

Universidade Estadual de Montes Claros  
Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências Biológicas

**Composição de fungos micorrízicos arbusculares ao longo de um gradiente altitudinal em solos do complexo rupestre**

**Etiene Silva Coutinho**

Montes Claros, Minas Gerais  
2012

**Etiene Silva Coutinho**

**Composição de fungos micorrízicos arbusculares ao longo de um gradiente altitudinal em solos do complexo rupestre**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Montes Claros como requisito necessário para a conclusão de Mestrado em Ciências biológicas.

Montes Claros, Minas Gerais


2012

ETIENE SILVA COUTINHO

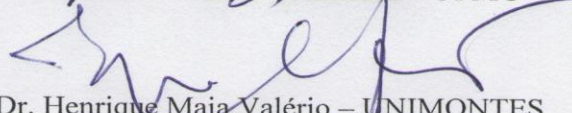
COMPOSIÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO LONGO DE  
UM GRADIENTE ALTITUDINAL EM SOLOS DO COMPLEXO RUPESTRE

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em  
Ciências Biológicas da Universidade  
Estadual de Montes Claros como  
requisito necessário para a conclusão  
de Mestrado em Ciências biológicas.

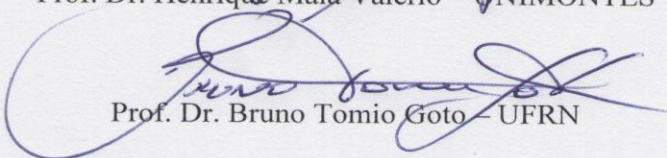
APROVADA: 30 de março de 2012



Prof. Dr. Geraldo Wilson Fernandes – UFMG



Prof. Dr. Henrique Maia Valério – UNIMONTES



Prof. Dr. Bruno Tomio Goto – UFRN

**Resumo** O elevado grau de endemismo e grande biodiversidade, ocupando as maiores altitudes das regiões de campos rupestres da Serra do Cipó têm sido explicados por um mosaico de tipos de vegetação, relevo acidentado, variação microclimática e pelas propriedades de diversos tipos de solos. Por outro lado, tal diversidade e endemismo podem estar sendo influenciados pela diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Este trabalho teve como objetivo verificar a composição de FMA em solos do complexo rupestre em ao longo do gradiente altitudinal na Serra do Cipó. Foram analisadas a riqueza de FMA, densidade de glomerosporos e propriedades do solo através do modelo linear generalizado e regressão a 5% de significância de sete altitudes. As relações entre as propriedades dos solos e as espécies de FMA com as altitudes foram analisadas por CCA. Para verificar a composição de espécies de FMA foi aplicado o teste ANOSIM, para posterior aplicação de Análise de Cluster. Para avaliar a eficiência da amostragem foi construída a curva de acumulação de espécies para cada altitude. Os solos avaliados são ácidos e pobres em nutrientes e com textura arenosa. Foram amostrados 58.621 glomerosporos e 53 espécies de FMA. As variáveis edáficas areia fina, pH, matéria orgânica, saturação de bases e capacidade de troca catiônica foram as que tiveram maior correlação com os dois eixos de ordenação e influenciaram na separação das altitudes e das espécies. Houve diferença significativa na composição de espécies entre as altitudes ( $p < 0,05$ ). Observou a formação de agrupamento em dois níveis de similaridade, sendo que as altitudes mais próximas foram mais similares entre si. As curvas de acumulação de espécies mostraram a necessidade de coletar em mais parcelas em cada altitude, uma vez que não apresentaram estabilização. Os FMA podem apresentar diferentes estratégias de sobrevivência em cada altitude quando os solos são ou não escassos em nutrientes. Assim, é importante o estudo de comunidades de FMA em ecossistemas naturais, principalmente em campos rupestres.

**Palavras-chave** ecossistemas montanhosos, biodiversidade, simbiose, variáveis edáficas

**Abstract** The high degree of endemism and high biodiversity, occupying the higher altitudes of the regions of rocky fields of Serra do Cipó have been explained by a mosaic of vegetation types, terrain, microclimate variation and the properties of various soil types. On the other hand, such diversity and endemism may have been influenced by the diversity of mycorrhizal fungi (AMF). This work aimed to verify the composition of AMF in soils in the complex rock along the elevation gradient in Serra do Cipó. We analyzed the AMF richness, glomerospores density and soil properties through the generalized linear model and regression at 5% significance seven elevations. The relationships between soil properties and species of AMF with the elevations were analyzed by CCA. To verify the species composition of AMF ANOSIM test was used for subsequent application of Cluster Analysis. To assess the efficiency of the sample curve was constructed for each elevation species accumulation.

Evaluated soils are acid and nutrient-poor and sandy texture. We sampled 58,621 glomerospores and 53 species of AMF. The sandy soil variables, pH, organic matter, base saturation and cation exchange capacity were the ones with the highest correlation with the two ordination axes and influence the separation of elevations and species. There were significant differences in species composition between the elevations ( $p < 0.05$ ). Observed the formation of clustering at two levels of similarity, and the elevations closest were more similar to each other. The accumulation curves species showed the need to collect more portions each elevations since showed no stabilization. The FMA may have different survival strategies in each elevation when the soils are lacking in nutrients or not. Thus, it is important to the study of AMF communities in natural ecosystems, especially in rocky fields.

