

## Solos metalíferos: atributos químicos nas diferentes fitofisionomias da Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará, Brasil

### Metalliferous soils: chemical attributes in different phytophysionomies of the Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará, Brazil

Josemar Moreira Vasconcelos<sup>I</sup>, Mário Lopes da Silva Júnior<sup>I</sup>, Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo<sup>II</sup>, Carlos Ernesto G. R. Schaefer<sup>III</sup>, Possidônio Guimarães Rodrigues<sup>I</sup>, Gisele Teixeira de Souza<sup>I</sup>, Dryelle de Nazaré Oliveira do Nascimento<sup>I</sup>, Kelly Cristina Alves Bezerra<sup>I</sup>, Yan Nunes Dias<sup>I</sup>

<sup>I</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, Pará, Brasil

<sup>II</sup>Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTI. Belém, Pará, Brasil

<sup>III</sup>Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil

**Resumo:** As diferentes fitofisionomias que ocorrem nas formações ricas em ferro – *i.e.*, platô sobre canga ferrífera da Floresta Nacional de Carajás, conhecida como Serra Sul, localizada no sudoeste do estado do Pará – apresentam vegetação peculiar rica em endemismos, estando atualmente submetidas à pressão da mineração, as quais, contudo, são pouco pesquisadas. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi identificar os atributos químicos que se correlacionam nas diferentes fisionomias de canga. Realizou-se amostragem de solo com profundidade variando de 0,05 a 0,20 m, pois a canga hematítica forma grandes blocos duros de minérios, o que varia nas diferentes fitofisionomias: campo rupestre aberto (CR.AB), campo rupestre arbustivo (CR.AR), capão florestal (CF), mata de encosta (ME), mata de buritizais (MB) e capão florestal lacustre (CFL). Avaliou-se pH, carbono orgânico, nitrogênio total, fósforo disponível, potássio, cálcio, magnésio, sódio, alumínio trocável, capacidade de troca catiônica, soma de bases, saturação por bases e saturação de alumínio. Os resultados foram analisados por meio da estatística uni e multivariada. Os solos das fisionomias estudadas apresentaram acidez elevada e níveis muito baixos de fósforo, potássio, magnésio e cálcio. A análise multivariada permitiu uma clara diferenciação entre quatro grupos distintos associados à fertilidade do solo: 1) CR.AR, CF, CFL; 2) ME; 3) MB e 4) CR.AB.

**Palavras-chave:** Canga ferrífera. Fertilidade do solo. Campos rupestres ferruginosos. Solo de canga.

**Abstract:** The different phytophysionomies that occur in formations rich in iron-Plateau *canga ferrífera* on national forest of Carajás, known as Serra Sul, located in the south west of the State of Pará, have peculiar vegetation rich in endemics, and currently are subjected to pressure from mining, however are little studied. In this sense, the objective of this study was to identify the chemical attributes that correlate in different physiognomies of *canga*. Soil sampling was carried out in depth ranging from 0.05 to 0.20 cm because the *canga hematítica* form large blocks of hard minerals, which varies in different phytophysionomies: *campo rupestre aberto* (CR.AB), *campo rupestre arbustivo* (CR.AR), *capão florestal* (CF), *mata de encosta* (ME), *mata de buritizais* (MB) and *capão florestal lacustre* (CFL). Was rated the pH, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, aluminum, exchangeable cationic exchange capacity, base saturation, total bases and saturation of aluminum. The results were analyzed through uni and multivariate statistical. The soils of the physiognomies studied showed high acidity and very low levels of phosphorus, potassium, magnesium and calcium. Multivariate analysis allowed a clear distinction between four distinct groups associated with the fertility of the soil: 1) CR.AR, CF, CFL; 2) ME; 3) MB and 4) CR.AB.

