CONTRIBUIÇÃO A METALOGÊNESE DO ESTANHO EM MEIO SUPÉRGENO - A JAZIDA DE SERRA DA ONÇA B EM RONDÔNIA

SÔNIA M.B. OLIVEIRA* & JÚLIO C.P. VALENTE**

ABSTRACT CONTRIBUTION TO TIN METALOGENESIS IN SUPERGENE ENVIRONMENT - THE SERRA DA ONÇA B DEPOSIT IN RONDÔNIA. In the Serra da Onça B, State of Rondônia, Brazil, a supergene tin deposit has been derived by weathering of the Santa Barbara granite and greisenized gneissic country rock. Cassiterite is concentrated in the upper two horizons of a lateritic weathering profile comprised, from bottom to top, by a saprolitic level, a stone line of ferruginous nodules and loose-clay level. On the basis of geochemical and micromorphological evidence, this article supports the hypothesis of an autochthonous origin for the Serra da Onça B stone line lateritic profiles. Accordingly, they are thought to have resulted from secondary in situ transformation of an older cassiterite-rich ferricrete formed under dryer climatic conditions that supposedly prevailed in the region during the early Tertiary. Due to the northward drift of South America since then, the climate has become more humid, leading to the dismantling of the ferricrete. The remnants of this former pedological system are the ferruginous nodules that form the stone line. This hypothesis opposes the current view that considers these profiles as the result of colluvial processes related to Quaternary climatic fluctuations.

Keywords: Lateritic stone line, secondary tin mineralization, ferricrete.

RESUMO Na jazida de estanho de Serra da Onça B, no Estado de Rondônia, as concentrações de cassiterita situam-se em perfis de alteração intempérica portadores de um horizonte com *stone Line* laterítica. Esses perfis encontram-se sobre o Granito Santa Bárbara e os gnaisses greisenizados encaixantes, fontes primárias de mineralização. Baseado principalmente em argumentos geoquímicos e micromorfológicos, este trabalho sustenta a hipótese de uma origem autóctone para os perfis de Serra da Onça B. Eles seriam derivados de uma couraça ferruginosa enriquecida em cassiterita que teria se formado sob condições climáticas mais secas, prevalecentes na região até o Eoceno. Com o deslocamento do continente sul-americano em direção ao norte durante o Terciário, o clima em Rondônia foi se tornando cada vez mais úmido, o que resultou na degradação *in situ* da couraça, que deixou como resíduo o horizonte a *stone Line* laterítica. Esta hipótese contraria a interpretação geralmente admitida para esses perfis, que os considera produtos do coluvionamento ocorrido por ocasião das flutuações climáticas quaternárias.

Palavras-chave: *Stone Line* laterítica, mineralização secundária de estanho, couraça.

INTRODUÇÃO A Província Estanífera de Rondônia compreende dezenas de depósitos de cassiterita relacionados principalmente aos chamados "Granitos Rondonianos". Há toda uma variedade de tipos, desde os de origem primária, relacionados direta ou indiretamente aos granitos, até os aluvionares, passando por depósitos eluvionares e coluvionares.

No distrito de Santa Bárbara, situado aproximadamente a 150 km a sudeste de Porto Velho (Fig. 1), há várias jazidas, entre as quais a de Serra da Onça B, objeto deste trabalho. Nessa jazida, as concentrações de cassiterita encontram-se em perfis de alteração com *stone Line* laterítica, desenvolvidos sobre o Granito Santa Bárbara e os gnaisses encaixantes.

Este trabalho tem como objetivo investigar os processos que levaram à elaboração do perfil ferralítico e a consequente concentração de cassiterita. De início, será feita a caracterização estrutural, mineralógica e química dos horizontes componentes do perfil de alteração, levando em conta sua variabilidade vertical e lateral. Em seguida, serão traçadas comparações com perfis similares descritos na África e no Brasil. Finalmente, será proposta uma hipótese explicativa para a gênese e evolução dessas formações.

CONTEXTO GEOLÓGICO E MORFOCLIMÁTICO Regional A Província Estanífera de Rondônia está contida na Província Estrutural de Tapajós, que constitui a parte meridional do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981). São observados granitos anorogênicos de diferentes idades, intrusivos em rochas arqueanas do Complexo Xingu (Fig. 1). Esses granitos são classificados em várias

suites, das quais destacam-se os chamados "Granitos Rondonianos" (Lean *et al.* 1978), considerados como sendo corpos de natureza subvulcânica, com forma aproximadamente circular e idades entre 1.100 e 930 milhões de anos.

As mineralizações primárias de estanho estão associadas a intensos processos de alteração metassomática que afetaram os granitos e as rochas do embasamento. São dominantes os depósitos de caráter essencialmente de substituição metassomática pós-magmática. A cassiterita acha-se concentrada nas bordas dos corpos graníticos e nas encaixantes próximas, principalmente sob forma disseminada, em veios e filões de quartzo ou como *stockwork* associado a corpos greisenizados (Bettencourt & Dall'Agnol 1987).

A região dos granitos estaníferos situa-se na bacia do Rio Madeira, numa área pertencente à unidade morfoclimática designada de "Planalto rebaixado da Amazônica ocidental", onde as formas de dissecação mais comuns são interflúvios tabulares. O relevo compreende elevações de topos aplainados, separados por vales de fundo geralmente plano, com índice de dissecação muito fraco (Leal *et al.* 1978).

