



Potencial de uso de espécies vegetais nativas dos Complexos Ultramáficos de Barro Alto (GO) nos processos de recuperação de áreas alteradas pela extração de Ni, de fitoextração e fitomineração de metais.

Leide Rovênia Miranda de Andrade⁽²⁾; Fabiana de Góis Aquino⁽²⁾; Fábio Bueno Reis Jr.⁽²⁾; Bárbara Silva Pachêco.⁽³⁾; Guillaume Echevarria⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do PCT Embrapa/Anglo American.

⁽²⁾ Pesquisador; Embrapa Cerrados; Planaltina, DF; leide.andrade@embrapa.br; ⁽³⁾ Bióloga, Fundação Eliseu Alves, Brasília, DF; ⁽⁴⁾ Professor, Université de Lorraine – CNRS, Nancy, France.

RESUMO: Foram amostrados um solo laterítico (LAT) e um saprolítico (SAP) e suas respectivas floras para análise química. A análise dos componentes principais (PCA) mostrou uma separação entre as áreas. O solo SAP apresentou maior biodisponibilidade de Ni, P, M.O. e Zn. A área LAT foi agrupada por influência de teores de Ca, Fe, Mn, Cr e Cu. Dezenove famílias e 36 espécies diferentes foram identificadas nas áreas deste estudo. A diversidade de plantas e acumulação de nutrientes e Ni nos tecidos das plantas foram influenciadas pelas características químicas dos solos. Seis espécies hiperacumuladoras de Ni foram observadas em cinco famílias, todas elas ocorrendo no solo SAP. *H. salicoides* e *D. cayapia* foram as únicas espécies comuns às duas áreas, mas hiperacumularam Ni somente no solo SAP, refletindo a relação entre a biodisponibilidade deste metal e a absorção pelas plantas.

Termos de indexação: biodiversidade vegetal; fitorremediação; plantas nativas do Cerrado

INTRODUÇÃO

Os maciços ultramáficos têm sido estudados no quanto às suas particularidades florísticas, edáficas e fisiológicas (Brooks et AL., 1992). Os solos destas formações são caracterizados por teores excessivos de metais (Ni, Cr, Mn, Co), alta relação Mg/Ca e baixo nível de nutrientes (N, P, K, Ca). Na vegetação nativa, adaptada a estes ambientes edáficos, podem ocorrer plantas hiperacumuladoras de metais (> 1 g Ni Kg na biomassa seca) e espécies que restringem a absorção e translocação excessiva desses elementos para a parte aérea, onde causaria algum dano fisiológico (Goolsby & Mason, 2015). Essas características adaptativas permitem que essas espécies possam ser utilizadas de forma prática pelo homem, com implicações ecológicas e econômicas. Espécies nativas e tolerantes ao ambiente ultramáfico, acumuladoras ou não de metais, podem ser utilizadas na recomposição vegetal e estabilização de áreas degradadas pela extração de Ni, por exemplo, onde as superfícies remanescentes (pilhas de estéril, fundo de cavas) ainda contêm resíduos de metais

em níveis mais altos que os observados em solos normais. As espécies hiperacumuladoras de Ni podem ser utilizadas nos processos de fitoextração do metal, que consiste no cultivo dessas espécies em solos contaminados com Ni, e a retirada da parte aérea das plantas para “limpar” o solo; ou de fitomineração de Ni, quando as plantas são cultivadas sobre o solo já minerado, mas contendo níveis ainda elevados do metal; posteriormente, a biomassa aérea é incinerada para a recuperação de Ni das cinzas (Van der Ent et al., 2015).

