

GEOBOTÂNICA EM TERRENOS TROPICAIS ÚMIDOS: UMA DISCUSSÃO CONCEITUAL E SUA APLICAÇÃO NA ANÁLISE DA MINERALIZAÇÃO AURÍFERA HIDROTERMAL NO GRUPO SERRA DO ITABERABA, SÃO PAULO

TEODORO ISNARD RIBEIRO DE ALMEIDA¹, CAETANO JULIANI¹, WALDIR MANTOVANI² & ANNABEL PÉREZ-AGUILAR³

¹ Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências, Rua do Lago, 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil (talmeida@usp.br; cjuliani@usp.br); ² Universidade de São Paulo – Instituto de Biociências, Rua do Matão, Travessa 14, 321, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil (wmantova@usp.br); ³ Instituto Geológico – SMA, Av. Miguel Stéfano, 3900, CEP 04301-903, São Paulo, SP, Brasil

INTRODUÇÃO

Na maior parte das áreas emersas do planeta a vegetação recobre a superfície, impedindo a aplicação ortodoxa de sensoriamento remoto geológico. Entretanto, correlações intuitivas entre as coberturas vegetais e depósitos de minérios metálicos tem sido estabelecidas desde que Georgius Agrícola, em 1556, constatou a presença de modificações na vegetação sobre corpos de minério (Ustin *et al.*, 1998). Entretanto, há mais de 2000 anos na China algumas plantas já foram utilizadas em trabalhos de prospecção mineral, por serem indicadores da ocorrência de depósitos minerais (Xu & Ma, 2004).

A geobotânica constitui um dos vários métodos de prospecção mineral (Baker & Brooks, 1988), o qual visa o estabelecimento de padrões e mudanças morfológicas da vegetação, como resposta à presença de diferentes tipos de mineralizações. Entretanto, as características da cobertura vegetal dependem também de outras variáveis, além das causadas pelo substrato geológico e pelo solo, o que resulta em grandes dificuldades na aplicação da geobotânica em trabalhos de prospecção mineral. Dentre estas outras variáveis, são de fundamental importância a topografia e o horário da iluminação solar direta. A topografia intervém nas coberturas vegetais de forma independente ao substrato rochoso, ao clima e à pedogênese (Florinsky & Kuryakova, 1996). O horário de iluminação solar direta controla a interação da radiação eletromagnética com os fitocromos (Bognar, 1999), o que explica porque a orientação da vertente compõe uma variável independente na vegetação.

A existência de diversas variáveis independentes, sendo os seus desdobramentos, às vezes pouco conhecidos ou desconhecidos, explica a dificuldade de reprodução de experiências em estudos geobotânicos (Schwaller, 1984). Entretanto, parece ser consensual haver um conjunto de alterações nas coberturas vegetais como resposta à presença de mineralizações diversas.

No Brasil os estudos em geobotânica restringem-se, em essência, à aplicação de sensoriamento remoto, o qual é utilizado sem levar-se em consideração as variáveis da biodiversidade ou a presença de nichos espacialmente discretos. A literatura existente sobre a Floresta Ombrófila Densa do Estado de São Paulo (Mata Atlântica) também não questiona se a distribuição restrita de espécies arbóreas e a variabilidade da sua distribuição espacial indicam a existência de nichos espacialmente discretos (Scudeller *et al.*, 2001).

Neste trabalho são apresentadas as variações florísticas e estruturais obtidas em um fragmento de Mata Atlântica montana secundária, após serem analisadas e comparadas as coberturas vegetais que crescem em solos gerados por rochas básicas intermediárias intensamente hidrotermalizadas e metamorfisadas, com solos derivados de rochas semelhantes não afetadas pela alteração hidrotermal pré-metamórfica.