O clima atual é quente e úmido, caracterizado por uma precipitação média anual em torno de 2.250 mm e uma temperatura média anual de 24°C. Os meses de junho, julho e agosto são relativamente mais secos, com precipitação média não ultrapassando 100 mm.

Local O depósito de Serra da Onça B está associado ao Granito Santa Bárbara, localizado na bacia do Rio Jamari, afluente do Rio Madeira. A mineralização primária é repre-

* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 20899, CEP 01498-970, São Paulo, SP, Brasil

** Rua Coronel Tamarindo, 83, CEP 02100-000, São Gonçalo, Rio de Janeiro, RJ

LEGENDA

- Aluviões (Quaternário)
- Arenitos e Siltitos (Quaternário)
- Granitos (Proterozóico Superior)
- Formação Prainha (Proterozóico Médio)
- Complexo Xingu (Arqueano)

Figura 1 - Mapa geológico regional (Schobbenhaus *et al.* 1981)

Figure 1 - Regional geologic map (Schobbenhaus *et al.* 1981)

sentada por cassiterita em veios de quartzo que cortam as bordas do granito e suas encaixantes; os gnaisses greisenizados. A direção desses veios é N30-40E, com mergulhos de 25 a 50SE, seguindo o mesmo controle estrutural de mineralização do próprio granito (Carvalho 1988).

A jazida, já parcialmente explorada, compreende as formações de cobertura sobre a rocha alterada derivada do gnaiss greisenizado. Dispõe-se no flanco noroeste da Serra da Onça, contida numa área de aproximadamente 3,8 km de extensão, com largura variando de 0,3 a 1,2 km (Fig. 2). As altitudes estão entre 130 m - nos topos - e 90 m, no fundo do vale.

AS FORMAÇÕES DE COBERTURA NA JAZIDA DE SERRA DA ONÇA B Aspectos gerais Informações provenientes do exame de mais de uma centena de resultados de furos de sondagem e percussão e de cortes abertos pelos trabalhos de lavra permitiram evidenciar as principais feições na escala do depósito (Valente 1991).

- O perfil de alteração tem espessura de mais de 40 m, pois a rocha fresca não aparece na base dos furos de até essa profundidade.
- O perfil de alteração, de natureza ferralítica, apresenta-se diferenciado em três horizontes: um horizonte saprolítico (H3) na base, um horizonte portador de nódulos lateríticos (H2) na porção intermediária e um horizonte móvel (H1) no topo. É nos dois últimos horizontes que se dá o maior enriquecimento em cassiterita.
- As espessuras dos perfis de alteração aumentam para NW, em direção às porções inferiores das encostas. O horizonte

nodular (H2) varia geralmente de 0 a 6 m de espessura e o horizonte móvel do topo (H1) de 0 a 7 m. A espessura do horizonte H3 é desconhecida.

Figura 2 - Mapa geológico do Granito Santa Bárbara, mostrando o depósito de Serra da Onça B (Bettencourt & Dall'Agnol 1987)

Figure 2 - Geologic map of the Santa Bárbara Granite, showing the Serra da Onça B deposit (Bettencourt & Dall'Agnol 1987)

- O horizonte nodular é descontínuo nos topos, torna-se contínuo e de espessura crescente ao longo das encostas, e próximo aos talvegues os nódulos aparecem soldados em couraça (Fig. 3). Assim, na escala do interflúvio, o encouraçamento aparece nos trachos inferiores das encostas.
- Os mapas de isoteores de Sn em H1 e H2, elaborados durante a fase de prospecção de jazida, para o setor representado por um retângulo na figura 2, mostram anomalias superponíveis orientadas na direção NE (Fig. 4).
- O coeficiente de correlação Pearson entre os teores de Sn em H1 e H2 no setor acima citado, calculado para 143 amostras, é de +0,42, o que é significativo ao nível de 99%.

Figura 3 - Seção transversal esquemática para Serra da Onça B • H₁, H₂, e H₃ - ver texto para detalhes

Figure 3 - Schematic cross section in Serra da Onça B • H₁, H₂, and H₃ - see text for details

• De modo geral, em zonas mineralizadas, os teores de Sn em H1 variam de 50 a 500 g/m³ e em H2 500 a 5.000 g/m³, isto é, o teor de Sn em H2 é de uma ordem de grandeza maior que em H1; fora delas, os teores de Sn tanto em H1 quanto em H2 variam entre 10 e 100 g/m³.

Figura 4 — Mapas de isoteores de Sn (g/m³) em H1 e H2
Figure 4 - Map of Sn-contour (g/m³) in H1 and H2

• Em H1, a amplitude da variação do teor de Sn da zona não-mineralizada para a zona mineralizada é menor que em H2. Fora das zonas mineralizadas, o teor de Sn em H1 é um pouco maior que em H2. As anomalias são, portanto, mais espalhadas em H1 que em H2.

Estudo de detalhe OS PERFIS ESTUDADOS Para estudos de maior detalhe, foram selecionados quatro perfis de alteração (A, B, C e D), na zona mineralizada, em diferentes altitudes (Fig. 4). Esses perfis estão expostos na parede de uma grande cava, de onde o minério foi lavrado. A escavação, que visava retirar o material correspondente a H1 e H2, parou logo que atingiu H3, razão pela qual este horizonte só vai aparecer nos perfis representado pela sua porção superior. Apenas muito localmente, a escavação é mais funda e expõe a parte inferior de H3. O chão da cava é, portanto, cortado em H3, onde aparecem nitidamente os veios de quartzo orientados a NE.