A vegetação nativa nos maciços ultramáficos de Goiás ainda é pouca conhecida e já está ameaçada pela atividade mineradora na região. As primeiras prospecções florísticas foram realizadas entre 1988 e 1990 (Brooks et al., 1992). Mais recentemente, Aquino et al. (2011) realizaram levantamento botânico detalhado da vegetação nativa de Campo Sujo ocorrente em uma área anterior à exploração de minério de Ni, em Barro Alto, GO. Resultados do levantamento registraram a ocorrência de mais de 100 espécies vegetais, distribuídas em cerca de 30 famílias botânicas. Complementando esse trabalho, o objetivo deste estudo foi o de a) entender a relação entre as características químicas dos solos e a distribuição das plantas crescendo sobre eles, b) identificar espécies ou ecotipos nativos em solos ultramáficos, quanto aos aspectos nutricionais e de acumulação de metais, que possam ser indicadas para revegetação de áreas alteradas pela mineração de Ni e, futuramente, avaliá-las quanto à capacidade de remover metais do solo nos processos de fitoextração e fitomineração.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois tipos de solo principais foram selecionados de acordo com observações topográficas, geoquímicas e geológicas do departamento de geologia da mineradora Anglo American: um solo laterítico (LAT), em área relativamente plana, e um solo saprolítico (SAP), área de inclinação média. Algumas características químicas dos solos (0-20 cm de profundidade) das áreas selecionadas para o presente estudo estão descritas nas Tabelas 1 e 2. Os solos foram classificados, pela pedologia, como



latossolo e cambissolo, respectivamente. Detalhes destas informações está em Andrade et al. (2011).

Tabela 1: Diferenças nas propriedades de dois solos ultramáficos de Barro Alto (GO).

Área	M.O. g kg ⁻¹	pH (H ₂ O)	K ⁺ mg dm ⁻³	P mg dm ⁻³	T mmol _c dm ⁻³	Mg /Ca
SAP	45,6 (9,0)	6,65 (0,06)	1,13 (0,22)	1,40 (0,19)	96,0 (9,6)	5,0
LAT	24,3 (5,8)	6,68 (0,04)	0,68 (0,16)	0,34 (0,10)	93,9 (11,4)	6,6

() Desvio padrão da média; M. O. = Matéria orgânica; T= CTC a pH 7; Profundidade de coleta: 0-20 cm. (n = 30).

Tabela 2: Disponibilidade química (DTPA) de metais em dois solos ultramáficos de Barro Alto (GO).

Área	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Zn
	mg kg ⁻¹							
SAP	38 (9)	0,13 (0,07)	0,24 (0,04)	8,0 (2,6)	149 (25)	1,3 (0,6)	651 (98)	3,9 (1,3)
LAT	117 (5)	0,30 (0,11)	3,05 (0,38)	33,9 (1,9)	110 (20)	33,5 (11,1)	105 (19)	1,0 (0,2)

() Desvio padrão da média; Extrator DTPA; (n = 30)

Tabela 3: Famílias botânicas identificadas nas áreas de estudo (Aquino et al., 2011).

Área	SAP		LAT	
	No. de espécies	n	No. de espécies	n
Acanthaceae	2	18	-	-
Asteraceae	2	5	1	17
Bignoniaceae	1	1	2	3
Boraginaceae	1	1	1	16
Convolvulaceae	1	1	3	10
Cyperaceae	1	2	1	3
Euphorbiaceae	1	1	-	-
Lamiaceae	2	9	-	-
Leguminosae	2	6	1	1
Moraceae	1	5	1	1
Myrthaceae	1	5	-	-
Oxalidaceae	1	1	-	-
Poaceae	4	60	8	60
Rubiaceae	1	3	-	-
Salicaceae	-	-	1	1
Schizaceae	1	2	-	-
Simaroubaceae	-	-	1	2
Smilacaceae	-	-	1	2
Verbenaceae	-	-	1	7
Total = 19	22	120	22	123

n = no. de amostras de plantas (parte aérea) coletadas. Obs: amostra constituída de no mínimo três indivíduos/espécie.

No mesmo momento e locais de coleta de informações dos estudos botânicos, foram realizadas amostragens de solo em três linhas de 10 m de comprimento (uma amostra/m linear) para caracterização química e física. A amostragem de material vegetal foi realizada dentro das mesmas unidades amostrais de solos, em uma área de 6 m²/espécie (1 m comprimento/3 m de largura de cada lado da linha). A parte aérea de pelo menos três indivíduos de cada espécie formaram uma amostra composta para posterior análise de composição química. O material vegetal foi lavado com água destilada. Após a secagem, os materiais foram mineralizados por digestão ácida, para determinação dos teores de macro e micronutrientes e metais, por ICP-OES, a exceção de N, que foi extraído pelo método micro-Kjeldahl e determinado por colorimetria (Embrapa, 1999).