A área de estudo tem seu centro na coordenada 23°17'12"S e 46°22'20"W e localiza-se a cerca de 35 km da cidade de São Paulo, Geomorfologicamente insere-se na serra do Itaberaba, em altitudes em torno de 900 m.. As rochas da região pertencem ao Grupo Serra do Itaberaba, de idade mesoproterozóica, dividido por Juliani (1993) em três formações, nomeadas, do topo para a base como Fm. Pirucaia, Fm. Nhanguçu e Fm. Morro da Pedra Preta. Esta última corresponde a uma seqüência vulcanossedimentar metamorfizada em grau médio composta, em essência, por derrames básicos subaquáticos de filiação N-MORB, xistos diversos, rochas vulcanoclásticas e cálcio-silicáticas, BIFs do tipo Algoma e pequenas intrusões de andesito e riocacito. Durante a intrusão das rochas intermediárias desenvolveram-se sistemas hidrotermais, os quais foram responsáveis pela presença de uma extensa zona de alteração clorítica e de mineralizações de ouro (Beljavsky *et al.*, 1993; Juliani *et al.*, 1992; Pérez-Aguilar, 2001; Pérez-Aguilar *et al.*, no prelo). A alteração clorítica afetou principalmente rochas básicas e intermediárias que, ao metamorfismo, resultaram em rochas variavelmente enriquecidas em cummingtonita e/ou antofilita, cordierita e granada (Pérez-Aguilar *et al.*, no prelo). Muito embora os teores não sejam muito elevados, puntualmente são verificados teores com até 40 g Au/t.

MATERIAIS E MÉTODOS

As investigações de campo contaram com uma fase preliminar, durante a qual foram feitos caminhamentos na floresta e analisadas 17 parcelas exploratórias de 5 x 5 m em áreas com solos derivados de rochas básicas e intermediárias inalteradas e com intensa alteração hidrotermal. A partir da análise dos dados preliminares foram definidos e estudados dois perfis de 4 x 30 m, distantes entre si cerca de 100 m, ambos com

as mesmas condições de declividade, direção de vertente, altitude, estádio sucessional da floresta e substratos geológicos. Desta forma, o Perfil 1 situa-se encima de rochas não alteradas hidrotermalmente e o Perfil 2 (Fig. 1) encima de rochas intensamente hidrotermalizadas ricas em cummingtonita e/ou antofilita + cordierita ± granada ± quartzo.

A área de cada perfil foi delimitada com marcações feitas metro a metro, o que permitiu determinar a posição de cada exemplar arbóreo cujo diâmetro na altura do peito (DAP) estivesse acima de 15 cm, sendo anotado a sua altura e diâmetro de copa. Simultaneamente à coleta de folhas e, quando possível, flores, para posterior identificação das espécies, foram desenhados os perfis, para definição da fisionomia das matas (Fig. 1). As espécies foram determinadas a partir do material coletado em campo, sendo classificadas, de acordo com o estádio sucessional, respectivamente, em pioneiras iniciais, secundárias iniciais, secundárias tardias, de sub-mata e climáxicas.

Para quantificar a similaridade florística, adotou-se o Índice de Jaccard (utilizado em botânica para quantificar a semelhança entre coberturas vegetais), calculado a partir da expressão:

$$S = a / (a + b + c),$$

correspondendo **S** ao índice de similaridade, **a** ao nº de espécies em comum às duas florestas, **b** ao nº de espécies exclusivas da floresta 1 e **c** ao nº de espécies exclusivas da floresta 2.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Ao longo dos trabalhos de campo foram descritas 104 espécies de plantas, as quais foram classificadas em um total de 40 famílias distintas. Todas elas são descritas como comuns em áreas da Mata Atlântica que se encontram em avançado estádio sucessional.

Nas parcelas analisadas foram descritas 78 espécies, constatando-se uma média de 4,4 espécies arbóreas nas parcelas localizadas sobre terrenos sem alteração hidrotermal (EANA) e de 2,3 espécies arbóreas nas parcelas localizadas sobre rochas com presença de alteração hidrotermal (EAAH), obtendo-se uma relação EANA/EAAH igual a 1,9. Quando são consideradas as espécies arbustivas, herbáceas e lianas a razão passa a ser 1,5. Destaca-se ainda que nas áreas de ocorrência de rochas intensamente hidrotermalizadas foi também constatada a presença seletiva de grupos de *Calathea cylindrica* com acentuado gigantismo das folhas e dos caules e que mudas coletadas destes agrupamentos cultivadas em solo de outras áreas não apresentaram nenhum tipo de gigantismo.