O perfil A, situado a 114 m de altitude, apresenta H1 de 1 m de espessura, H2 e H3 de 0,7 m. Em B, com cota 1,30 m abaixo de A, H1 é espesso de 1 m, H2 de 0,7 m e H3 está exposto por 8 m. Em C, a 10 m abaixo de A, H1 mede 2 m de espessura, H2, 1 m e H3 apenas 0,30 m. O perfil D fica em cota intermediária entre B e C; H1 tem 1 m de espessura, assim como H2, e H3 está escavado por 4 m.

AMOSTRAGEM E METODOLOGIA DE TRATAMENTO DAS AMOSTRAS Foram selecionadas amostras representativas dos horizontes de alteração presentes nos perfis A, B e C. De alguns horizontes foi retirada apenas uma amostra e, de outros, duas, que receberam a denominação de (a) e (b), estando a primeira sempre em posição superior no perfil. Essas amostras foram laminadas para microscopia óptica e submetidas à análise granulométrica; em cada fração foi efetuada análise por difração de raios X e dosagem química de Sn. Foram determinados os minerais pesados nas várias frações granulométricas dos concentrados de bateia representativos dos vários horizontes. O perfil D foi amostrado metro a metro para análise química multielementar, que

também foi efetuada sobre amostras representativas do 3 horizontes do perfil C.

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E MICROESTRUTURAL DOS TRÊS HORIZONTES DE ALTERAÇÃO A distribuição granulométrica referente aos três horizontes componentes dos perfis A, B e C está representada nas figuras 5, 6 e 7. Os resultados da difração de raios X para as várias frações granulométricas referentes ao perfil B estão representados na tabela 1. Esses dados, e os obtidos através do estudo micromorfológico de seções delgadas provenientes dos três horizontes presentes nos perfis, permitiram elaborar a caracterização que se segue.

O horizonte saprolítico da base (H3) Nesse horizonte podem-se distinguir dois níveis:

- um nível mais profundo, de espessura desconhecida, onde a textura de rocha é reconhecível. Trata-se de uma isalterita derivada de rocha gnáissica, em que é possível discernir níveis rosados intercalados com níveis esbranquiçados que assinalam a gnaissificação, sendo todo o material recortado por veios de quartzo. Ao microscópio, os feldspatos aparecem totalmente pseudomorfizados em caulinita, e os grãos de quartzo, apesar de fraturados, mantêm-se sem deslocamento; os minerais ferromagnesianos acham-se transformados em goethita. Em direção ao topo, as estruturas da rocha vão desaparecendo gradativamente.
- um nível superior, de espessura em torno de 7 m, em que a textura da rocha já não é reconhecível (aloterita), embora a estrutura geral seja conservada, o que é evidenciado pela permanência dos veios de quartzo nas posições que originalmente mantinham na isalterita. Macroscopicamente, apre-

Figura 5 — Distribuição granulométrica e teores de Sn (% em peso) para os horizontes de alteração do perfil A
Figure 5 - Granulometric distribution and Sn contents (weight %) for the weathering horizons of the A profile

Figura 6 - Distribuição granulométrica e teores de Sn (% em peso) para os horizontes de alteração do perfil B
Figure 6 - Granulometric distribution and Sn contents (weight %) for the weathering horizons of the B profile

senta-se como um material homogêneo, areno-argiloso, de coloração vermelho-rosada. A transição para o horizonte nodular que o recobre (H2) faz-se através do aparecimento de manchas ferruginosas endurecidas, que vão dando ao material uma coloração vermelha mais carregada, e dos veios de quartzo que se desagregam e se misturam ao resto do material. Ao microscópio, apresenta um fundo matricial composto por um plasma marrom-avermelhado de caulinita, goethita e quartzo, que corresponde à fração granulométrica (150# ou < 0,105 mm e representa 82 a 84% do total, e um esqueleto (fração entre 20 e 150# ou 0,84 e 0,105 mm, representando cerca de 15% do total), formado por grãos de quartzo submilimétricos muito fraturados, alguns raros grãos de mica ferruginizada, e por poros de forma irregular. Ocorre ainda uma pequena quantidade, geralmente menor que 1%, de nódulos milimétricos formados principalmente por goethita e caulinita, com um pouco de quartzo (fração > 10# ou > 1,68 mm). Há sinais de um início de pedoturbação, que se evidencia por uma certa dispersão do esqueleto e orientação do plasma.

O horizonte nodular (H2) Esse horizonte, descrito como *stone Line* laterítica, compõe-se de nódulos ferruginosos grossos, envolvidos por um material areno-argiloso avermelhado. As curvas granulométricas de H2 (Fig. 5, 6 e 7) mostram nitidamente a descontinuidade que separa os nódulos de matriz, através do corte correspondente à granulometria entre 10 e 20# (1,68 e 0,84 mm). A transição para o horizonte do topo (H1) dá-se pelo quase total desapareci-

Figura 7 - Distribuição granulométrica e teores de Sn (% em peso) para os horizontes de alteração do perfil C
Figure 7 - Granulometric distribution and Sn contents (weight %) for the weathering horizons of the C profile

mento dos nódulos. O contato H2-H1 tende a acompanhar aproximadamente a topografia.