Análise estatística

Uma análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para a ordenação das áreas avaliadas de acordo com suas características químicas de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar de terem uma origem geológica comum, a topografia e os processos de intemperismo que atuaram nos solos SAP e LAT deram-lhes características químicas muito diferentes. A análise dos componentes principais (Fig. 1) mostra claramente uma separação entre as áreas SAP e as áreas LAT. A área SAP apresentou maior biodisponibilidade de Ni. Além disso, os teores de P, matéria orgânica (M.O.) e Zn também contribuíram para a distribuição dessa área observada na PCA. Por outro lado, a área LAT foi agrupada por influência de teores dos metais Ca, Fe, Mn, Cr e Cu. As diferenças de fertilidade do solo e da biodisponibilidade de metais influenciaram o acúmulo de nutrientes e metais nos tecidos das plantas crescendo nos dois solos (Fig. 2). A concentração de nutrientes variou muito entre espécies em um mesmo local e entre espécies crescendo nos dois tipos de solos (dados não mostrados). Os teores mais elevados de M.O., Mg²⁺ e K⁺ trocáveis e de Ni biodisponível no solo, observados no solo SAP (Tabelas 1 e 2), refletiram em uma maior absorção de N, Mg, K e Ni pelas plantas crescendo sobre esse solo. Porém, os valores médios de Si e Zn foram mais elevados nas plantas coletadas no LAT. As concentrações médias de P, S, Mn, B e Cu nos tecidos pouco diferiram entre as plantas crescendo nos dois locais.

Nas áreas deste estudo foram observadas ocorrência de 19 famílias, com 22 espécies em



ambos os solos SAP e LAT (Tabela 3). Refletindo as diferenças na biodisponibilidade de Ni no solo, as espécies dessas famílias crescendo no solo SAP acumularam mais Ni nos tecidos de parte aérea do que as presentes no solo LAT (Fig. 3a). Dentre elas, somente oito estiveram presentes nos dois tipos de solos: Asteraceae, Bignoniaceae, Boraginaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Leguminosae, Moraceae, Poaceae. Espécies que apresentaram teores de Ni superiores a $1 \text{ g Ni kg}^{-1} \text{ M.S.}$, concentrações que atendem ao critério para classificá-las hiperacumuladoras deste metal, foram observadas somente no SAP, num total de seis espécies, pertencentes a cinco famílias botânicas: *Justicia lanstyachii* e *Stenandrium* sp. (Achantaceae), *Heliotropium salicioides* (Boraginaceae), *Dorstenia cayapia* (Moraceae), *Oxalis pyrenea* (Oxalidaceae), *Anemia buniifolia* (Schizaceae) (Fig. 3b). Ressaltando, *H. salicioides* e *D. cayapia* são espécies comuns aos dois solos e que hiperacumularam Ni somente no solo SAP, demonstrando que a acumulação deste metal por estas espécies é dependente de sua maior disponibilidade no solo.

CONCLUSÕES

As espécies nativas em solos ultramáficos apresentam características de adaptabilidade importantes, no que se refere a tolerância a metais no solo. Os estudos de solos e de nutrição de plantas mostraram que a variabilidade espacial dos solos, separando-os em solos saprolíticos (SAP) e latéfiticos (LAT), afetou a distribuição das famílias botânicas. A caracterização nutricional permitiu identificar, além de espécies mais adequadas ao cultivo em áreas alteradas (pilhas de estéril, p.e.), as espécies *J. lanstyachii*, *Stenandrium* sp., *O. pyrenea*, *A. buniifolia*, com potencial para uso em processos de fitoextração e de fitominação de Ni. É importante salientar que a capacidade de hiperacumulação de Ni nas espécies *H. salicioides*, *D. cayapia* é dependente do Ni-biodisponível no solo, o que pode restringir o potencial de uso nos processos de fitorremediação deste metal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos funcionários dos laboratórios e do setor de campos experimentais da Embrapa Cerrados; à Raiane dos Santos e Zenilton J. G. Miranda, pelos trabalhos de levantamento florístico e identificação botânica das espécies; o apoio técnico, financeiro e logístico da mineradora Anglo American do Brasil, Unidade de Barro Alto, GO.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, F. G.; VIANA, R. M.; MIRANDA, Z. J. G.; ANDRADE, L. R. M. Richness, abundance and species composition in different areas of the ultramafic soils in Central Brazil. In: 7th international conference on serpentine ecology, 2011, Coimbra, Portugal, 2011. p.91.
- ANDRADE, L. R. M. DE; AQUINO, F. G.; MIRANDA, Z. J. G.; ECHEVARRIA, G.; BECQUER, T.; NASCIMENTO, C. T. C.; VIANA, R. M. Assessment of Ni levels and plant species diversity in ultramafic soils under Ni mining in Barro Alto (GO) - Brazil. In: 7th International Conference on Serpentine Ecology, 2011, Coimbra. Promoting awareness of Serpentine Biodiversity, 2011. p.89.
- BROOKS, R.R.; REEVES, R.D.; BAKER, A.J.M. The serpentine vegetation of Goiás state, Brazil. In: BAKER, A.J.M.; PROCTOR, J.; REEVES, R.D. The vegetation of ultramafic (serpentine) soils. Andover: Intercept Ltd, p. 67–81, 1992.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1999. 390 p.
- GOOLSBY, E. W. & MASON, C. M. Toward a more physiologically and evolutionarily relevant definition of metal hyperaccumulation in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6:33. 2015.
- VAN DER ENT, A.; BAKER, A. J.; REEVES, R. D.; CHANEY, R. L.; ANDERSON, C. W.; MEECH, J. A.; MULLIGAN, D. R.; ERSKINE, P. D.; SIMONNOT, M.-O.; VAUGHAN, J.; MOREL, J. L., ECHEVARRIA, G.; FOGLIANI, B.; RONGLIANG, Q.; MULLIGAN, D. R. Agromining: farming for metals in the future? *Environmental Science & Technology*. 2015. DOI: 10.1021/es506031u.