**Keywords:** *Canga ferrífera*. Soil fertility. Rupestrian ferruginous fields. Canga soils.

---

VASCONCELOS, J. M., M. L. SILVA JÚNIOR, M. L. P. RUIVO, C. E. G. R. SCHAEFER, P. G. RODRIGUES, G. T. SOUZA, D. N. O. NASCIMENTO, K. C. A. BEZERRA & Y. N. DIAS, 2016. Solos metalíferos: atributos químicos nas diferentes fitofisionomias da Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 11(1): 49-55.

Autor para correspondência: Dryelle de Nazaré Oliveira do Nascimento. Universidade Federal Rural da Amazônia. Avenida Presidente Tancredo Neves, 2051 – Terra Firme. Belém, PA, Brasil. CEP 66077-830 (dryelleoliveira@yahoo.com).

Recebido em 16/03/2015

Aprovado em 09/03/2016

Responsabilidade editorial: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo



## INTRODUÇÃO

O estado do Pará possui a segunda maior província mineral do mundo no que se refere aos depósitos de ferro, de ouro, de manganês e de cobre. A principal região está localizada na Serra dos Carajás, sudeste do estado, que se situa na margem sudeste do Cráton Amazônico e faz parte da Província Amazônia Central (Correia *et al.*, 2010). Dois blocos tectônicos arqueanos compreendem a Província Mineral de Carajás: o mais velho, ao sul do rio Maria, os terrenos Granito-*Greenstone*, ao norte, o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (Galarza & Macambira, 2002), que incorpora uma das sequências vulcanossedimentares arqueanas melhor preservadas do mundo, a Bacia de Carajás. As formações ferríferas de Carajás são compostas por jaspelitos e guardam as maiores jazidas de ferro de alto teor do planeta – 18 bilhões de toneladas com mais de 65% de Fe (Lindenmayer *et al.*, 2001).

Em Carajás, ocorrem dois ambientes fitogeográficos distintos: floresta ombrófila, ocupando a maior parte da área (95%), e outra formação herbáceo-arbustiva, denominada campos rupestres ferruginosos (Jacobi *et al.*, 2008), conhecida como vegetação de canga, com 3% da área, estando distribuída em áreas restritas associadas a importantes depósitos de minério de ferro.

De acordo com Jacobi *et al.* (2007), canga é um termo brasileiro para um depósito de hematita superficial, que apresenta várias fitofisionomias distintas: campo rupestre aberto – com os Plintossolos Pétricos Litoplínticos mais rasos de toda a Serra Sul, sendo que o solo friável raramente ultrapassa 5 cm de horizonte A; campo rupestre arbustivo – em geral, os Plintossolos Pétricos, líticos ou concrecionários, de ampla ocorrência neste geoambiente, mostram-se pouco mais profundos do que os mesmos Plintossolos Pétricos encontrados no campo rupestre de *Vellozia*; capão florestal; mata de biritizal – destacada pela ocorrência de profundas turfeiras (Organossolos Sápricos); e capão florestal – Plintossolos Pétricos concrecionários latossólicos, Latossolos e Cambissolos, todos ricos em concreções

lateríticas, profundidade de horizonte Bw variando de 0,2 a 1,0 m ou pouco mais. Esse ambiente (campo rupestre-canga) com alta diversidade contrasta com as severas condições edafoclimáticas típicas de afloramentos, como alta intensidade ultravioleta (UV), variações térmicas diárias de substratos, que podem chegar a 45 °C, rápida perda de água e solo pouco desenvolvido, que, no caso da canga, é um aspecto ainda agravado por elevado teor de metais pesados (Jacobi *et al.*, 2008).

O solo de canga pode ser classificado como superficial e deficiente em estrutura e em nutrientes, mas as amostras de solo 'ilhas', na qual a vegetação é encontrada, têm mais substâncias húmicas e melhor fertilidade (Matias *et al.*, 2009). Esse solo é comumente caracterizado como pouco fértil, ácido, com quantidades elevadas de alumínio trocável e baixa capacidade de troca de cátions (EMBRAPA, 2013), além disso, apresenta deficiência de drenagem, sendo, portanto, inadequado para fins agrícolas.