**Keywords** mountain ecosystems, biodiversity, symbiosis, soil characteristics

## **Introdução**

Muitos fatores ambientais variam ao longo de um gradiente altitudinal formando um verdadeiro complexo ambiental. Nestes gradientes variam a temperatura, precipitação pluviométrica, umidade, solos, velocidade dos ventos e sombreamento, dentre outros. Concomitante com estas variações, fisionomias e estruturas florestais diversas se sucedem montanha acima, diferenciando-se a curtas distâncias (Whitmore 1990). Merriam (1890) descreve claras mudanças nas comunidades de plantas e de animais em gradiente altitudinal no sudoeste norte Americano, mais exatamente em San Francisco Peaks, Flagstaff (Arizona, USA). Ele observou que as mudanças nas comunidades com a altitude em uma elevação constante eram similares àquelas vistas nas elevações em latitudes constantes. Embora sejam evidentes as mudanças nas comunidades ao longo de gradientes altitudinais, o conceito desenvolvido por Merriam é raramente lembrado. Preferencialmente, foi aceito o conceito de Leslie Holdridge (Holdridge 1947) que se adapta melhor aos complexos sistemas tropicais e que utiliza as variáveis de temperatura, precipitação e evapotranspiração, dentre outros, para descrever as comunidades de plantas e animais ao longo destes gradientes.

Os ecossistemas montanhosos ocorrem em todas as zonas climáticas e cobrem aproximadamente 25% da superfície do planeta. Estas áreas apresentam combinação de características físicas e biológicas, com topografia, clima e geologia diversificada, o que influencia na diversidade biológica e endemismos (Martinelle 2007). Nas montanhas tropicais os gradientes climáticos e de solos favorecem divergências adaptativas e definem padrões de distribuição da flora e fauna (e.g., Fernandes & Price 1988, Lara & Fernandes 1996, Dick & Wright 2005).

O campo rupestre é uma fisionomia do Cerrado, encontrado em terras de altitude da Cadeia do Espinhaço, em pequenas disjunções do sudeste e nordeste do Brasil e no estado do Pará no norte brasileiro (Conceição et al. 2007, Rapini et al. 2008, Negreiros et al. 2009, Barbosa et al. 2012). Há

grande proporção de substratos rochosos de quartzito-arenito e solos arenosos, originando uma paisagem uniforme à distância, ora formada por campos extensos ora por porções de rocha com pequenas ilhas de vegetação (Conceição et al. 2007). Esta fisionomia compreende vários tipos de vegetação, que vão desde brejo arenoso, que sofre encharcamentos periódicos na estação chuvosa e possui vegetação herbácea ocorrendo de forma contínua; brejo turfoso, que permanece constantemente encharcado durante a estação chuvosa e onde há o predomínio do estrato herbáceo ocorrendo de forma contínua; afloramento rochoso com altas proporções de rocha exposta e vegetação herbáceo-arbustiva; campo rupestre com a cobertura da superfície do solo por pequenos fragmentos de rochas quartzíticas; e o cerrado, cuja dominância de espécies em formas arbóreas-arbustivas declina com o aumento de altitude e estágio de menor desenvolvimento do perfil do solo, passando gradativamente ou bruscamente a campo rupestre (Medina & Fernandes 2007, Alves & Kolbek 2010, Carvalho et al. 2012, veja também Giuliatti et al. 1987). Além disso, nas áreas úmidas ao longo de rios e riachos encontram-se as matas de galeria, e principalmente a vertente oriental, os capões de mata.

Na Serra do Cipó no sudeste brasileiro, o solo é de origem predominantemente quartzítica e arenítica, calcária em menor quantidade, solos ácidos, arenosos e rasos, com pouca capacidade de retenção de água e pobre em nutrientes, com grande concentração de alumínio (Negreiros et al. 2011). Segundo Benites et al. (2003), a pobreza química desses solos é devida principalmente à natureza da matriz geológica dominante do sistema e, em parte, às perdas por lixiviação e erosão que o ambiente apresenta. Embora composto principalmente por solos bastante pobres, o campo rupestre apresenta um elevado grau de endemismo e biodiversidade (Giuliatti et al. 1987, Lara & Fernandes 1996, Carvalho et al. 2012), com possivelmente mais de 6000 espécies de plantas apenas no Espinhaço.

O destaque em endemismo e biodiversidade de espécies vegetais nas maiores altitudes das regiões de campos rupestres da Serra do Cipó tem sido explicado por um mosaico de tipos de vegetação, associadas às fisionomias encontradas principalmente na Cadeia do Espinhaço, e pelo relevo acidentado, variação microclimática e pelas propriedades de diversos tipos de solos (Giuliatti et al. 1987, Giuliatti & Pirani 1988, Medina & Fernandes 2007, Negreiros et al. 2008). Por outro lado, Carvalho et al. (2012) recentemente propuseram a hipótese de que tal diversidade e endemismo vegetal possam estar sendo largamente influenciados pela altíssima diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que podem contribuir para a heterogeneidade e suporte destes ambientes. Carvalho et al. (2012) encontraram uma diversidade de 49 espécies de FMA em solos de campos rupestres, representando 21% da diversidade mundial de FMA. Além disso, encontraram cinco espécies não descritas pertencem aos gêneros *Acaulospora*, *Scutellospora* e *Glomus*, enquanto duas outras foram reportadas pela primeira vez no Brasil, *Acaulospora colossica* e *Pacispora dominikii*.