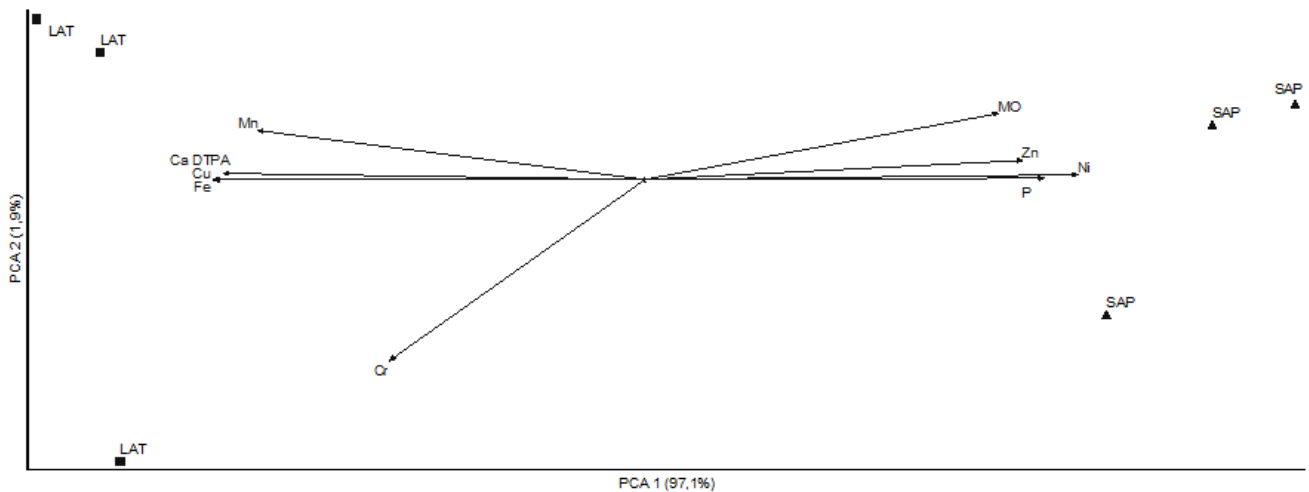


Figura 1: Análise de componentes principais (PCA) representando a distribuição das áreas conforme a similaridade dos atributos químicos do solo. As setas representam a capacidade de cada atributo em separar os tratamentos. Os atributos apresentados no gráfico correspondem aqueles com r^2 acima de 0,70. Os valores entre parênteses em cada eixo referem-se à percentagem da variabilidade original dos dados explicada.

