 ppm (em peso de cinzas). Ervas, como a urtiga, são consideradas concentradoras de Ti. As diatomáceas podem conter até 2,5% do elemento (Kabata-Pendias & Pendias, op.cit.).

Estudos feitos em *Baccharis uncinella*, ocorrente sobre os solos bauxíticos de Lages, SC (Lima e Cunha et.al., 1990), revelam que os elevados teores de Ti nesta espécie são decorrentes da sua maior solubilidade, principalmente nos solos sobrepostos às rochas fonolíticas, onde este elemento tende a formar silicatos complexos que são mais intemperizáveis que os seus óxidos.

### Nióbio

Ocorre em compostos naturais, exclusivamente, na forma pentavalente. Sua afinidade geoquímica com o Ti é bem maior que com o Zr (Vlasov, 1966).

Por ter seu comportamento, durante o intemperismo, altamente dependente do mineral hospedeiro, é liberado ou permanece como

resistato. Os agentes complexantes orgânicos também podem mobilizá-lo. Segundo Kabata-Pendias & Pendias (1984), sob condições úmidas, é relativamente móvel, tornando-se, assim, mais disponível às plantas.

Estas, em geral, contêm entre 15 e 20 ppm de Nb (em peso de cinzas), embora algumas plantas nativas apresentem capacidade de extrair este elemento de solos enriquecidos. Kabata-Pendias & Pendias (op.cit) reportam concentrações acima de 150 ppm de Nb (em peso de cinzas) em *Rubus arcticus* (Rosacea), em área mineralizada em Nb, na União Soviética, passando a ser esta espécie considerada uma indicadora do depósito.

### Zircônio

Como o titânio, o zircônio é considerado muito pouco móvel, por serem, seus minerais, altamente resistentes aos processos intempéricos. No entanto, sob condições supérgenas, sua migração é atribuída a minerais facilmente alteráveis, que contêm este elemento na estrutura cristalina (Vlasov, 1966). Smith & Carson (apud Kabata-Pendias & Pendias, op.cit) reportam pequenas dissoluções de Zr em lateritas de rochas alcalinas. Com valência comumente  $Zr^{4+}$ , seu teor médio nos solos é em torno de 230ppm. Mesmo que concentrações desta ordem sejam freqüentes nos solos, sua disponibilidade para os vegetais é muito limitada. Embora não existam dados relativos à concentração de Zr nas plantas, estudos feitos (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) têm mostrado que musgos e ervas concentram-no mais que outras plantas. Para líquens, por exemplo, estes autores reportam teores entre 300 a 400 ppm e, para os vegetais superiores, o maior valor registrado é de 500 ppm (em peso de cinzas). Valores entre 50 a 560 ppm em *Baccharis uncinella* (Lima e Cunha et.al., 1990) nos solos bauxíticos de Lages, SC, sugerem que, na fase residual, a capacidade de migração do Zr não é tão limitada.

### Ytrio

Este elemento tem suas propriedades fundamentais semelhantes aos ETR e ocorre, também, na forma trivalente. Fluoretos e carbonatos de Y são pouco solúveis em água. Em soluções mineralizadas, é transportado na forma de fluoreto, facilmente solúvel, de Na e Y. Pela sua alta capacidade de migração, é muito enriquecido em águas subterrâneas, ao contrário do que ocorre nos produtos de alteração, onde

é muito empobrecido. Robinson et al. (1958) encontraram teores de até 41 ppb de Y em águas subterrâneas do leste dos Estados Unidos, em contraposição ao Ce (0,5ppb) e ao Yb (1,3ppb).

Kabata-Pendias e Pendias (1984) reportam, para as rochas ultramáficas, valores entre 0,5 e 5 ppm. Para os solos, registram valores médios de 25 ppm. Em materiais biológicos, ossos de peixe, por exemplo, foram encontradas concentrações acima de 0,25% de Y. Para os vegetais, apontam teores entre 20 a 100 ppm (peso em cinzas) para plantas cultivadas e briófitas, e para os líquens, teores entre 3 a 30ppm.

### Alumínio

É um dos principais constituintes da crosta. Durante os processos intempéricos, são formados os hidróxidos de Al. Em geral, como hidróxidos, têm baixa solubilidade, principalmente, em pH entre 5 e 8 (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Como componente comum em todas as plantas, sua concentração é menor que 4500 ppm (peso em cinzas), de acordo com Chenery & Sporne (1976). Para as espécies acumuladoras, estes autores reportam valores acima de 15000 ppm. Estudos biogeoquímicos feitos nos terrenos bauxíticos de Lages, SC, (Lima e Cunha et.al., op.cit.) sugerem ser *Baccharis uncinella* uma espécie acumuladora e tolerante aos teores excessivos deste elemento, cuja disponibilidade para o vegetal é decorrente das remobilizações tardias do Al, ao longo do perfil de alteração. Embora não tenha uma função fisiológica específica nos vegetais, existem evidências que baixos teores de Al são benéficos para o desenvolvimento das mesmas.