Pouco se conhece sobre os atributos químicos dos solos da região, nesse sentido, o objetivo do estudo foi quantificar e identificar aqueles que se correlacionam nas diferentes fisionomias de canga.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na região sudeste do estado do Pará, nos municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás, compreendendo a Floresta Nacional (FLONA) de Carajás, a qual apresenta uma área total de 395.826,70 ha. O clima é tropical, quente e úmido, enquadrado na classificação de Köppen como tipo Aw. Possui temperaturas médias mensais entre 19 e 31 °C, sendo caracterizado por duas estações distintas, uma seca, de maio a outubro, e outra úmida, de novembro a abril, com períodos de chuvas torrenciais (Ribeiro, 2009).

As amostragens de solo foram realizadas em março de 2013, em platô sobre canga ferrífera da FLONA de Carajás, conhecido como Serra Sul. A amostragem de solo foi feita apenas em uma camada, que variou de

0,05 a 0,20 m de profundidade, pois a canga hematítica forma grandes blocos duros de minérios, o que varia nas diferentes fitofisionomias.

Foram consideradas seis fitofisionomias distintas da vegetação como parte do complexo campo rupestre sobre canga: campo rupestre aberto (CR.AB), campo rupestre arbustivo (CR.AR), capão florestal (CF), mata de encosta (ME), mata de buritizais (MB) e capão florestal lacustre (CFL).

As análises foram feitas em cinco repetições. O solo amostrado foi moído e passado em peneira com abertura de 2 mm, sendo posteriormente colocados para secar ao ar, compondo a terra fina seca ao ar (TFSA). Avaliaram-se os atributos químicos: pH, carbono orgânico (Corg), nitrogênio total (N), fósforo disponível (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), CTCpH7 e soma de bases (SB) (EMBRAPA, 1997).

As variáveis químicas foram submetidas às análises univariada (paramétrica e não paramétrica para a população de dados que não seguiu a distribuição normal) e multivariada (análise de componentes principais e agrupamento), comparando-se as médias pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ), utilizando o *software* MINITAB 14. Os componentes principais foram construídos a partir da correlação entre as variáveis, sendo extraídas em ordem decrescente de importância, em termos de sua contribuição para a variação total dos dados (Silva *et al.*, 2010). O critério para classificação dos autovetores (valores que representam o peso de cada caractere, em cada componente, e variam de -1 a +1) foi: valor absoluto  $< 0,30$ , classificado como pouco significativo;  $0,30-0,40$ , considerado como mediamente significativo; e  $\geq 0,50$ , tido como altamente significativo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de todas as variáveis determinadas, juntamente com o resumo da análise de variância oriunda do teste de Tukey e Kruskal-Wallis a 5% de erro.

Os resultados de pH do solo variaram de 3,36 e 4,69, considerados de acidez elevada a média (Vincent &

Meguro, 2008). A ME apresentou o maior valor, porém não evidenciou diferença estatística em relação a CR.AB, CR.AR e MB. A acidez elevada dos solos está diretamente relacionada com a deficiência de nutrientes, uma vez que ocasiona a menor disponibilidade de nutrientes, indicando solos de baixa fertilidade, resultado encontrado por outros pesquisadores em solos sobre canga ferrífera na região do Quadrilátero Ferrífero (Vincent & Meguro, 2008). Os teores de P disponível, em todas as fisionomias, foram baixos, com exceção de MB, que apresentou maior valor ( $18,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), considerado médio. Baixos teores de fósforo também foram encontrados por Vincent & Meguro (2008), ao estudarem solo sobre canga ferrífera no Quadrilátero ferrífero.

O maior teor de Ca foi encontrado em ME ( $1,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), sendo estatisticamente diferente em relação às demais fisionomias estudadas, considerado, entretanto, como teor muito baixo. O Mg também apresentou maior teor na ME, considerado médio, apenas apresentando, contudo, diferença estatísticas para CFL. A predominância desses nutrientes nessas áreas pode ser devido ao fato de que a ME se encontra na borda da Formação Carajás, com solo melhor desenvolvido, apresentando, portanto, maior disponibilidade de nutrientes.