Os fungos micorrízicos arbusculares pertencem ao Filo Glomeromycota, formando um grupo diverso, tanto em termos de número de espécies como em função. São conhecidas no Brasil cento e vinte e duas espécies de FMA, o que representa aproximadamente 53% da diversidade total, 230 espécies, conhecida mundialmente (Oehl et al. 2011). Estes fungos são biotróficos obrigatórios e formam simbiose mutualística, denominada micorriza arbuscular, com espécies da maioria das famílias de plantas. Nessa simbiose, a planta supre o fungo com energia para crescimento e reprodução e o fungo provê a planta e o solo com uma gama de serviços (Souza et al. 2007), incluindo a captação de nutrientes, principalmente o fósforo, dos solos pobres. Dessa forma, a comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares contribui para manutenção o funcionamento dos sistemas naturais por isto tem sido considerada como um dos indicadores da qualidade e sustentabilidade dos solos (Moreira et al. 2007, Miranda 2008, Leal et al. 2009, Gianinazzi et al. 2010).

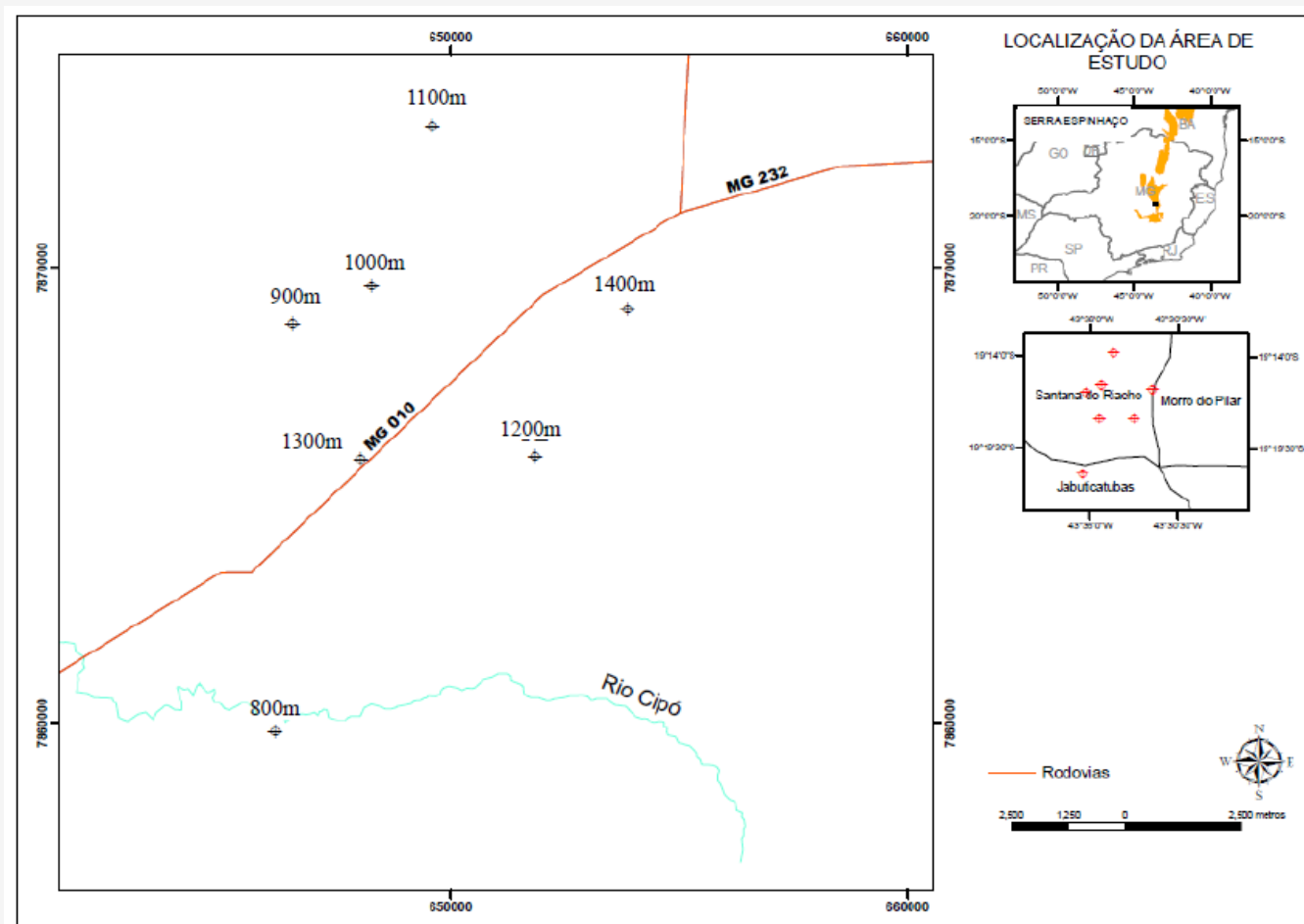
Embora no ambiente montanhoso do Espinhaço tenha-se agora algum conhecimento acerca dos FMA (Goto et al. 2008, Carvalho et al. 2012), nada há dados referentes sobre a ocorrência e espécies de FMA existentes no complexo vegetacional dos campos rupestres ao longo do conspícuo gradiente altitudinal (Fernandes & Price 1991). Pela primeira vez, este trabalho teve como objetivo verificar a composição, riqueza, densidade e frequência relativa de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em solos do complexo rupestre ao longo de um gradiente de altitude na Serra do Cipó, no qual na base está o cerrado e no topo os campos de altitude/rupestre. Neste estudo, testou-se as hipóteses de que as propriedades físicas e químicas do solo variam ao longo do gradiente de altitude e, paralelamente, composição, riqueza, frequência e densidade de FMA. Apesar do declínio nos padrões de distribuição e riqueza de espécies ao longo de gradientes altitudinais (Pianka 1966, Fernandes & Price 1988, 1991, Begon et al. 1991), a hipótese prediz que a riqueza e a densidade de FMA sejam maiores em altitudes onde as condições nutricionais dos solos sejam deficientes em fósforo principalmente (Zangaro et al. 2002), já que esses simbiontes obrigatórios poderiam ser decisivos para a melhoria ou manutenção das plantas nessas condições (Caldeira et al. 1999, Miranda 2008). Desta forma, acredita-se que a maior riqueza de FMA seja em altitudes intermediárias do gradiente altitudinal da Serra do Cipó, onde os solos são pobres (Ribeiro & Fernandes 2000, Negreiros et al. 2009, 2011) e onde há maior riqueza vegetal no complexo rupestre.