### Fósforo e Cálcio

A maior parte do fósforo existente nos solos provém da alteração dos fosfatos, como a apatita. Muito embora seus teores no solo possam ser altos, somente uma pequena fração é imediatamente disponível aos vegetais sob a forma de íons ortofosfato. No entanto, relações de simbiose entre raízes e fungos (micorrizas) promovem a absorção do fósforo, mesmo em solos com deficiência deste elemento. Segundo Biddulph (1959), o P é um elemento particularmente móvel no interior da planta, sendo que um só átomo, ao ser incorporado, pode fazer vários circuitos completos no interior do vegetal em um só dia.

Muito do fósforo existente no solo é

imobilizado na forma de complexos, tornando-se, desta forma, não disponível à planta. De acordo com Philips & Webb, 1971 (In: Trudinger & Swaine, 1979), o P solúvel raramente migra mais que 2 a 3 cm antes de ser imobilizado por reações dos componentes do solo. Por outro lado, alguns destes componentes (ácidos húmicos, por exemplo) aumentam a sua solubilidade.

O cálcio, elemento essencial à nutrição vegetal, é absorvido na forma da  $Ca^{2+}$  e tem como função principal manter a integridade da membrana celular. Boyer (1985) atribui ao Ca um papel muito semelhante ao dos elementos-traço, visto que a quantidade estritamente necessária para o desenvolvimento de um vegetal é mínima. Em vista disto, as elevadas concentrações detectadas nas cinzas dos vegetais podem ser decorrentes de sua alta solubilidade.

## CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

O Complexo Alcalino-Ultramáfico de Catalão I, caracterizado por uma estrutura dômica pertencente ao Cretáceo, é composto por rochas ultramáficas serpentinizadas e flogopitizadas, cortadas por veios carbonatíticos de espessura variada (Carvalho e Bressan, 1989). Segundo esses autores, o complexo tem sido submetido a intensos processos de alteração intempérica desde o Terciário, resultando na formação de uma espessa cobertura laterítica. Tais processos são também responsáveis pela formação supérgena de zonas mineralizadas que contêm importantes reservas de fosfato, nióbio, titânio, ETR e vermiculita. Em termos geoquímicos, elevados teores de Fe, Ti, Zr e Y ocorrem nos níveis mais superficiais da cobertura laterítica. Já a presença de Al e de P, nestes níveis, é decorrente dos fosfatos aluminosos secundários (Imbernon, 1993).

O maciço situa-se no município de Ouvidor, sul do estado de Goiás, distando, aproximadamente, 23km de Catalão e 10km de Ouvidor.

O clima da região, tropical de altitude, tem um regime sazonal, representado no período de março a outubro, por estiagem e, de novembro a fevereiro, por chuvas.

Os solos da área do complexo são lateríticos; a espessura média do alterito é de 80m e, não raro, ultrapassa os 100m, com desníveis topográficos significativos.

A vegetação é típica de cerrado, com abundância de babaçus. É, também, bastante

comum, na área considerada, a presença de um sub-arbusto pertencente à família das Solanaceas, cuja espécie *Solanum lycocarpum* St. Hil. (conhecida na região como Lobeira) foi escolhida como meio de amostragem biogeoquímica.

## METODOLOGIA

A coleta das amostras (20 exemplares) obedeceu critérios de distribuição homogênea da espécie, em áreas com um mínimo de interferência antrópica e com espaçamento entre uma e outra estação de amostragem da ordem de 50 a 100 metros.

Na Figura 1, as amostras convencionadas como População A (11) foram coletadas nos solos sobrepostos às ocorrências mineralizadas a Ti e à maior concentração de ETR conhecida no complexo (próximo ao Córrego do Garimpo); já aquelas convencionadas como População B (9) foram coletadas entre as áreas I e II, cortando as seqüências enriquecidas em Nb e fosfato/Nb. No tratamento dos dados, a divisão em populações foi desconsiderada, visto que os teores médios dos elementos não diferem, significativamente, quando comparadas ambas as populações.

A metodologia analítica empregada abrangeu o tratamento comumente utilizado em biogeoquímica (Brooks, 1972; Kovalevskii, 1979) e a dosagem dos teores dos elementos foi feita por ICP, nos laboratórios de geoquímica analítica da Geosol, MG. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 1, expressos em ppm e/ou porcentagem em peso de cinzas de folhas da espécie *Solanum lycocarpum*.

Um teste analítico, feito em uma amostra de raiz da espécie considerada, exigiu maiores precauções, como repetidas lavagens, visto ser este órgão mais sujeito a contaminação por partículas do solo, embora, neste caso, a amostra seja composta por raízes capilariformes, longas e sem tecido lenhoso.

## DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando confrontados os valores constantes na Tabela 1 com os dados extraídos da literatura para o Ti, Al, Zr, Nb, e Y, constata-se que o grau de concentração nas cinzas da espécie em questão é indicativo da maior disponibilidade desses elementos para o vegetal, mesmo daqueles muito pouco móveis. Isto reflete no enriquecimento dos mesmos no manto de alteração de Catalão I, e sugere a sua

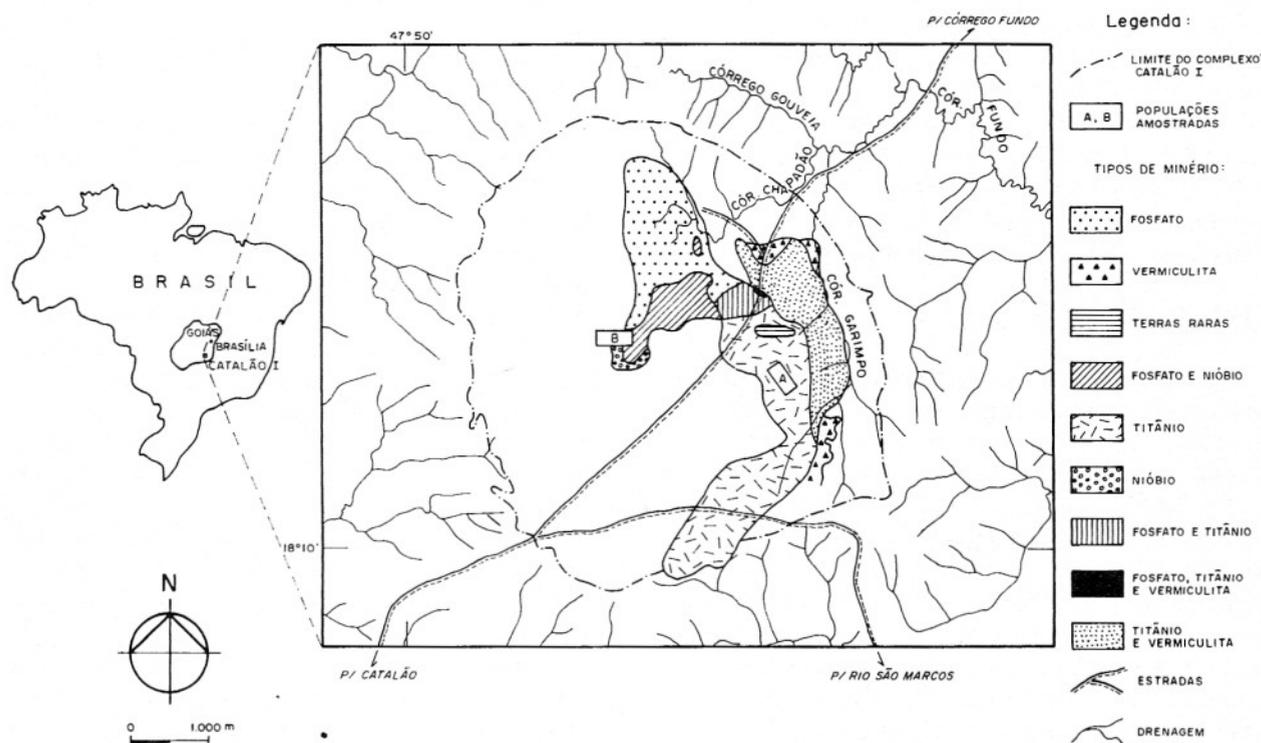


Figura 1 - Mapa de localização do Complexo Alcalino-Ultramáfico de Catalão I, Goiás, com identificação da amostragem biogeoquímica.

Tabela 1 - Concentração dos elementos analisados em *Solanum lycocarpum*, Catalão I, Goiás (valores expressos em ppm ou percentagem de peso de cinzas).

Elem.	Ca%	P%	Ti%	Al%	Zr ppm	Nb ppm	Y ppm
Am.1	6,04	3,08	0,43	2,06	1060	1120	170
Am.2	10,15	4,75	0,16	0,95	420	1000	184
Am.3	2,16	3,25	0,21	1,43	n.d.	n.d.	n.d.
Am.4	2,16	3,25	0,21	1,43	140	140	82
Am.5	11,50	3,40	0,27	1,10	200	720	30
Am.6	6,91	4,35	0,19	1,00	520	610	184
Am.7	12,16	4,31	0,21	1,16	370	520	196
Am.8	21,16	3,34	0,21	1,06	570	1040	190
Am.9	20,88	2,50	0,06	0,25	134	400	100
Am.10	15,98	3,16	0,11	0,46	420	840	320
Am.11	10,80	3,82	0,06	0,28	196	470	142
Am.12	21,02	4,18	0,09	0,37	196	360	94
Am.13	3,60	3,60	0,14	0,42	n.d.	n.d.	n.d.
Am.14	14,90	3,16	0,06	0,27	126	280	220
Am.15	24,70	2,72	0,04	0,23	160	460	380
Am.16	17,35	3,25	0,15	0,34	240	50	720
Am.17	12,38	3,16	0,11	0,39	2,70	60	192
Am.18	9,36	2,99	0,09	0,38	n.d.	n.d.	n.d.
Am.19	13,39	2,81	0,10	0,35	200	410	330
Am.20	11,80	3,82	0,14	0,37	240	420	650

especiação na solução do solo, o que possibilita que sejam mais facilmente absorvidos pela planta.

A variabilidade observada em algumas amostras, quanto aos teores de Nb e Zr, é possivelmente decorrente da extensão da raiz em profundidade, idade da planta ou mesmo da própria heterogeneidade química da laterita.