Considerando espécies arbóreas, arbustivas, herbáceas e lianas, no conjunto dos dois perfis foram descritas um total de 55 espécies pertencentes a 28 famílias distintas. No Perfil 1 foram contados 49 indivíduos, os quais foram classificados em 36 espécies, estando melhor representadas as Famílias *Rubiaceae* e *Sapindaceae*, representada cada uma por 6 espécies. No Perfil 2 foram contados 29 indivíduos os quais foram classificados em 22 espécies, destacando-se apenas a Família *Rubiaceae*, representada por 3 espécies. Nestes dois perfis foram encontrados 29 indivíduos arbóreos com DAP acima de 15 cm, os quais foram classificados em 20 espécies, estando 18 indivíduos de 16 espécies presentes no Perfil 1, e 11 indivíduos de 10 espécies presentes no Perfil 2. No que tange aos arbustos, lianas e herbáceas, nos dois perfis foram descritas um total de 35 espécies, estando 31 indivíduos de 23 espécies presentes no Perfil 1 e 18 indivíduos de 14 espécies diferentes presentes no Perfil 2. Já com relação às espécies pioneiras iniciais, as quais necessitam de mais sol para sobreviver, há um desequilíbrio na sua distribuição, ocorrendo apenas 2 espécies no Perfil 1 contra 4 no Perfil 2.

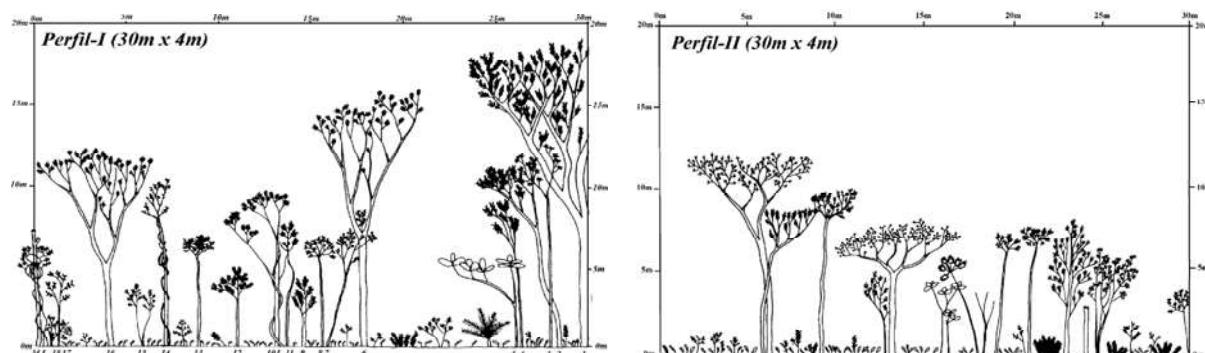


Figura 1 - Perfil 1, sobre rochas não alteradas hidrotermalmente e Perfil 2, sobre rochas intensamente hidrotermalizadas.

Das 20 espécies arbóreas encontradas nos dois perfis, 11 espécies ocorrem exclusivamente no perfil 1 e 5 exclusivamente no perfil 2, havendo apenas 5 espécies comuns a ambos os perfis. Das 35 espécies arbustivas, herbáceas e lianas encontradas nos dois perfis, 20 são exclusivas do perfil 1 e 11 exclusivas do perfil 2, havendo

3 espécies em comum. Das 55 espécies arbóreas, arbustivas, herbáceas e lianas encontradas nos dois perfis, 31 são exclusivas do Perfil 1 e 16 do Perfil 2, havendo somente 8 espécies em comum. Dos 29 indivíduos arbóreos encontrados nos dois perfis, 62,07% estão no Perfil 1 e 37,93% no Perfil 2. Dos 49 indivíduos arbustivos, herbáceos e lianas amostrados nos dois perfis, observa-se uma proporção semelhante, com 63,27% no perfil 1 e 36,73% no Perfil 2. A altura média do dossel situa-se em torno de 14 m no Perfil 1 e de 8 m no Perfil 2. Na Tabela 1 pode ser observado a quantidade de indivíduos dos diferentes estádios de sucessão presentes nos dois perfis, associado à porcentagem relativa considerando como um todo o número de indivíduos presentes em cada perfil. Uma feição que se destaca é que em ambas as florestas predominam indivíduos de estádios mais avançados, correspondendo, respectivamente, 51,02% e 51,72% dos indivíduos arbóreos dos perfil 1 e 2 a indivíduos de estádios de sucessão de sub-mata e climática. Com relação às espécies arbóreas, herbáceas e lianas, estas porcentagem correspondem, respectivamente, a 54,8% e 50,0%.