## **Materiais e métodos**

O estudo foi conduzido na Serra do Cipó, Minas Gerais, entre as latitudes 19°10' e 19°20'S e longitude de 43°40' W. O clima da região é do tipo Cwb (clima mesotérmico com verões brandos e estação chuvosa no verão) na classificação de Köppen, com temperaturas médias entre 17,4° e 19,8° C (Galvão & Nimer 1965). A precipitação anual da região gira em torno de 1500 mm, com inverno seco

de três a quatro meses, e período úmido de sete a oito meses (Madeira & Fernandes 1999). Seus solos são normalmente rasos, arenosos, secos e com pouca retenção de água (Giulietti et al. 1987, Ribeiro & Fernandes 2000, Negreiros et al. 2011).

Para avaliar a composição de fungos micorrízicos arbusculares no solo ao longo do gradiente altitudinal, foram instalados sete transectos entre as altitudes de 800 e 1500 m, distantes geograficamente em pelo menos três quilômetros (Fig. 1; Tabela 1). Em cada transecto, treze parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) foram definidas, totalizando 91 parcelas (0,91 ha). Em fevereiro e março de 2011, cinco amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0-0,2 m de profundidade) por parcela em cada altitude, para análise dos solos. Estas amostras foram combinadas e homogêneas para compor uma amostra mista de cada parcela (total n= 91).



**Fig. 1** Localização das áreas ao longo do gradiente de altitude das no complexo rupestre na Serra do Cipó, Minas Gerais. Fonte: Base Cartográfica IBGE (2005), IGAM (2002). O primeiro quadro à direita acima localiza a Serra do Cipó na Cadeia do Espinhaço. O segundo quadro à direita abaixo representa as sete altitudes localizadas entre os municípios Santana do Riacho, Morro do Pilar e Jabuticabras.

**Tabela 1** Posição geográfica e habitat das sete altitudes analisadas ao longo do gradiente de altitude na Serra do Cipó, Minas Gerais



Altitude (m)	Coordenadas		Habitat
	S	W	
800	19°21'36,2"	43°36'25,2"	Cerrado
900	19°16'17,8"	43°36'18,1"	Cerrado e Afloramento rochoso
1000	19°15'50,6"	43°35'10,3"	Cerrado e Afloramento rochoso
1100	19°13'56,5"	43°34'34,8"	Cerrado e Afloramento rochoso
1200	19°17'43,0"	43°33'17,4"	Cerrado, Afloramento rochoso e Campo rupestre
1300	19°17'49,6"	43°35'28,2"	Afloramento e Campo rupestre
1400	19°16'59,3"	43°32'08,9"	Campo rupestre