Com relação ao P e ao Ca, embora possam migrar em processos de lateritização, os valores médios obtidos para a espécie aqui considerada (cf. Tabela 1) são compatíveis com aqueles registrados por Allen et al, 1974; Connor & Shacklette, 1975 e Epstein, 1975, fato este que sugere, também, pouca perda, particularmente do P, durante o processo de calcinação das amostras.

As plantas absorvem, ou trocam, os elementos químicos de diferentes fases do meio externo: sólida, líquida e gasosa. Quando na fase líquida, eles estão em estado solúvel, enquanto

que na fase sólida, somente uma parte destes é extraível. Além disso, a solução aquosa promove de forma muito rápida o suprimento de nutrientes para as raízes, enquanto a extração destes, da fase sólida, dá-se a partir de um pequeno volume de solo que está em contato com o sistema radicular (espessura da camada: 0,04 a 1,0 mm)(Kovalevskii, 1979).

Um parâmetro biogeoquímico, utilizado para caracterizar a intensidade de absorção dos elementos das fases sólidas do solo pelas plantas, é representado pelo BAC (Coeficiente Biológico de Absorção). Perel'man, 1961 (apud Kovalevskii, op.cit.), ao introduzir este parâmetro representado pela razão teor na planta/teor no solo, categoriza os elementos em cinco grupos, de acordo com a magnitude deste coeficiente: de 10 a 100 ou mais = muito fortemente acumulado; de 1 a 10 = fortemente acumulado; de 0,1 a 1,0 = fracamente acumulado e absorção média; de 0,01 a 0,1 =

fraca absorção, e de 0,001 a 0,01 = muito fraca absorção.

De acordo com Kovalevskii (op.cit.), o BAC dos elementos aumenta quando estes estão em áreas e solos mineralizados na forma de compostos solúveis, especiações adequadas ou como disseminações de granulação muito fina. Os valores deste parâmetro mudam quando o elemento (ou compostos) ocorre sob a forma pouco solúvel ou como disseminações de granulação grossa, implicando em não disponibilidade para a planta. Em seus estudos, este autor mostra que o BAC do zinco, por exemplo, em mineralizações com esfalerita levemente alterada, tem um valor de 10 a 100, enquanto na zona de gossans, onde o zinco encontra-se adsorvido em hidróxidos de Fe, o BAC é de 0,5 a 5,0, ou seja, 20 a 200 vezes menos.

Este coeficiente foi aqui utilizado, a partir dos dados extraídos do perfil A7 (laterita) e do perfil A8 (cobertura superficial) de Imbernon (1993), com o objetivo de se avaliar o grau de enriquecimento dos elementos na planta em relação aos teores no solo. Os baixos valores de BAC da segunda coluna, conforme os resultados constantes na Tabela 2, são esperados, pelo fato de ser a cobertura superficial composta por laterita degradada, associada a material alóctone caulínico, conforme descrito por Imbernon (op cit ). As razões obtidas sugerem que:

- o Al, na laterita, é fortemente acumulado e, na cobertura superficial, tem fraca absorção, significando que, na última, encontra-se em forma menos mobilizável;

- o Ti é fracamente absorvido em ambos os níveis. Este fato revela que, apesar da sua alta concentração nestes horizontes, sua

solubilidade é baixa;

- o Nb, tanto na laterita como na cobertura superficial, é fracamente acumulado com absorção média, significando que, apesar de estar associado a magnetitas e apatitas no manto de alteração, parte dele é solubilizado e, conseqüentemente, disponível para o vegetal. Vale ressaltar que esta absorção relativa, obviamente, é decorrente do grau de mobilidade do elemento e o acúmulo está relacionado a inocuidade do mesmo à planta. Ou seja, no caso do Nb, se mais disponível, maior seria a sua absorção pelo vegetal que tenderia a acumulá-lo sem maiores danos ao seu pleno desenvolvimento, dadas as suas características não biogênicas;

- o forte acúmulo do Y pelo vegetal, em ambos os horizontes, é indicativo de sua solubilidade e conseqüente disponibilidade para a espécie. O seu enriquecimento na planta é explicável pela sua fácil dissolução, aliado ao seu caráter de não essencialidade, que permite ao mesmo ser amplamente absorvido pelo vegetal, quando o meio contém valores expressivos do elemento. Além disso, o Y compete com os ETR, que têm algumas similaridades com o  $Ca^{2+}$ , embora menos solúveis. Assim, explica-se porque o BAC do ytrio é o maior depois do cálcio;

- o Zr, na laterita, é fracamente acumulado com absorção média, e, na cobertura superficial, é fracamente absorvido. Este fato sugere que, apesar de sua baixa mobilidade, ele sofre pequenas dissoluções no horizonte laterítico, passível, portanto, de ser absorvido pela planta;

- o P, na laterita, é fortemente acumulado e, na cobertura superficial, é fracamente absorvido. Possivelmente, as fontes do P para as plantas são os fosfatos primários alterados e os fosfatos secundários que ocorrem em menor quantidade nas camadas superiores do manto de alteração. Convém salientar que os minerais que compõem a série das apatitas, a mais importante fonte de P, são lixiviados durante os processos de alteração. É importante lembrar, também, a ação das micorrizas, que promovem a absorção do P, mesmo em solos deficientes neste elemento; e

- o Ca, tanto na laterita, como na cobertura superficial, é muito fortemente acumulado, segundo os valores de BAC. Sua maior disponibilidade para o vegetal deve ser proveniente da fácil solubilização dos carbonatos, que sofrem pronta dissolução no intemperismo.