O fundo matricial internodular é semelhante ao de H3, apresentando um plasma avermelhado constituído por caulinita, goethita e quartzo (fração < 150# ou < 0,105 mm), e um esqueleto principalmente quartzoso (fração entre 20 e 150# ou 0,84 e 0,105 mm). Os nódulos, que constituem 49 a 65% do horizonte (fração > 10# ou > 1,68 mm), possuem formas irregulares e medem até 3 ou 4 cm de diâmetro. Quando menores, são mais avermelhados e possuem córtex marrom espesso e, quando maiores, são amarelados, geralmente desprovidos de córtex; no caso de o possuírem, este é

Tabela 1 - Avaliação semi-quantitativa dos minerais presentes em cada fração granulométrica para as amostras do perfil B. (x) = traços; x = pouco abundante; xx = abundante; xxx = muito abundante

Table 1 - Mineralogical semi-quantitative evaluation in granulometric fractions for profile B samples. (x) = traces; x = not very abundant; xx = abundant; xxx = very abundant

H1	Quartzo	Goethita	Caulinita	Mica
> 10#	xx	xxx	xx	
> 20#	xxx	xx	xx	x
> 35#	xxx		x	xx
> 60#	xxx		x	xx
> 100#	xxx		x	xx
> 150#	xxx			xx
< 150#	xx	xx	xxx	
H2(a)	Quartzo	Goethita	Caulinita	Mica
> 1"	(x)	xxx	xx	
> 3/4"	(x)	xxx	xx	
> 1/2"	(x)	xxx	xx	
> 1/4"	(x)	xxx	xx	
> 10#	xx	xxx	xx	
> 20#	xxx	xx	xx	
> 35#	xxx		(x)	xx
> 60#	xxx			xx
> 100#	xxx			xx
> 150#	xxx			xx
< 150#	xx	xx	xxx	
H3	Quartzo	Goethita	Caulinita	Mica
> 10#	x	xxx	xxx	
> 20#	xxx	xx	xx	
> 35#	xxx	x	x	x
> 60#	xxx		x	x
> 100#	xxx		x	x
> 150#	xxx		x	x
< 150#	(x)	xx	xxx	

vermelho, de espessura submilimétrica e descontínuo. De modo geral, os nódulos são compostos essencialmente por goethita e caulinita. Ao microscópio, mostram um plasma argilo-ferruginoso poroso, com raros grãos de cassiterita e quartzo; este mineral apresenta bordas corroídas, parecendo boiar no plasma intranodular.

O horizonte móvel do tipo (H1) É um material areno-argiloso marrom-amarelado, macroscopicamente homogêneo, contendo 1 a 5% de pequenos nódulos lateríticos (fração > 10# ou > 1,68 mm), mais concentrados na parte basal do horizonte. O fundo matricial compreende um plasma amarelo argiloferruginoso, que corresponde a 68 a 77% do total (fração < 150# ou < 0,0105 mm), um esqueleto representado principalmente por quartzo, em grãos que vão desde

frações de mm a cerca de 1 mm de diâmetro (fração entre 20 e 150# ou 0,84 e 1,105 mm), e poros irregulares, mais abundantes em direção à superfície. Os nódulos, embora bem menores, são semelhantes aos encontrados em H2.

DISTRIBUIÇÃO DO SN NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS Nas figuras 5,6 e 7, sobrepostos à distribuição granulométrica, são indicados os teores de Sn em porcentagem em peso. Em H3, os teores máximos situam-se entre 0,5 e 0,7% Sn, em H2 entre 1,3 e 2,0% e em H1 entre 1,0 e 2,7%.

Em todos os horizontes é nos intervalos entre 1/4" e 10# (6,4 mm a 1,68 mm) ou > 10# (> 1,68 mm), e principalmente entre 10 e 20# (1,68 a 0,84 mm), que se encontram os teores mais altos de Sn. No entanto, esse último intervalo granulométrico é praticamente desprovido de material em todos os horizontes, constituindo justamente o intervalo de corte entre o fundo matricial e os nódulos lateríticos. Desse modo, a fração granulométrica mais rica em Sn é a fração > 1,68 mm. Outra feição comum a todos os horizontes são os teores extremamente baixos, da ordem de 0,01% de Sn, para a fração < 150# (< 0,105 mm).

Em resumo, pode-se dizer que a maior parte da cassiterita é de dimensão milimétrica. No horizonte nodular, as frações superiores a 1/4" (6,4 mm), que correspondem aos nódulos maiores, são pobres em Sn, refletindo a quase completa ausência de cassiterita no seu interior. Esse mineral, juntamente com o quartzo, compõe, como já foi visto no item anterior, o esqueleto do fundo matricial intermodular.

COMPORTAMENTO DOS MINERAIS PESADOS NO PERFIL A fração pesada corresponde aos vários horizontes do perfil de alteração compreende os mesmos minerais: cassiterita, zircão, topázio, ilmenita e magnetita. Quartzo e concreções lateríticas acompanham a fração pesada. Os teores de cassiterita são máximos no horizonte H2 e mínimos em H3.