As amostras de solos, acondicionadas em sacos plásticos, foram divididas em duas partes, sendo uma parte usada para analisar as propriedades físico-químicas do solo, enquanto a outra foi armazenada para avaliar a riqueza e a densidade de glomerosporos de FMA. As análises químicas e físicas do solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos, do Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, segundo os procedimentos da Embrapa (1997). As amostras de solos foram secas em temperatura ambiente e peneiradas a 2,0 mm para as análises texturais e químicas (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB – soma de bases, T – capacidade de troca catiônica, t – capacidade de troca catiônica efetiva, V – saturação por bases, MO – matéria orgânica, Prem – fósforo remanescente, m – saturação de alumínio). O pH em água foi determinado potenciométricamente na suspensão solo-solução 1:2,5, com tempo de contato mínimo de 1 hora e agitação da suspensão antes da leitura; cálcio e magnésio trocáveis foram extraídos com KCl 1 molL<sup>-1</sup>, na proporção 1:20, e dosados por absorção atômica; potássio foi extraído com HCl 0,05 molL<sup>-1</sup>, na proporção 1:10, e dosado por fotometria de chama; alumínio trocável foi extraído com KCl 1 molL<sup>-1</sup>, na proporção 1:20, e determinado por titulação com NaOH 0,025 molL<sup>-1</sup>; acidez extraível (H + Al), extraída com solução de acetato de cálcio ajustada a pH 7,0, na proporção 1:15, e determinada por titulação com NaOH 0,0606 molL<sup>-1</sup>; fósforo disponível foi extraído com solução de HCl 0,05 molL<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 molL<sup>-1</sup> (Mehlich<sup>-1</sup>) e determinado por colorimetria na presença de ácido ascórbico (Embrapa 1997). A matéria orgânica foi determinada pelo método de Walkley-Black (Walkley & Black 1934), onde a matéria orgânica é oxidada com solução de dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 1 mol L<sup>-1</sup> em presença de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado. O excesso de dicromato é titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal (FeSO<sub>4</sub>[NH<sub>4</sub>]<sub>2</sub>) 0,4 molL<sup>-1</sup>.

A textura do solo foi caracterizada por uma separação de classes de tamanho de partículas, usando o método da pipeta, como descrito pela Embrapa (1997). Esse método baseia-se na dispersão da amostra com solução de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, separação da fração areia por tamisamento em úmido e da

argila pela velocidade de sedimentação. O silte foi determinado pela diferença das massas de areia e argila do total (dag/Kg).

A avaliação da riqueza e da densidade de glomerosporos foi conduzida no Laboratório de Microbiologia Ambiental, da Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, Minas Gerais. Os glomerosporos de FMA foram extraídos do solo pela técnica de peneiragem úmida a partir de 50 ml de solo (Gerdemann & Nicolson 1963), utilizando peneiras de 425 e 53  $\mu\text{m}$ , seguida de centrifugação em gradiente de sacarose (50%) (Jenkins 1964). Os glomerosporos foram contados sob microscópio estereoscópico com aumento de 40x para determinar a densidade total de FMA e a densidade de glomerosporos por 50 mL de solo coletado. Posteriormente, os glomerosporos foram separados por morfoespécies, de acordo com as semelhanças morfológicas (cor e tamanho), em placas de Petri e transferidos para lâminas (previamente identificadas) com PVLG (álcool polivinílico-lactoglicerol) e PVLG + Melzer 01:01 (vol / vol) (Morton et al. 1993). A reação de cor ao reagente de Melzer foi utilizada para caracterizar as paredes dos esporos.

A identificação das espécies de FMA foi feita a nível de espécie com observações de caracteres morfológicos, através de um microscópio óptico (100x a 400x), utilizando-se literatura especializada. Após a identificação, foi determinada a riqueza de espécies de FMA, avaliada pelo número de espécies presentes em 50 mL de solo e o número total de espécies de FMA. A frequência de cada espécie ( $F_i$ ) foi calculada em cada área, de acordo com a equação  $F_i = J_i/K$ , em que  $F_i$  é a frequência da espécie  $i$ ;  $J_i$  é o número de amostras nos quais a espécie  $i$  ocorreu e  $K$  é o número total de amostras de solo (Brower et al. 1990).

Para avaliar a eficiência da amostragem foi construída a curva de acumulação de espécies para cada área, obtida após 1000 aleatorizações na ordem de amostragem, e o estimador não paramétrico de riqueza Jackknife foi computado pelo programa EstimateS 8.20 (Cowell 2006).

Uma vez que os dados não apresentaram distribuição normal, para verificar se existe correlação entre altitude e densidade de glomerosporos de FMA e número de espécies de FMA, foi realizado teste através de um modelo linear generalizado (GLM), assumindo distribuição de erros do tipo Poisson (Crawley 2002), cuja variável explicativa foi altitude. As propriedades químicas e físicas do solo ao longo do gradiente de altitude foram correlacionadas através da análise de regressão linear, sendo as altitudes a variável independente. As análises foram processadas no software STATISTICA, versão 7.0. Foi utilizado para todos os testes o nível de significância de 0,05.

As relações entre as propriedades dos solos e distribuição das espécies nas áreas foram avaliadas por análise de correspondência canônica (CCA). Para testar a probabilidade de acerto das relações encontradas entre as matrizes, empregou-se o teste de permutação de "Monte Carlo", utilizando-se o Programa PC-Ord for Windows versão 5.0 (McCune & Mefford 1997). Os dados foram

organizados em duas matrizes: a de espécies e variáveis ambientais (características do solo). Dentro deste conjunto de variáveis foram ainda eliminadas todas aquelas que apresentaram baixa correlação com os eixos da ordenação ( $< 0,05$ ).

Para testar se a composição de espécies de FMA varia entre as altitudes, foram utilizadas análises multivariadas. Primeiramente construiu-se um mapa de ordenação em duas dimensões através de NMDS (Non-metric multidimensional scaling). Para verificar possíveis similaridades na composição de espécies de FMA entre as altitudes foi aplicado o teste ANOSIM (Analysis of Similarity). A ordenação foi feita utilizando-se dados de presença e ausência, empregando o índice de similaridade Raup-Crick. Os valores obtidos foram colocados na matriz de similaridade, para posterior aplicação de Análise de Cluster, com agrupamento em pares, utilizando o índice de Sørensen. As análises foram realizadas no software Past (Hammer et al. 2001).