Fatores outros, como seletividade no processo de absorção (que é finita quando os

Tabela 2 - Coeficiente Biológico de Absorção (BAC) na Laterita e na Cobertura Superficial de Catalão I.

Elemento	Laterita	Cobertura Superficial
Al	0,77	0,08
Ti	0,02	0,05
P	1,52	0,93
Ca	259	68,21
Zr	0,36	0,06
Nb	0,27	0,18
Y	3,70	2,10

solos são anômalos, conforme Brooks, 1972) e afinidade específica do vegetal a cada elemento, não são, neste caso, abordados, dadas as características de não essencialidade (à exceção do P e do Ca) dos elementos considerados. O fato de o Al, Ti, Nb e Y, pelos valores de BAC, comportarem-se como elementos biogênicos (Brooks, 1972; Lima e Cunha et. al., 1990), na espécie em questão, indica que o acúmulo destes é decorrente de sua maior disponibilidade, já que os mesmos não têm função específica no metabolismo vegetal.

Sobre a mobilidade dos elementos em ambientes supergênicos (e conseqüente disponibilidade aos vegetais), há que se considerar, também, a importância da rizosfera (zona com cerca de 1 a 2mm, entre a raiz e o solo circundante), que recebe grandes quantidades de material orgânico oriundo das raízes (exudatos, mucilagens, etc), causadores de intensa atividade microbiológica e bioquímica, fato que habilita estes órgãos a mobilizar alguns elementos fortemente adsorvidos no solo, seja por acidificação, trocas por oxidação-redução ou formação de complexos orgânicos (Alloway, 1990), tornando-os, assim, mais disponíveis aos vegetais.

Além disso, às fases amorfas ou pobremente cristalizadas, conhecidas como "scavengers", são atribuídas várias reações químicas, que ocorrem em ambientes lateríticos (Kühnel, 1987), na medida em que, por suas altas capacidades de sorção e reatividade química, capturam e fixam os elementos presentes nas soluções migrantes, sendo consideradas responsáveis pela concentração e fracionamento dos elementos nas rochas alteradas. Portanto, os "scavengers", além de serem os precursores de minerais neoformados, são também determinantes na composição química das plantas. Ou seja, seria com estes protominerais que o vegetal faz as trocas químicas que possibilitam aos mesmos absorver, inclusive, aqueles elementos muito pouco móveis. Isto porque, segundo Kühnel (op.cit.), a maior parte dos metais é freqüentemente fixada na fração de mais baixa cristalinidade. Durante a cristalização dos "scavengers", os elementos, ou são incorporados na fase cristalina neoformada, ou são mobilizados. Neste caso, eles tendem a migrar através de outro "scavenger". Como resultado, sua concentração torna-se heterogênea e os íons permanecem móveis. Por outro lado, por ser o ambiente laterítico um sistema composto por fases sólida, líquida e gasosa, seus constituintes são formados e decompostos durante um contínuo suprimento

e remoção, o que promove uma migração onipresente. Neste sentido, o suprimento de elementos aos vegetais também é um processo dinâmico, mesmo quando se trata daqueles muito pouco móveis, como o Zr e o Ti.

Além do emprego do parâmetro acima, foram testadas correlações gráficas entre os elementos mais significativos da paragênese mineral de Catalão I, na tentativa de se visualizar o grau de relação dos elementos entre si no processo de absorção. Para o Al e Ti (Fig.2), a correlação evidencia que, apesar da sua baixa solubilidade, eles são absorvidos de modo similar pelo vegetal. Do mesmo modo, observa-se que para o Nb e o Ti (Fig.3) a correlação indica, além de sua intrínseca relação, o grau de enriquecimento dos mesmos nos horizontes mais superficiais, facultando ao vegetal absorvê-los de modo semelhante àqueles elementos facilmente solúveis. Já no caso do Nb versus Zr (Fig.4), percebe-se, igualmente, uma correlação positiva, embora os valores de Zr tendam a permanecer mais baixos, dada a sua