De modo geral, essa fração é composta por uma parte não-magnética, que representa aproximadamente 1/4 do peso total, e por uma parte magnética que corresponde aos 3/4 restantes. Entre os não-magnéticos, estão principalmente a cassiterita, mais abundante na granulação entre 5 e 40# (4 e 0,40 mm), o zircão, geralmente menor que 100# (< 0,149 mm), e o quartzo, de granulação entre 40 e 100# (0,40 e 0,149 mm), para a maior parte dos grãos. A parte magnética da fração pesada constitui-se principalmente de nódulos lateríticos (5 a 20# ou 4 a 0,84 mm) e de grãos de magnetita e ilmenita menores que 100# (< 0,149 mm).

Na tabela 2, está indicada a distribuição granulométrica da cassiterita no concentrado de bateia para cada um dos horizontes dos perfis A, B e C. Essa distribuição granulométrica não compreende a do material original, representativo de cada horizonte do perfil, porque no processo de geração do concentrado de bateia há perda dos finos. Porém, isso não muda muito o quadro geral, pois, como foi mostrado nas figuras 5,6 e 7, a fração mais fina do material original é muito empobrecida em Sn.

Da análise dos dados ressalta que, nos três horizontes considerados, a maior parte dos grãos de cassiterita é maior que 40# (> 0,4 mm). Em H3, a cassiterita está dispersa no plasma do fundo matricial, compondo, juntamente com os grãos de quartzo, mas de granulação em média maior que a deles, o esqueleto. Em H2, a cassiterita também está dispersa no plasma, mas apresenta granulação maior (mais de 80% dos grãos é maior que 10# ou 1,68 mm), da ordem de grandeza dos nódulos menores, sendo, aliás, perfeitamente visível a olho nu nesse horizonte. Em H1, a cassiterita tende a ser mais fina (mais de 30% submilimétrica, menor que 20# ou 0,84 mm), mas ainda é mais grossa que a maior

parte dos grãos de quartzo que com ela compõem o esqueleto do fundo matricial.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica de cassiterita no concentrado de baleia (%) dos horizontes componentes dos perfis A, B e C

Table 2 - Cassiterite granulometric distribution (%) in the heavy fraction for the three horizons of A, B and C profiles

Perfil A					
	H1(a)	H1(b)	H2	H3	
> 10#	36	40	87	70	
10 - 20#	28	26	5	15	
20 - 40#	21	18	4	10	
< 40#	15	16	4	5	
Perfil B					
	H1	H2(a)	H2(b)	H3	
> 10#	37	82	90	58	
10 - 20#	21	9	5	18	
20 - 40#	21	4	3	11	
< 40#	21	5	3	13	
Perfil C					
	H1(a)	H1(b)	H2(a)	H2(b)	H3
> 10#	5	41	84	86	23
10 - 20#	45	25	10	9	17
20 - 40#	35	21	3	2	21
< 40#	15	13	3	3	39

GEOQUÍMICA DO PERFIL DE ALTERAÇÃO A tabela 3 mostra os resultados da análise química de Al e Fe para os perfis C e D, e as porcentagens aproximadas das principais fases existentes, calculadas a partir desses valores e dos dados difratométricos. No perfil D, as amostras superiores de H3 (2 - 4 m) representam material aloterítico e, as duas inferiores (4 - 6 m), material isalterítico. Em ambos os perfis, no horizonte nodular, a quantidade de goethita é máxima, e no horizonte móvel do topo há menos goethita e mais quartzo, comparado com o horizonte saprolítico.

A tabela 4 traz os teores dos traços nos dois perfis analisados. Há um grupo de elementos que se concentram em H2: B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Sc, Ti, V, Zn e Zr, e mostram

Tabela 3 - Dados químicos e mineralógicos (% em peso) para os horizontes componentes dos perfis C e D

Table 3 - Chemical and mineralogical data (weight %) for the three horizons of C and D profiles

Perfil C					
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Goethita	Caulinita	Quartzo
H1(a)	6,8	9,6	10,7	17,2	72,1
H2(a)	4,8	37,3	41,5	12,1	45,8
H3	5,0	17,3	19,2	12,7	68,1

Perfil D					
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Goethita	Caulinita	Quartzo
H1(0 - 1 m)	4,3	6,4	7,1	10,9	82,0
H2(1 - 2 m)	4,0	33,0	36,7	10,1	53,2
H3(2 - 3 m)	8,1	7,8	8,7	20,5	70,8
H3(3 - 4 m)	8,1	9,4	10,5	20,5	69,0
H3(4 - 5 m)	4,9	7,7	8,6	12,4	79,0
H3(5 - 6 m)	6,0	8,7	9,7	15,2	75,1

geralmente em H1 valores mais baixos que em H3, seguindo portanto o comportamento do ferro. Os coeficientes de correlação Pearson, calculados para esses elementos tomados 2 a 2 e para cada um deles em relação ao Fe, é sempre positivo e elevado. São todos eles, com exceção do B, Ba e Pb, metais de transição que costumam acompanhar o comportamento residual do Fe na formação das couraças (Leprun 1979). Be, Ce e Y mostram tendência de acumulação preferencial em H2, em apenas um dos perfis considerados. Ag, As, La e Mo estão muito próximos do limite de detecção do método analítico utilizado e, portanto, não apresentam variações significativas. P e Sr não mostram tendências regulares de comportamento.