## **Resultados**

Todas as propriedades químicas e a textura dos solos variaram significativamente ao longo do gradiente de altitude estudado ( $p < 0,05$ , Tabela 2). Os solos amostrados são ácidos (4,7 a 5,2 pH/H<sub>2</sub>O) e deficientes em todos os macronutrientes analisados. Solos de altitudes mais altas, 1400 m e 1300 m apresentaram acidez mais elevada (4,7) que os solos das altitudes de 1200 m (4,9), de 1100 m (5,0), de 1000m (5,2), de 900 m (5,0) e de 800 m (5,1). As médias dos teores de matéria orgânica do solo encontradas foram baixas (3,51 a 6,90 dag/Kg), sendo o maior valor encontrado nas altitudes de 1400 m e 1200 m (6,90 dag/Kg) e o menor valor na altitude mais baixa, 800 m (3,51 dag/Kg). A média do teor de magnésio foi de 0,11 cmol/dm<sup>3</sup>, sendo o maior valor encontrado na maior altitude de 1400 m (0,17 cmol/dm<sup>3</sup>) e menor nas altitudes 900 m, 1000 m, 1200 m e 1300 m (0,10 cmol/dm<sup>3</sup>). O cálcio encontrado também foi maior na altitude mais alta, 1400 m (0,29 cmol/dm<sup>3</sup>) e menor nas altitudes 900 m, 1000 m e 1300 m (0,20 cmol/dm<sup>3</sup>).

Na altitude mais baixa, 800 m, foi encontrada maior quantidade de fósforo (2,92 mg/Kg), de potássio (49,45 mg/Kg), de soma de bases (0,53 cmol/dm<sup>3</sup>) e de saturação de bases (22%). Ao mesmo tempo, nesta altitude encontraram-se solos com baixa acidez potencial (1,95%). Na altitude intermediária de 1100 m, foi relatada menor saturação de bases juntamente com a altitude de 1200 m (7%), no entanto, esta última também apresentou menor valor de fósforo remanescente (24,86 mg/L) e maior valor de saturação de alumínio (84%) e de capacidade de troca catiônica (6,29 cmol/dm<sup>3</sup>). Na altitude de 1300 m, foi encontrado maior valor de fósforo remanescente (39,04 mg/L) e menor quantidade de potássio (15,26 mg/Kg), de saturação de alumínio (1,29 cmol/dm<sup>3</sup>), de soma de bases (0,34 cmol/dm<sup>3</sup>), de capacidade de troca catiônica efetiva (1,63 cmol/dm<sup>3</sup>) e de capacidade de troca catiônica em pH a 7 (2,38 cmol/dm<sup>3</sup>). Na altitude mais elevada, 1400 m, foi reportado maior valor de

saturação de alumínio ( $2,66 \text{ cmol/dm}^3$ ), de acidez potencial ( $5,90 \text{ cmol/dm}^3$ ) e de capacidade de troca catiônica efetiva ( $3,18 \text{ cmol/dm}^3$ ).

Quanto à textura, o solo foi predominantemente arenoso ao longo do gradiente, sendo encontrada maior quantidade de areia fina na altitude intermediária de 1100 m ( $81,12 \text{ dag/Kg}$ ), seguida das altitudes de 1400 m ( $78,49 \text{ dag/Kg}$ ), 1200 m ( $75,66 \text{ dag/kg}$ ), 1300 m ( $73,69 \text{ dag/Kg}$ ), 900 m ( $72,59 \text{ dag/Kg}$ ), 1000 m ( $67,12 \text{ dag/Kg}$ ) e, em menor quantidade, na menor altitude, 800 m ( $62,77 \text{ dag/Kg}$ ) (Tabela 2). A areia grossa foi maior na altitude de 1300 m ( $18,14 \text{ dag/Kg}$ ) e menor na altitude de 900 m ( $4,18 \text{ dag/Kg}$ ). Enquanto que o silte e a argila foram encontrados em maior quantidade na altitude de 900 m ( $12,46$  e  $10,77 \text{ dag/Kg}$ , respectivamente) e em menor quantidade na altitude de 1300 m ( $5,00$  e  $3,17 \text{ dag/Kg}$ , respectivamente). Os valores de pH, K, Al, H+Al, t, m, T, V, matéria orgânica, areia fina, silte e argila tiveram uma relação positiva com o aumento da altitude ao longo do gradiente (Tabela 2).