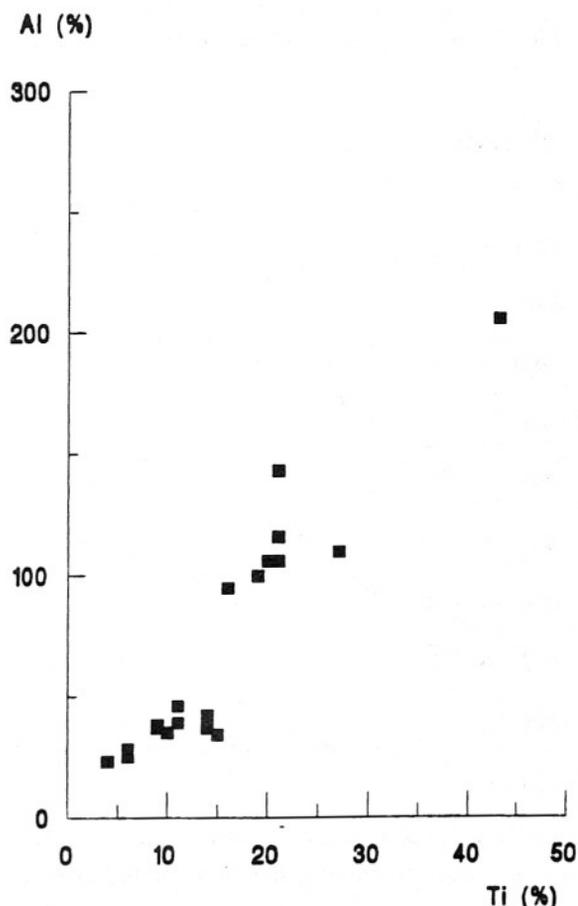


Figura 2 - Diagrama de Correlação entre Al e Ti em *Solanum lycocarpum* (valores em peso de cinzas).

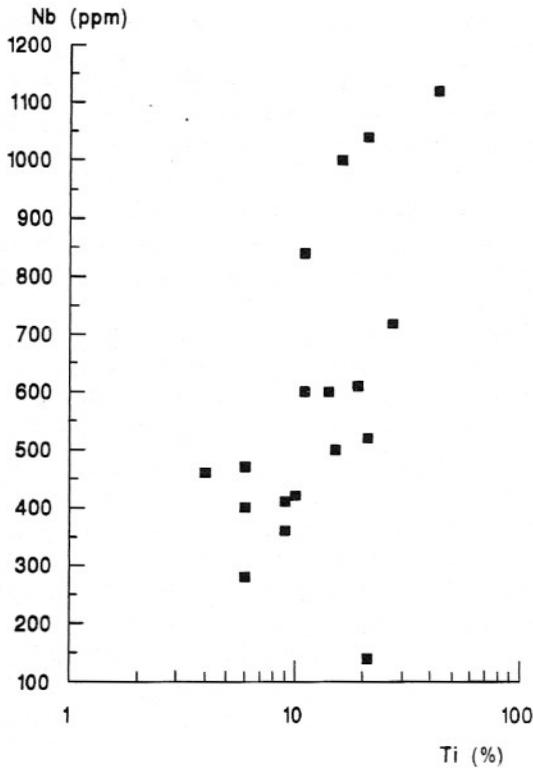


Figura 3 - Diagrama de Correlação entre Nb e Ti em *Solanum lycocarpum* (valores em peso de cinzas).

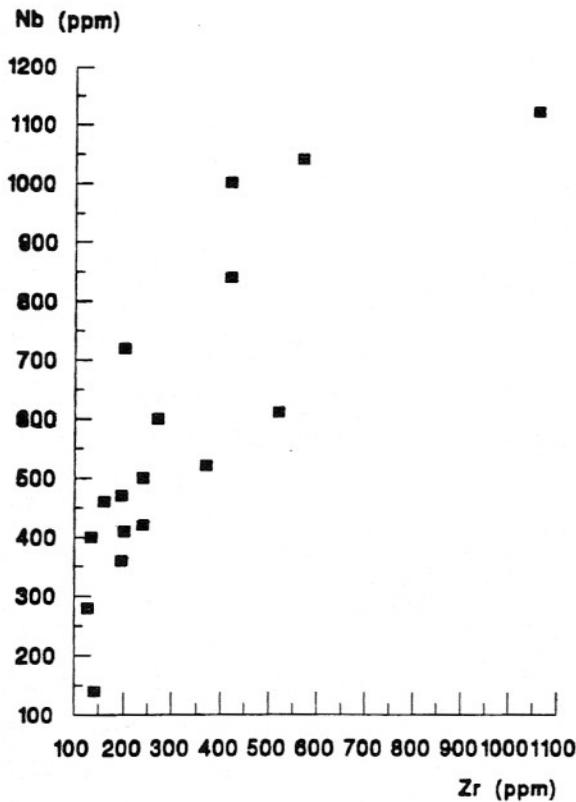


Figura 4 - Diagrama de Correlação entre Nb e Zr em *Solanum lycocarpum* (valores em peso de cinzas).

menor mobilidade no perfil de alteração.

Correlações biogeoquímicas entre os ETR (dados extraídos de Lima e Cunha et al., 1993) e os valores de Y não mostram relação entre estes elementos, conforme a Figura 5. No entanto, quando este elemento é correlacionado com os ETRP (Fig.6), fica evidente a relação existente entre ambos, dadas as suas similaridades químicas, particularmente, no que se refere à semelhança de raio iônico. Além disso, a maior facilidade de complexação dos ETRP promove seu transporte em solução, à semelhança do Y, fazendo com que o vegetal não diferencie este último dos ETRP no processo de absorção.