DISCUSSÃO Os horizontes superiores dos perfis de alteração com *stone Line* laterítica, relacionados aos "Granitos Rondonianos" e suas encaixantes, têm sido interpretados como materiais aloctones, depositados como colúvios sobre a rocha alterada, por ocasião dos episódios de clima seco relacionados às flutuações climáticas quaternárias (Bettencourt & Dall'Agnol 1987, Bettencourt *et al.* 1988). O estudo do depósito de Serra da Onça B, no distrito de Santa Bárbara, revelou que existem fortes argumentos para que uma origem autóctone de tais perfis seja considerada.

Duas ordens de argumentos podem ser evocadas. A primeira diz respeito à distribuição em área dos teores de Sn nos horizontes superiores do perfil de alteração.

Conforme foi visto, os mapas de isoteores de Sn em H1 e H2 mostram anomalias superponíveis, orientadas na direção geral em que se encontram os veios portadores do minério primário em H3, o que resulta em correlações positivas significativas entre os teores de Sn em H1 e H2. Esse empilhamento das concentrações de cassiterita não pode ser casual; ao contrário, deve ser derivado de uma evolução vertical essencialmente *in situ*. A permanência dos mesmos minerais pesados nos concentrados de bateia provenientes dos três horizontes superpostos também é um argumento em favor da hipótese de uma evolução autóctone para o perfil.

A outra linha de argumentação é baseada em dados micro-morfológicos. Estes indicam que entre a alterita do horizonte saprolítico da base e o fundo matricial internodular do horizonte nodular há continuidade mineralógica e estrutural: os minerais presentes são os mesmos e estão organizados em um plasma argiloferruginoso e um esqueleto quartzoso de mesma granulometria. Além disso, em direção ao topo de H3, vão aparecendo, no seio da alterita, manchas avermelhadas cada vez mais endurecidas, que podem ser interpretadas como precursoras dos nódulos que se encontram plenamente desenvolvidos em H2. Com relação à transição entre H2 e H1, essa continuidade também se faz presente, tanto no que se refere ao fundo matricial, como aos nódulos, que diminuem de tamanho e desaparecem gradativamente em direção à superfície. Assim, o que aparece como discordância numa descrição macroscópica dos perfis, e que leva à elaboração de hipóteses aloctonistas para sua gênese, revela-se como produto de um desenvolvimento gradual e progressivo.

Os perfis estudados assemelham-se muito a alguns descritos na faixa intertropical africana, em áreas o embasamento pré-cambriano, estável por longos períodos e com clima úmido, como no Congo (Muller *et al.* 1980), em Camarões (Muller & Bocquier 1986). No Brasil, há, na própria Amazônia - nas proximidades de Manaus -, descrição detalhada de perfis semelhantes (Lucas *et al.* 1990). Em todos esses casos, as evidências micromorfológicas, mineralógicas e microquímicas apontam para um desenvolvimento *in situ*.

A hipótese proposta para a gênese desses perfis, com seus níveis com *stone Line* laterítica subjacentes a um horizonte móvel, compreende uma fase evolutiva em clima de esta-

Tabela 4 - Elementos traços (ppm) nos horizontes componentes dos perfis C e D
Table 4 - Trace elements (ppm) for the three horizons of C and D profiles

	Ag	As	B	Ba	Be	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	La
Perfil C											
H1(a)	0,5	15	25	59	1,0	1,0	4,6	2,5	55	5	2,5
H2(a)	1,1	15	112	251	4,9	3,2	4,4	14,2	270	42	2,5
H3	0,5	15	25	96	5,6	1,0	3,0	8,2	84	36	2,5
Perfil D											
H1(0 - 1 m)	0,5	15	25	5	1,0	1,0	0,5	2,5	32	5	2,5
H2(1 - 2 m)	0,5	15	100	100	4,3	4,7	10,2	16,3	246	14	2,5
H3(2 - 3 m)	0,5	15	25	46	2,4	1,0	1,9	2,5	41	5	9,8
H3(3 - 4 m)	0,5	15	25	25	2,1	1,0	1,5	2,5	52	5	8,4
H3(4 - 5 m)	0,5	15	25	102	1,0	1,0	3,3	2,5	27	5	2,5
H3(5 - 6 m)	0,5	15	25	84	1,0	1,0	2,4	2,5	61	5	2,5
	Mn	Mo	P	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr
Perfil C											
H1(a)	303	2,5	200	37	16	8,6	387	117	0,5	46	23
H2(a)	998	2,5	500	112	41	7,4	1066	505	3,7	237	44
H3	405	2,5	500	69	36	9,5	825	317	1,2	92	25
Perfil D											
H1(0 - 1 m)	81	2,5	300	18	16	6,4	386	103	0,5	18	9
H2(1 - 2 m)	1996	6,7	300	135	47	7,5	891	409	0,5	159	35
H3(2 - 3 m)	198	2,5	400	41	19	9,8	483	110	1,1	29	15
H3(3 - 4 m)	145	2,5	400	38	21	8,6	499	136	1,3	31	14
H3(4 - 5 m)	450	2,5	300	33	19	7,1	421	121	0,5	23	12
H3(5 - 6 m)	386	5,1	200	30	17	8,2	314	120	0,5	29	18

coes contrastadas, quando teria se formado uma couraça ferruginosa, seguida de uma fase de degradação dessa couraça, com efeito de mudança climática em direção a condições mais úmidas (Nahon 1986).