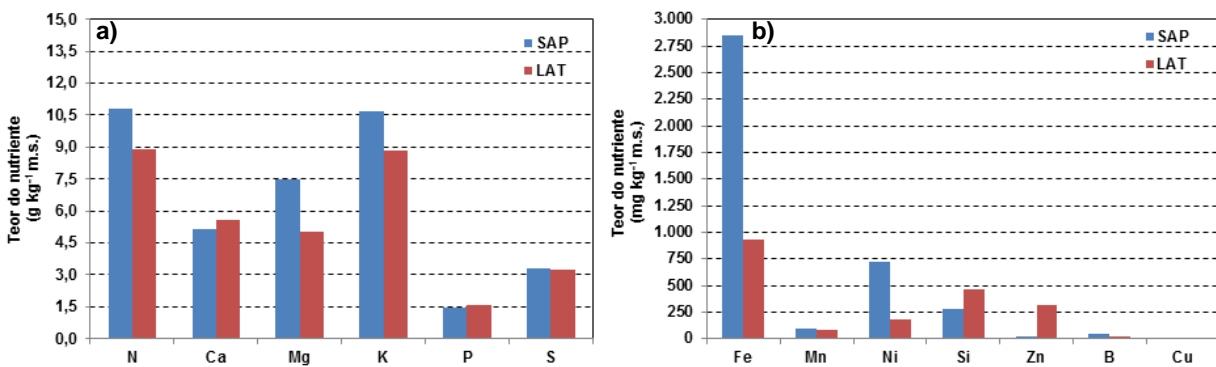


Figura 2. Teor médio de nutrientes nos tecidos de parte aérea de espécies nativas em dois solos ultramáficos, diferentes quanto à características edáficas: SAP (22 espécies) e LAT (22 espécies): a) macronutrientes (g kg^{-1} M.S.) e b) micronutrientes (mg kg^{-1} M.S.).

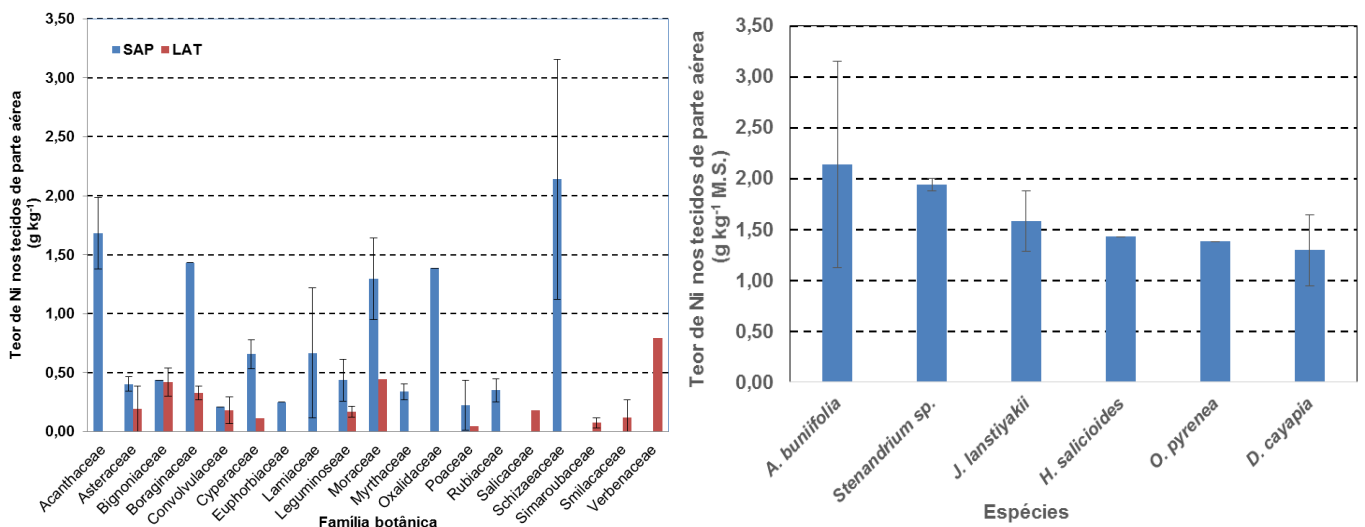


Figura 3. Acumulação de Ni nos tecidos de parte aérea (g kg^{-1} M.S.) crescendo em dois solos ultramáficos (SAP e LAT) diferentes quanto biodisponibilidade deste metal. de: **a) em diferentes famílias botânicas (SAP e LAT); b) em espécies nativas, no solo SAP.** (Barras = desvio padrão da média).