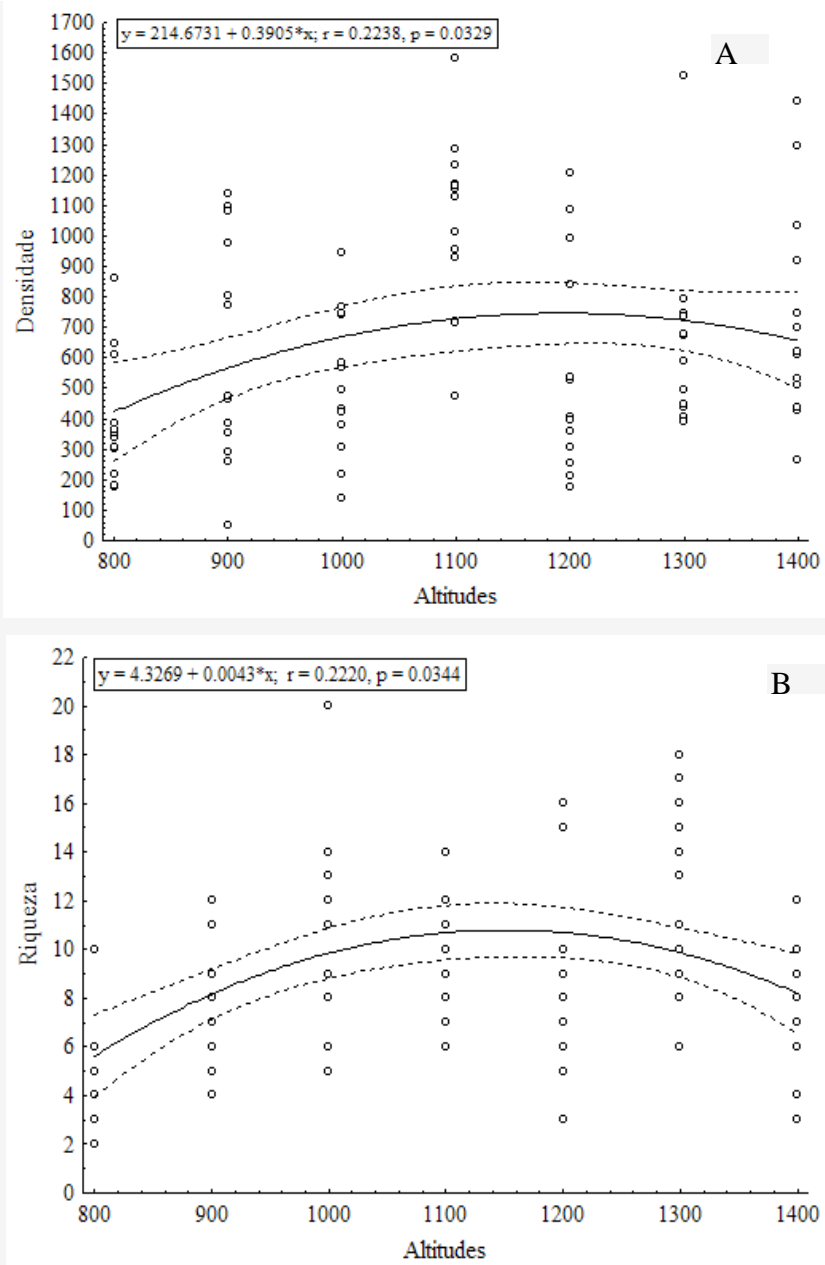
A densidade de glomerosporos variou de 5.095 a 13.510, com total de 58.621 glomerosporos. A maior média de glomerosporos foi de 1.039 glomerosporos/50ml na altitude de 1100 m ( $20,8 \text{ glomerosporos.ml}^{-1}$ ) e a menor de 391 glomerosporos/50ml ( $7,7 \text{ glomerosporos.ml}^{-1}$ ) de solo na menor altitude, 800 m. O número de glomerosporos demonstrou haver relação positiva com aumento da altitude ( $r=0,22$ ,  $p=0,03$ ,  $y=214,6731+0,3905x$ , Fig 2A). No entanto, observou-se maior densidade de glomerosporos nas altitudes intermediárias, 1100 e 1200 m.

Foram encontradas um total de 53 espécies de FMA (Tabela 4), pertencentes a 17 gêneros e 11 famílias (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Dentiscutataceae, Diversisporaceae, Entrophosporaceae, Gigasporaceae, Glomeraceae, Pacisporaceae, Paraglomeraceae, Racocetraceae e Scutellosporaceae). Deste total, 34 espécies ocorreram na altitude intermediária de 1200 m ( $2,61 \text{ espécies/50 mL de solo}$ ), 33 espécies ocorreram na altitude intermediária de 1100 m ( $2,53 \text{ espécies/50 mL de solo}$ ), 32 nas altitudes de 1000 m e 1300 m ( $2,46 \text{ espécies/50 mL de solo}$ ), 28 em 1400 m ( $2,15 \text{ espécies/50 mL de solo}$ ), 25 em 900 m ( $1,92 \text{ espécies/50 mL de solo}$ ) e 24 em 800 m ( $1,85 \text{ espécies/50 mL de solo}$ ). A riqueza de FMA obteve relação positiva em função da altitude ( $r=0,22$ ,  $p=0,03$ ,  $y=4,3269+0,0043x$ , Fig 2B), entretanto, também foi observado maior número de espécies nas altitudes intermediárias, 1100 e 1200 m.