As couraças desenvolvem-se através de movimentos verticais para baixo do Fe e de minerais resistentes a alteração intempérica, acompanhando o abaixamento do relevo (Rochim et al. 1990). Essa acumulação absoluta de Fe provoca a desestabilização, seguida de dissolução, da caulinita e do quartzo, o que intensifica a acumulação do Fe, levando à formação de couraças maciças, autóctones e litodependentes.

A degradação da couraça inicia-se pela brechação e nodulação, através de processos de deferruginação e redistribuição do Fe, dando origem a uma fácies nodular pseudo-conglomerática. Com o prosseguimento da deferruginação, ocorre digestão química dos nódulos, o que engendra a acumulação residual de caulinita e principalmente de quartzo (Bocquier et al. 1984). O resultado desse processo é um perfil de alteração que contém um horizonte com *stone Line* laterítica, representando os restos da antiga couraça, capeado por um horizonte móvel, formado pelos materiais residuais produzidos pela sua degradação. A evolução do perfil é, portanto, essencialmente vertical, embora comporte uma certa dispersão lateral dos materiais, que vai se tornando mais acentuada em direção aos horizontes superiores.

Na região de Serra da Onça B, o encouraçamento se teria dado sob um clima mais seco que o atual, que teria aí prevalecido até pelo menos o Eoceno, há 50 milhões de anos atrás (Tardy et al. 1990 e 1991). Na couraça, junto com o Fe, concentraram-se os elementos traços de comportamento se-

melhante, além da cassiterita. Com o deslocamento do continente sul-americano em direção ao norte durante o Terciário (Tardy et al 1990 e 1991), o clima de Rondônia foi se tornando cada vez mais úmido. Em consequência, a couraça entrou em desequilíbrio e começou a degradar-se. Esse processo gerou nódulos, no seio dos quais houve dissolução de quartzo e acumulação de Fe. Os nódulos vão aparecer como que cimentados por uma matriz enriquecida em quartzo e cassiterita, o que dá à couraça aspecto pseudo-conglomerático. Os restos de couraça nodular encontrados no terço inferior das encostas testemunham essa etapa do processo.

O avanço na degradação da couraça levou à destruição dos nódulos e à reorganização do esqueleto quartzoso e do plasma caulinitico da matriz. Esse material vai constituir o essencial do horizonte móvel (H1) que recobre o horizonte portador dos nódulos ainda não-digeridos (H2). Um movimento para baixo dos grãos mais grossos, a lixiviação dos finos por flutuação do lençol freático e a atividade dos cupins, levando os finos para cima, são processos que também têm sido evocados (Lacomte 1988, por exemplo) como atuantes na diferenciação desse tipo de perfil.

Nahon et al (1989) sugeriram que o destino das couraças na região amazônica é sua transformação em latossolos, como consequência da transição para condições climáticas mais úmidas, a partir do Terciário. Nessa perspectiva, os perfis com horizonte nodular de Serra da Onça B representariam uma etapa intermediária na substituição de um sistema pedológico por outro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS Do ponto de vista metalogenético, o depósito, caracterizado pela concentração má-

xima de cassiterita no horizonte H2, resulta da acumulação desse mineral a partir da coluna de rocha previamente sobreposta, transformada em couraça ferruginosa. O movimento para baixo da cassiterita, durante a formação da couraça, foi mais intenso para os grãos maiores, o que explica o aumento de sua granulometria em H2. A degradação da couraça, com consequente diferenciação do perfil, intensificou a concentração de cassiterita em H2, e gerou acima um horizonte essencialmente quartzoso (H1), onde os teores de cassiterita encontram-se diluídos cerca de 10 vezes em relação ao horizonte subjacente. Dentro desse esquema interpretativo, a idade da mineralização seria terciária, mais antiga, portanto, que a comumente admitida a partir das hipóteses alconistas.

Com relação às aplicações práticas, pode-se dizer que, em perfis de alteração derivados de degradação de couraças lateríticas, o horizonte móvel do topo é especialmente adequado para a prospecção geoquímica. Devido à evolução essencialmente vertical do perfil, com pequena dispersão lateral, provocada pelo colapso e consequente redução de volume de seus níveis superiores, estes vão refletir o substrato e ampliar o alcance das anomalias, permitindo que elas sejam mais facilmente detectadas. Esse efeito foi descrito, por exemplo, por Lecomte & Colin (1989), em terrenos lateríticos do Gabão, onde anomalias de ouro apresentavam em seção vertical forma de cogumelo enraizado na

mineralização primária. Neste caso, entretanto, além de resultado do colapso, a dispersão do ouro tem uma componente química, ligada à dissolução das partículas. Em Serra da Onça B, o maior espalhamento dos teores anômalos de Sn em H1, verificado durante a prospecção geoquímica, pode ser atribuído apenas ao efeito do colapso, dada a enorme resistência à alteração da cassiterita.

Finalmente, deve-se acrescentar que, em vista da complexidade dos fenômenos pedológicos, tanto atuais como pretéritos. É preciso levar em conta dificuldades eventuais na interpretação de certos perfis de alteração, nos quais a possibilidade de aportes alóctones, com consequente prejuízo para a correlação substrato-cobertura, não deve ser descartada.