Um teste analítico para ETR, feito em uma amostra de raiz da espécie em apreço (Fig.7), evidencia que os teores obtidos nesta são bastante próximos daqueles medidos no solo. Pelos valores obtidos em duas amostras de solo, uma coletada junto a raiz (distância menor que 5cm) e outra distante cerca de 1m da mesma, percebe-se a similaridade das três curvas, o que confirma, não só o comportamento destes elementos no solo, traduzido pela concentração

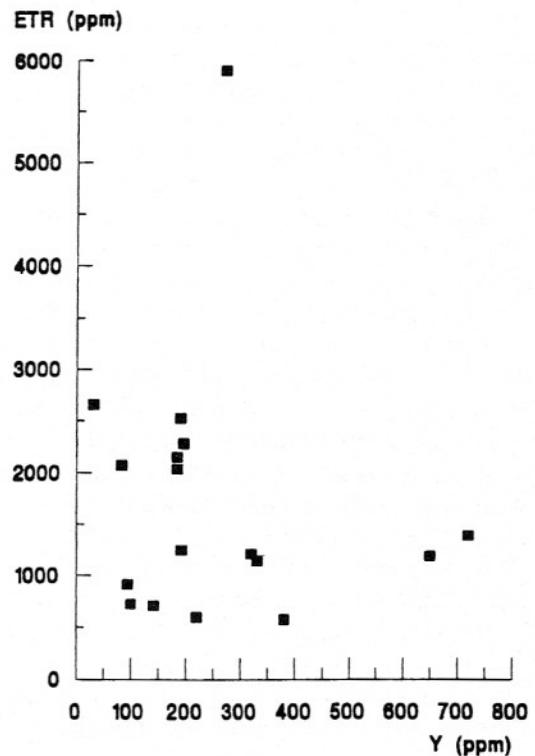


Figura 5 - Diagrama de Correlação entre Y e ETR em *Solanum lycocarpum* (valores em peso de cinzas).

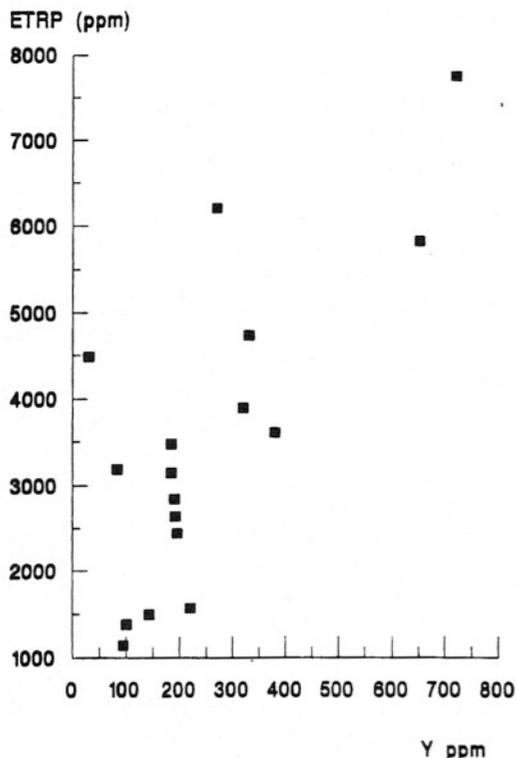


Figura 6 - Diagrama de Correlação entre Y e ETRP em *Solanum lycocarpum* (valores em peso de cinzas).

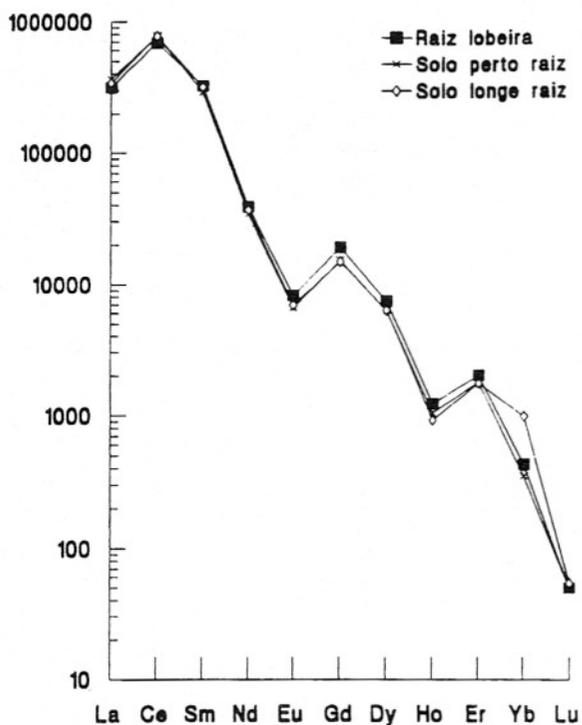


Figura 7 - Correlação entre os teores de ETR na raiz de *Solanum lycocarpum* (em peso de cinzas) e os teores destes elementos medidos em amostra de solo próximo a raiz (distância menor que 5cm) e distante cerca de 1m da mesma (valores em ppm).

na planta, como o seu enriquecimento nos horizontes mais superficiais do manto de alteração.