Os valores de Na e K foram maiores em CR.AR em comparação com as outras fitofisionomias, valores estes considerados baixos. Nunes (2009), em estudo realizado em Carajás, Pará, observou maior teor de K e Na nos campos rupestres, o que está de acordo com dados obtidos neste trabalho.

A MB apresentou o maior valor para o P disponível, seguido de CF e de CFL. Com exceção de MB, que apresentou teor considerado médio de P, as outras fitofisionomias apresentaram teores baixos. Schaefer *et al.* (2008) concluíram que em solo de capão florestal, em área de canga em Carajás, com a degradação da canga, formam-se áreas de acumulação coluvial, com solos apresentando maior profundidade, onde é favorecida a retenção hídrica e de nutrientes e se desenvolvem verdadeiras matas, bem estruturadas e ricas em espécies.

Tabela 1. Variáveis químicas superficiais do solo em seis fisionomias na Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará. Os dados estão representados pelas médias entre as parcelas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). Legendas: \* = dados não paramétricos; CR.AB = campo rupestre aberto; CR.AR = campo rupestre arbustivo; CF = capão florestal; ME = mata de encosta; MB = mata de buritizais; CFL = capão florestal lacustre; C/N = relação carbono/nitrogênio; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica.

Tratamento	Unidade	CR.AB	CR.AR	CF	ME	MB	CFL
Cu*	mg kg <sup>-1</sup>	0,202 a	0,082 b	0,138 ab	0,312 a	0,108 ab	0,094 ab
Mn*	mg kg <sup>-1</sup>	1,102 a	0,386 b	0,586 ab	5,324 a	0,236 b	0,444 ab
Fe*	mg kg <sup>-1</sup>	332,988 a	140,126 abc	84,42 abc	26,434 bc	18,302 c	116,116 ab
Zn*	mg kg <sup>-1</sup>	0,224 ab	0,196 ab	0,262 ab	0,106 b	1,072 a	0,130 b
pH*	-	4,176 ab	4,298 ab	4,144 ab	4,698 a	4,404 ab	3,368 b
C	g kg <sup>-1</sup>	109,116 b	86,073 c	68,540 cd	52,782 d	142,981 a	52,778 d
MO*	g kg <sup>-1</sup>	191,601 ab	161,798 abc	111,595 abc	91,756 bc	257,644 a	89,334 c
N*	g kg <sup>-1</sup>	7,714 ab	3,710 abc	3,602 abc	3,092 c	8,844 a	3,335 bc
C/N	-	14,702 b	19,417 a	17,472 ab	15,171 b	16,524 ab	15,998 ab
Al	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,423 c	2,788 b	2,731 b	1,019 c	3,346 a	3,351 a
H+Al	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	18,347 bc	20,021 b	15,825 cd	8,934 e	23,738 a	14,573 d
Na	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,035 bc	0,060 a	0,046 ab	0,024 c	0,039 bc	0,022 c
K	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,020 bc	0,035 a	0,027 ab	0,014 c	0,023 bc	0,013 c
Ca	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,250 b	0,320 b	0,440 b	1,100 a	0,320 b	0,270 b
Mg	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,640 ab	0,760 ab	0,740 ab	0,920 a	0,780 ab	0,560 b
SB	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,945 bc	1,176 bc	1,253 b	2,058 a	1,161 bc	0,879 c
CTC	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	20,715 bc	23,985 b	19,809 c	12,012 d	28,245 a	18,173 c
P*	mg kg <sup>-1</sup>	0,385 bc	0,535 bc	4,482 abc	0,250 c	18,204 a	4,397 bc

Maiores valores de acidez total (H + Al) ocorreram em MB, seguido de CR, onde não se observou diferença significativa entre os mesmos. De acordo com Camargos *et al.* (2008), há uma tendência, esperada, de ocorrer maiores valores de acidez total em solos mais ricos em matéria orgânica, principalmente se apresentarem pH baixo, o que se observa nestas fitofisionomias.