O Perfil 1 possui árvores de até 18 metros de altura, maior densidade da vegetação e estrutura da floresta mais complexa, incluindo diversas formas de crescimento, maior biodiversidade, maior biomassa e muitas lianas (Fig. 1). Neste trecho da floresta destaca-se a presença das espécies tardias e climáticas *Allophylus edulis*, *Aspidosperma olivaceum*, *Cabralea canjerana*, *Cryptocarya moschata* e *Eugenia cerasifolia*, além das espécies de sub-mata *Bathysa meridionalis*, *Cupania oblongifolia*, *Mollinedia schottiana* e *Psychotria suterella*. Das etapas iniciais da sucessão, ressalta-se a presença de *Croton floribundus*. A floresta do Perfil 2 tem árvores de até 13 m de altura, as quais estão mais espaçadas entre si, possuindo uma estrutura relativamente simples refletida pela presença de pequena quantidade de lianas e plantas arbustivas em seu interior (Fig. 1). Neste perfil, entre as espécies tardias e climáticas destaca-se a presença de *Allophylus petiolulatus*, *Licania octandra* e *Swartzia acutifolia*, entre as espécies de sub-mata, a presença de *Bathysa meridionalis* e *Mollinedia schottiana* e entre as espécies arbóreas pioneiras destacam-se a *Cecropia glazioui* e a *Piptocarpha axillaris*.

Quantificando a similaridade entre as florestas dos dois perfis, obtém-se um Índice de Jaccard de 0,145 considerando todo o conjunto de espécies, de 0,238 considerando somente as espécies arbóreas, e de 0,088, considerando as espécies arbustivas, herbáceas e lianas. Duas áreas podem ser consideradas dissimilares quando o índice de Jaccard é inferior a 0,25, sendo, portanto, os dois perfis em questão pouco semelhantes. Em outras palavras, considerando o total de espécies arbóreas, arbustivas, herbáceas e lianas encontradas, 14,6% são comuns a ambos os perfis. Já considerando somente o total de espécies arbóreas, 25,0% são comuns a ambos os perfis e, entre espécies de arbustos, herbáceas e lianas, somente 8,6% estão presentes nestes dois segmentos de floresta. Sobre terrenos com rochas com alteração hidrotermal o dossel é claramente mais aberto, o que favorece a presença de um número maior de espécies pioneiras iniciais. Quanto à biodiversidade, esta é maior no perfil sem alteração tanto em espécies arbóreas (16 versus 10) como em espécies arbustivas, herbáceas e lianas (23 versus 14). Estes resultados são semelhantes aos descritos por Rowan *et al.* (2000), que destacam uma menor diversidade de vegetais em terrenos alterados hidrotermalmente, muito embora estes autores não tenham analisado a porcentagem relativa de espécies pioneiras.

Tabela 1 - Distribuição dos indivíduos dos perfis 1 e 2 nos diferentes estádios sucessionais, associando-se a porcentagem relativa.

Estádio Sucessional	PERFIL 1	PERFIL 2
Pioneira inicial	2 (4,3%)	4 (14,3%)
Secundária inicial	9 (14,9%)	2 (10,7%)
Secundária tardia	13 (29,8%)	8 (21,4%)
Sub-mata	19 (38,3%)	9 (32,1%)
Climática	6 (12,8%)	6 (21,4%)
TOTAL	49	29

CONCLUSÃO

Embora as espécies encontradas nos dois perfis florestais analisados no Grupo Serra do Itaberaba sejam de ocorrência comum na Mata Atlântica, os estudos geobotânicos permitiram caracterizar a existência de dois nichos diferentes como resposta à presença ou ausência no substrato de rochas alteradas hidrotermalmente, às quais associam-se geneticamente mineralizações de ouro. Comparativamente os dois perfis apresentam uma alta variação florística, a qual foi quantificada pelo índice de Jaccard.