Agradecimentos Os autores agradecem à Companhia Estanífera do Brasil, que liberou a informação referente à fase de pesquisa mineral da jazida, além de permitir o trabalho de campo e a utilização dos laboratórios da empresa para obtenção de dados analíticos. São também gratos ao geólogo Mauro Fumio Yamamoto, pelas análises químicas. O Prof. J.S. Bettencourt discutiu com os autores as principais ideias contidas neste trabalho, e através de sua judiciosa crítica a versão final foi significativamente melhorada. Os comentários construtivos de um revisor anônimo também constituíram contribuição importante na elaboração definitiva do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: and introduction. *Earth Sci. Rev.*, **17**:1-29.
- BETTENCOURT, J.S. & DAL'AGNOL, R. (coord) 1987. The Rondonian tin bearing anorogenic granites and associated mineralization: In: SYMP. GRANITES AND ASSOC. MIN. Salvador, 1987. *Excursion Guide...* Salvador, ISGAM. p. 49-87.
- BETTENCOURT, J.S.; MUZZOLON, R.; PAVOLLA, B.L.; DALUIGNA, L.G.; PINHO, O.G. 1988. Depósitos estaníferos secundários da região central de Rondônia. In: SCHOBENHAUS, C. & COELHO, C.E.S. coord. *Depósitos Minerais do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM. v. III, p. 213-241.
- BOCQUIER, G.; MULLER, J.P.; BOULANGÉ, B. 1984. Les latérites: connaissances et perspectives actuelles sur les mécanismes de leur différenciation. In: LIVRE JUBILAIRE CINQUANTENAIRE AFES. Paris. p. 123-138.
- CARVALHO, R.T. 1988. Depósitos de cassiterita de Santa Bárbara, Jacundá e Alto Candeias, Rondônia. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C.E.S. coord. *Depósitos Minerais do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM. v. HI, p. 243-253.
- EDOU-MINKO, A. 1988. *Pétrologie et Géochimie des Latérites à "Stone-Lines" du Gite d'or d'Ovala. Applications à la Prospection en Zone Équatoriale Humide (Gabon)*. France. 186 p. (Thèse Doct., Université Poitiers).
- LEAL, J.W.L.; SILVA, B.H.; SANTOS, D.B.; TEIXEIRA, W.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, C.A.C.; PINTO, A.C. 1978. Geologia. In: MME - PROJETO RADAMBRASIL. *Folha SC-20 Porto Velho*. Rio de Janeiro, DNPM. p. 1-161. (Levantamento de Recursos Naturais 16).
- LECOMTE, P. 1988. Stone line profiles: importance in geochemical exploration. *J. Geoch. Expl.*, **30**:35-61.
- LECOMTE, P.; COLIN, F. 1989. Gold dispersion in a tropical rainforest weathering profile at Dondo Mbi, Gabon. *J. Geoch. Expl.*, **34**:285-301.
- LEPRUN, J.C. 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformation, dégradation. *Sci. Géol. Mém., Strasbourg*, v. 58, 224 p.
- LUCAS, Y.; COULET, R.; CHAUVEL, A. 1990. Modalité de la formation in situ de stone lines en zone équatoriale. Exemple d'une couverture ferralitique d'Amazonie au Brésil. *C. R. Acad. Sci., Sér. 2*, **311**:713-718.
- MULLER, D.; BOCQUIER, G.; NAHON, D.; PAQUET, H. 1980. Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferralitique à horizons nodulaires du Congo. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédologie*, **18**(2):87-109.
- MULLER, J.P.; BOCQUIER, G. 1986. Dissolution of kaolinites and accumulation of iron oxides in lateritic-ferruginous nodules: mineralogical and microstructural transformation. *Geoderma*, **137**:113-136.
- NAHON, D. 1986. Evolution of iron crust in tropical landscape. In: COLMAN, S.M.; DETHIER, D.P. eds. *Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals*. New York, Academic Press. p. 169-191.
- NAHON, D.; MELFI, A.J.; CONTE, C.N. 1989. Présence d'un vieux système de cuirasses ferrugineuses latéritiques en Amazonie du Sud. La transformation in situ en latossols sous la forêt équatoriale actuelle. *C. R. Acad. Sci., Sér. 2*, **308**:755-760.
- ROQUIN, C.; PAQUET, H.; PREYSSINET, P.; BOEGLIN, J.L.; TARDY, D.Y. 1990. Lithodependence and homogenisation of mineralogical and chemical composition of ferricretes. *Chem. Geol.*, **84**(1/4):124-127.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coord.) 1981. *Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente Incluindo Depósitos Minerais*. Brasília, MME-DMPM.
- TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; ROQUIN, C.; PAQUET, H. 1990. Influence of periatlantic climates and paleoclimates on the distribution and mineralogical composition of bauxites and ferricretes. *Chem. Geol.*, **84**(1/4):129-182.
- TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; PAQUET, H. 1991. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic latérites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 m.y. and implication for India and Austrália. *J. Afr. Earth Sci.*, **12**(1/2):283-295.
- VALENTE, J.C.P. 1991. *Concentração Supergênica de Cassiterita em uma Stone Line Laterítica na Jazida de Serra da Onça B, Porto Velho - RO*. Rio de Janeiro, 100 p. (Dissertação de Mestrado, IQ-UFF).

MANUSCRITO A760

Recebido em 30 de abril de 1993

Recebido do autor em 20 de julho de 1993

Revisão aceita em 20 de julho de 1993