A capacidade de troca catiônica (CTC) apresentou-se baixa em todas as fitofisionomias estudadas, evidenciando o extremo grau de intemperismo dos solos. Contudo, os maiores valores da CTC também ocorreram nas fitofisionomias onde o acúmulo de matéria orgânica foi verificado. Pode-se dizer que, em solos metalíferos, a maioria dessas cargas advém

da matéria orgânica, evidenciando a baixíssima capacidade de troca de fração mineral dos solos. Em solos associados a afloramentos rochosos na serra da Mantiqueira e Espinhaço, Benites *et al.* (2007) observaram baixos teores de nutrientes, níveis elevados de alumínio trocável e horizontes superficiais escuros, devido ao acúmulo de matéria orgânica.

Em CR.AB ocorre a acumulação de matéria orgânica nos solos associados a afloramentos rochosos, devido às condições desfavoráveis para decomposição microbiana (Nunes, 2009).

Os teores de Fe foram maiores nos campos rupestres e nos capões avaliados, considerados elevados, porém o maior valor se deu no CR.AB, ainda assim sendo

registrados valores bem inferiores aos do teor de ferro encontrado por Silva (1992), na porção central de canga hematítica, na Serra Norte, em Carajás (Vincent & Meguro, 2008) e no Quadrilátero Ferrífero.

O Cu e o Mn apresentaram teores considerados baixos em todas fitofisionomias, porém maiores valores ocorreram na mata de encosta. A predominância desses micronutrientes nessas áreas pode ser devido ao fato de ME encontrar-se na borda da Formação Carajás, com solo melhor desenvolvido e apresentando, portanto, maior disponibilidade de nutrientes.

Benites *et al.* (2007) reportam que a fertilidade do solo em áreas de quartzito, onde ocorrem baixos teores de nutrientes, está relacionada ao material de origem e também à perda por lixiviação dos nutrientes, reforçada pela alta drenagem.

A Figura 1 mostra os resultados da análise de componentes principais (ACP) para os atributos químicos do solo, onde a distribuição das variáveis selecionadas apresentou variação acumulada de 59,70% para os eixos F1 e F2, sendo que o eixo F1 foi capaz de explicar 41,8% dessa variância e o F2, 17,9%. Os atributos químicos do solo mais fortemente correlacionados com o primeiro eixo de ordenação foram K, C/N, CTC e H+Al. Os demais atributos apresentaram menor correlação com esse eixo, tendo, portanto, menor importância para explicar esse componente principal.

O segundo eixo teve como atributos mais relevantes pH, Mg e Ca. As demais variáveis apresentaram baixa correlação com este eixo. Os atributos K, C/N, CTC e H+Al foram os mais discriminantes na avaliação da variação total entre as fitofisionomias avaliadas. A dispersão gráfica das fitofisionomias em relação aos dois eixos demonstra que houve dissimilaridade em relação aos atributos químicos do solo.

As fitofisionomias CF, CFL, CR.AR e CR.AB (Figura 2) localizam-se próximas a CP1 e CP2, enquanto MB está dispersa à direita do diagrama e ME agrupou-se à esquerda. Estes resultados são decorrentes dos menores valores de K, C/N, CTC e H+Al, observados nestas fitofisionomias,

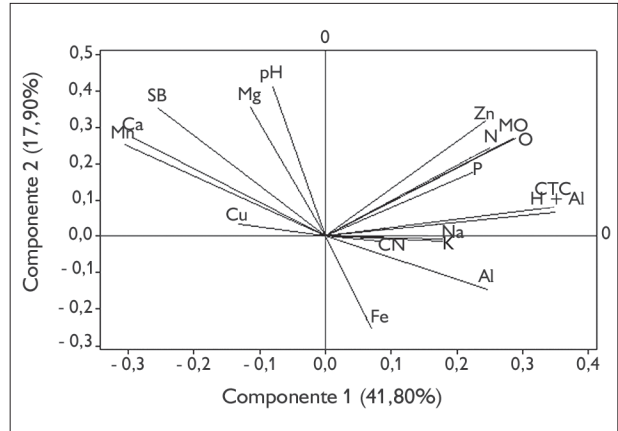


Figura 1. Loadings dos atributos químicos do solo.