## CONCLUSÕES

Considerando-se que os processos físicos, químicos e biológicos atuam de modo integrado e simultâneo ao longo de um perfil de alteração, a premissa de que a mobilidade dos elementos residuais em ambientes lateríticos é mínima, ou praticamente inexistente, contrapõe-se à dinâmica dos diferentes estádios intempéricos. Em termos biogeoquímicos, os fatores que promovem a mobilidade de elementos residuais em ambientes supergênicos e sua conseqüente disponibilidade para os vegetais podem ser decorrentes da especiação dos mesmos, de sua afinidade com os "scavengers" e de sua dissolução pelos ácidos orgânicos, existentes no micro-ambiente radicular. A resposta biogeoquímica dada por *Solanum lycocarpum* pode ser um exemplo disso, mesmo em se tratando de elementos ditos "imóveis", quando se constata que:

a) confrontando-se os valores dos elementos analisados com os dados existentes na literatura, à exceção do P e do Ca, percebe-se que o grau de concentração desses elementos nas cinzas de *S. lycocarpum* reflete o enriquecimento dos mesmos no meio;

b) quando comparados os valores de BAC na laterita, particularmente para o Al, Zr e Nb, observa-se que a disponibilidade destes para o vegetal é maior que a do Ti, sugerindo que a mesma pode estar relacionada com a especiação dos elementos, já que, em termos de mobilidade, eles se assemelham. No caso da cobertura superficial, os baixos valores de BAC podem ser um reflexo da menor concentração destes elementos no solo, visto ser o material que a compõe uma mistura de laterita degradada com sedimentos cauliniticos alóctones;

c) os elevados teores de Ti, Al, Zr, Nb e Y, nas cinzas de *S. lycocarpum*, conferem à mesma um caráter de planta indicadora local;

d) o método biogeoquímico, mesmo com amostragem de natureza punctual e restrita, retrata a paragênese mineral da área, bem como parece estar refletindo o grau de mobilidade dos elementos residuais nas camadas superiores do manto de alteração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, S.E.; GRIMSCHAW, H.M.; PARKINSON, J.A.; QUARMBY, C. (1974) Pollutants. In: Chemical Analysis of Ecological Materials. Oxford Blakwell Scient. Pub., 230p.
- ALLOWAY, B.J. (1990) Soil processes and the behaviour of metals. In: B.J. Alloway (Ed.) Heavy Metals in Soils. Blackie & Son Ltd., 339p.
- BIDDULPH, O. (1959) Translocation of inorganic solutes. In: F.C. Steward (Ed.) Plant Physiology-a treatise. v.II. Academic Press, New York.
- BOYER, J. (1985) Dinâmica dos elementos químicos e fertilidade dos solos. Salvador, Inst.Geoc./UFBA, 311p.
- BROOKS, R.R. (1972) Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration. Harper & Row Pub., New York, 290p.
- CARVALHO, W.T. & BRESSAN, S.R. (1989) The phosphate deposit of Catalão ultramafic alkaline complex, Goiás, Brazil. In: A.J.G. Nothold, R.P. Sheldon, D.F. Davidson (Eds.) Phosphate Deposits of the World, 2:104-110.
- CHENERY, E.M. & SPORNE, K.R. (1976) A note of the evolutionary status of aluminium accumulators among dycotyledons. New Phytol., 76:551-554.
- CONNOR, J.J. & SHACKLETTE, H.T. (1975) Background geochemistry of some rocks, soils, plants and vegetables in the Counterminous United States. Washington, U.S. Geol. Surv., 168p. (Prof. paper 574-F)
- EPSTEIN, E. (1975) Nutrição Mineral das Plantas. Princípios e Perspectivas. São Paulo, EDUSP, 341p.
- IMBERNON, R.A.L. (1993) Evolução geoquímica e mineralógica dos produtos de alteração intempérica sobre as rochas do complexo alcalino-ultramáfico de Catalão I, Goiás. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências/USP, 132p.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. (1984) Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Florida, 250p.
- KOVALEVSKII, A.L. (1979) Biogeochemical Exploration for Mineral Deposits. Oxonian Press Pvt. Ltd. Nova Delhi, 136p.
- KÜNEL, R.A. (1987) The role of cationic and anionic scavengers in laterites. Chem. Geol., 60(1/4):31-40.
- LIMA e CUNHA, M.C.; DANI, N.; FORMOSO, M.L.L. (1990) A Importância do Estudo Biogeoquímico na Mobilidade dos Elementos Residuais em Ambiente Supergênico. Rev. Bras. Geoc., 20(1/4):173-177.
- LIMA e CUNHA, M.C.; FORMOSO, M.L.L.; PEREIRA, V.P. (1993) Biogeoquímica dos Elementos Terras Raras no Complexo Alcalino-Ultramáfico de Catalão I, Goiás. Geochim. Brasil., 7(2):101-111.
- ROBINSON, W.O.; BASTRON, H.; MURATA, K.J. (1958) Biogeochemistry of the rare earth elements with particular reference to hickory trees. Geochim. Cosmochim. Acta, 14(1/2):55-67.
- TRUDINGER, P.A. & SWAINE, D.J. (1979) Biogeochemical Cycling of Mineral-Forming Elements. Studies in Environmental Science 3. Elsevier, New York, 612p.
- VLASOV, K.A. (1966) Geochemistry of Rare Elements. V.I. Israel Program for Scient. Transl., Jerusalem, 688p.