Na floresta Atlântica processos mineralizantes tiveram uma influência notável sobre a cobertura vegetal. Correlações semelhantes devem ocorrer em regiões onde há presença de uma alta biodiversidade, colmo na floresta Amazônica. Para que o sensoreamento remoto possa ser utilizado como uma ferramenta que possa auxiliar na detecção de coberturas vegetais espacialmente diferentes como resposta a processos mineralizantes, três aspectos devem ser investigados: (i) se diferentes assembléias de espécies arbóreas emitem respostas espectrais distintas; (ii) se dosséis mais abertos instalados sobre solos produto de rochas alteradas hidrotermalmente podem influenciar o albedo e (iii) se a presença de uma maior porcentagem de plantas

pioneiras instaladas sobre solos produto de rochas alteradas hidrotermalmente pode causar uma maior reflectância no infravermelho próximo.

As mineralizações, em especial as filonianas, usualmente apresentam pouca expressão em superfície, mas as zonas de alteração hidrotermal a elas associadas podem ser expressivas, alcançando dezenas a centenas de vezes as dimensões dos corpos mineralizados. Assim, a identificação de anomalias geobotânicas sobre rochas afetadas por alterações hidrotermais no Grupo Serra do Itaberaba sugere uma alta potencialidade de aplicação da geobotânica em trabalhos de prospecção mineral em áreas florestadas com níveis de conhecimento geológico ainda em estágio regional ou de semi-detalhe, tais como as existentes na região amazônica.

Referências

- Baker A.J.M. & Brooks, R.R., 1988. Botanical exploration for minerals in the humid tropics. *Journal of Biogeography*, 15: 221–229.
- Beljavskis, P.; Garda, G.M.; Juliani, C., 1993. Características das mineralizações auríferas no Grupo Serra do Itaberaba, Guarulhos, SP. *Revista do Instituto Geológico*, 14(1): 21–29.
- Bognar, L.K.; Hall, A.; Adam, E.; Thain, S.C.; Nagy, F.; Millar, A.J., 1999. The circadian clock controls the expression pattern of the circadian input photoreceptor, phytochrome B. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96: 14652–14657.
- Florinsky, I.V. & Kuryakova, G.A., 1996. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, 27: 123–141.
- Juliani, C., 1993. Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Juliani, C., Schorscher, H.D., Pérez-Aguilar, A., Beljavskis, P., 1992. Cordierita–granada–cummingtonita anfibolitos no Grupo Serra do Itaberaba (SP): evidência de alterações hidrotermais-metassomáticas pré-metamórficas. 2º Jornadas Científicas, Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Publicação Especial, 12: 59–61.
- Pérez-Aguilar, A., 2001. Petrologia e litoquímica de rochas de paleossistemas hidrotermais oceânicos mesoproterozóicos da seqüência metavulcanossedimentar do Grupo Serra do Itaberaba, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pérez-Aguilar, A., Juliani, C., Monteiro, L.V.S., Fallick, A.E., Bettencourt, J.S. In press. Stable isotopic constraints on Kuroko-type paleo-hydrothermal systems in the Mesoproterozoic Serra do Itaberaba Group, São Paulo State, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Rowan, L.C.; Crownley, J.K.; Schmidt, R.G.; Ager, C.M.; Mars, J.C., 2000. Mapping hydrothermally altered rocks by analyzing hyperspectral image (AVIRIS) data of forested areas in the Southeastern United states. *Journal of Geochemical Exploration*, 68: 145–166.
- Schwaller, M.R., 1984. Remote sensing for geobotanical prospecting, 1984. PhD Thesis. University of Michigan.
- Scudeller, V.V; Martins F.R.; Shepherd, G.J., 2001. Distribution and abundance of arboreal species in the atlantic ombrophilous dense forest in Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, 152(2): 185–199.
- Ustin, S.L.; Smith, M.O.; Jacquemoud, S.; Verstraete, M.M.; Govaerts, Y., 1998. Vegetation mapping for earth sciences. In: *Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences*, 3: 189–248.
- Xu, R. & Ma, Y., 2004. Remote sensing research in biogeochemistry of the Hetai gold deposit, Guandong Province, China. *International Journal of Remote Sensing*, 25(2): 437–453.