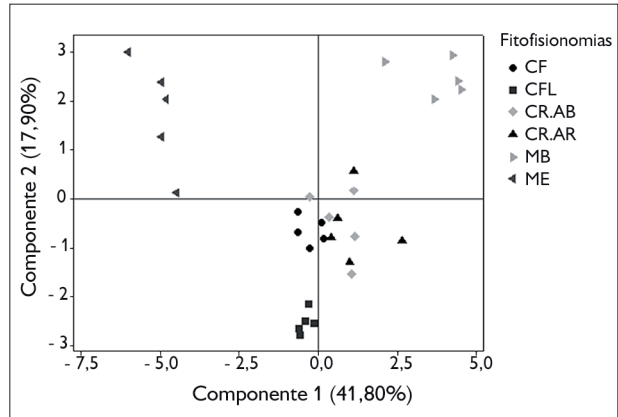


Figura 2. Scores das fitofisionomias avaliadas em função dos atributos químicos do solo.

tendo em vista que estas variáveis foram as mais importantes para explicação da variação total dos resultados.

Observa-se comportamento antagônico entre as variáveis pH, Mg, SB, Fe e Al, o que evidencia a relação indireta entre elas, sendo que os maiores valores de pH, Mg e SB correspondem aos menores valores percentuais de Fe e Al.

A dispersão gráfica das fitofisionomias (ME e MB) em relação aos dois eixos demonstra que houve dissimilaridade entre as mesmas em relação aos atributos químicos. A ME localiza-se à esquerda do diagrama, demonstrando que K, C/N, CTC, H+Al foram os atributos que menos se correlacionaram com esta fitofisionomia, tendo em

vista que estas variáveis foram as mais importantes para explicação da variação total dos resultados.

As fitofisionomias que mais apresentaram similaridade com as variáveis mais discriminantes, na avaliação da variação total, foram CR.AB, CR.AB e CF.

Para a elaboração do dendograma de dissimilaridade (distância euclidiana), foram também utilizados os resultados das análises químicas estudadas, o que possibilitou determinar diferentes agrupamentos dos atributos químicos por meio de suas similaridades (Figura 3). Considerando-se as variáveis químicas, nota-se que as fitofisionomias estudadas formam grupos distintos após a standardização dos dados.

O resultado das análises evidenciou que as variáveis mais discriminantes K, C/N, CTC, H+Al constituem um primeiro grupo, separado dos demais, no dendograma e na análise de componentes principais, seguido de um segundo grupo, composto por ME. O terceiro grupo é composto por MB e o quarto é constituído por CR.AB. O agrupamento pela similaridade das características químicas possibilitou a distinção entre as fitofisionomias estudadas em relação às variáveis químicas. Os locais de estudo foram diferentes edaficamente, como evidenciado pelas análises de componentes principais e pelo dendograma de similaridade (Figuras 1 e 3). As principais variáveis edáficas que

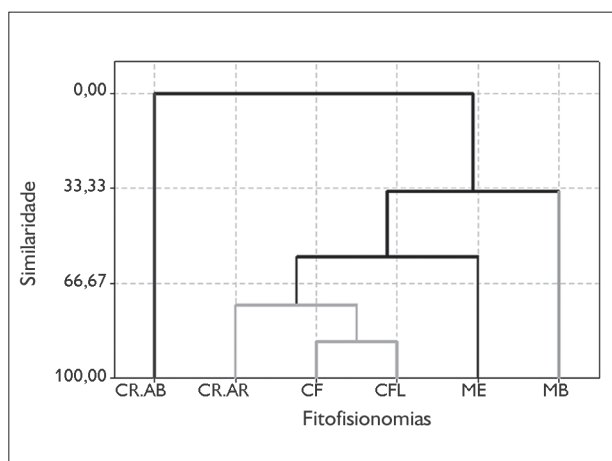


Figura 3. Dendograma das fitofisionomias avaliadas em função dos atributos químicos do solo.

influenciaram a separação das fitofisionomias relacionadas à fertilidade do solo foram K, C/N, CTC e H+Al.

## CONCLUSÃO

Todas as fitofisionomias têm baixos teores de nutrientes disponíveis, elevados níveis de acidez e alumínio trocável, causando baixa fertilidade nos solos. Os atributos químicos K, C/N, CTC, H+Al são variáveis-chave para explicar a diferenciação entre as fitofisionomias estudadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA) e à Vale, pelo financiamento do Projeto "Geoambientes, geodiversidade e valores de referência para metais pesados nas áreas de canga ferrífera em Carajás", que permitiu a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BENITES, V. M., C. E. G. R. SCHAEFER, F. N. B. SIMAS & H. G. SANTOS, 2007. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica** 30(4): 569-577.
- CAMARGOS, V. L., A. F. SILVA, J. A. A. MEIRANETO & S. V. MARTINS, 2008. Influência de fatores edáficos sobre variações florísticas na Floresta Estacional Semidecídua no entorno da Lagoa Carioca, Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasílica** 22(1): 75-84.
- CORREIA, M. G., E. P. LEITE & C. R. SOUZA FILHO, 2010. Comparação de métodos de estimativa de profundidades de fontes magnéticas utilizando dados aeromagnéticos da província mineral de Carajás, Pará. **Revista Brasileira de Geofísica** 28(3): 411-426.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 1997. **Manual de método de análise do solo**: 2. ed.: 1-212. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**: 1-353. EMBRAPA Produção de Informação/EMBRAPA Solos, Brasília/Rio de Janeiro.
- GALARZA, M. A. & J. B. MACAMBIRA, 2002. Geocronologia e evolução crustal da área do depósito de Cu-Au Gameleira, Província Mineral de Carajás (Pará), Brasil. **Revista do Instituto de Geociências** 2: 143-159.

JACOBI, C. M., F. F. CARMO, R. C. VINCENT & J. R. STEHMANN, 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation** 16(7): 2185-2200.

JACOBI, C. M., F. F. CARMO & R. C. VINCENT, 2008. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga com subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Árvore** 32(2): 345-353.

LINDENMAYER, Z. G., J. H. LAUX & J. B. G. TEIXEIRA, 2001. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências** 31(1): 21-28.

MATIAS, S. R., M. C. PAGANO, F. C. MUZZI, C. A. OLIVEIRA, A. A. CARNEIRO, S. N. HORTA & M. R. SCOTTI, 2009. Effect of rhizobia, mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants used to recover an iron ore area in Brazil. **European Journal of Soil Biology** 45(3): 259-266.

NUNES, J. A., 2009. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás – Pará**: 1-112. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RIBEIRO, A. S. S., 2009. **Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica dos solos da Serra Sul, Floresta Nacional de Carajás, Pará**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCHAEFER, C. E. G. R., F. N. B. SIMAS, B. A. F. MENDONÇA, A. S. SABOYA, W. G. FERREIRA JÚNIOR, J. A. NUNES & G. R. CORREA, 2008. **Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás – Pará**: 1-75. Relatório Técnico. Vale do Rio Doce, Belém.

SILVA, M. F. F., 1992. Distribuição de metais pesados na vegetação metalófila de Carajás. **Acta Botanica Brasílica** 6(1): 107-122.

SILVA, S. A., J. S. S. LIMA, A. C. XAVIER & M. M. TEIXEIRA, 2010. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34(1): 15-22.

VINCENT, R. C. & M. MEGURO, 2008. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Botânica** 31(3): 377-388.