**Tabela 2** Comparação das propriedades do solo ao longo do gradiente de altitude do complexo rupestre da Serra do Cipó, Minas Gerais. pH em água (pH), teores de potássio (K), fósforo (P-Mehlich), fósforo remanescente (P-rem), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H+Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V), capacidade de troca catiônica efetiva (t), saturação por alumínio (m), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), matéria orgânica (MO), e

proporções de areia grossa (2 a 0,2 mm), areia fina (0,2 a 0,05 mm), silte (0,05 a 0,02mm) e argila (< 0,02mm), R= análise de regressão

Variáveis edáficas	Altitudes (m)							Regressão	
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	R <sup>2</sup>	p
pH em H <sub>2</sub> O	5.15	5.05	5.19	4.99	4.81	4.74	4.7	0,207	<0.05
P - Mehlich (mg.kg <sup>-1</sup> )	2.92	1.16	1.16	1.15	2.71	1.07	2.38	0,000	>0.05
P rem (mg.L <sup>-1</sup> )	32.60	30.30	32.81	29.14	24.86	39.04	33.90	0,006	>0.05
K <sup>+</sup> (mg.kg <sup>-1</sup> )	49.45	31.66	30.08	33.06	41.15	15.26	25.06	0,142	<0.05
Ca <sup>++</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.25	0.20	0.20	0.21	0.22	0.20	0.29	0,004	>0.05
Mg <sup>++</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.15	0.1	0.1	0.11	0.1	0.1	0.17	0,004	>0.05
Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1.43	1.69	1.62	1.87	2.47	1.29	2.66	0,130	<0.05
H + Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1.95	5.09	2.47	5.87	5.87	2.04	5.90	0,107	<0.05
SB (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.53	0.38	0.38	0.40	0.42	0.34	0.52	0,003	>0.05
t (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1.97	2.07	2.00	2.27	2.90	1.63	3.18	0,112	<0.05
m (%)	72.65	78.67	74.41	82.01	84.04	78.09	82.81	0,156	<0.05
T (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2.49	5.47	2.85	6.27	6.29	2.38	6.41	0,103	<0.05
MO (dag.kg <sup>-1</sup> )	3.51	5.04	3.57	5.59	6.90	3.56	6.90	0,163	<0.05
Areia grossa (dag.kg <sup>-1</sup> )	17.85	4.18	17.65	4.88	12.80	18.14	9.35	0,0003	>0.05
Areia fina (dag.kg <sup>-1</sup> )	62.77	72.59	67.12	81.13	75.66	73.69	78.49	0,357	<0.05
Silte (dag.kg <sup>-1</sup> )	11.52	12.46	8.15	5.54	6.00	5.00	7.85	0,264	<0.05
Argila (dag.kg <sup>-1</sup> )	7.85	10.78	7.08	8.46	5.54	3.17	4.31	0,368	<0.05



**Fig. 2** Relação da distribuição da densidade de glomerosporos (A) e do número de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (B) ao longo do gradiente de altitude do complexo rupestre da Serra do Cipó, Minas Gerais.

**Tabela 4** Espécies de fungos micorrízicos arbusculares ao longo do gradiente de altitude no complexo rupestre na Serra do Cipó, Minas Gerais

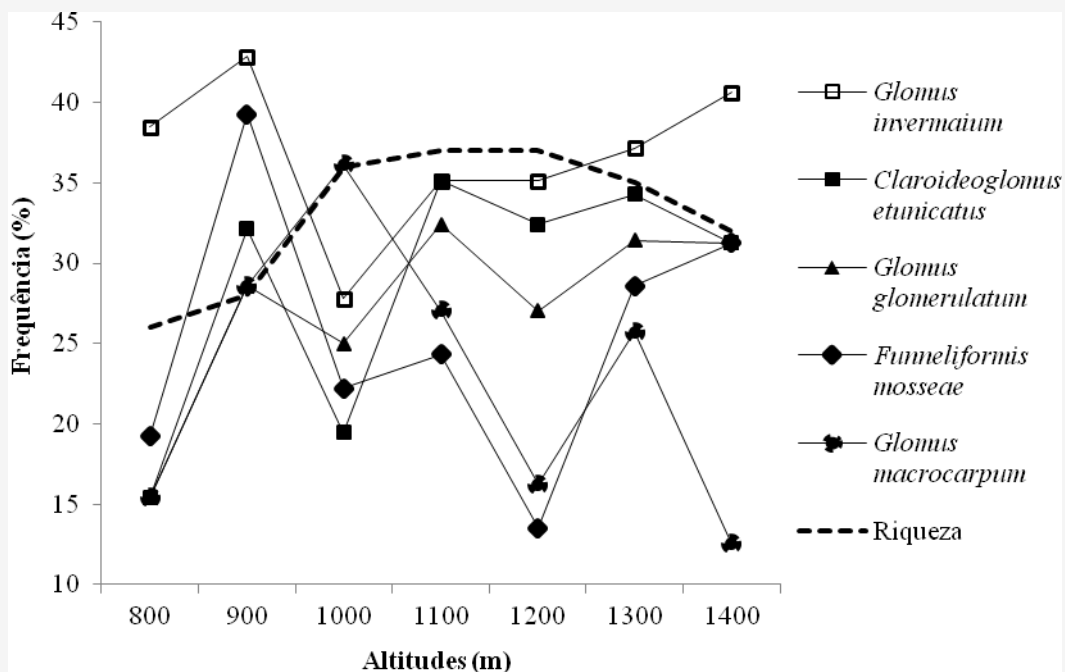
Abrev.	Família/Espécies	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
<b>ACAULOSPORACEAE</b>								
Acbir	<i>Acaulospora bireticulata</i>	x	x	x	x	x	x	x
Accav	<i>A. cavernata</i>						x	x
Accol	<i>A. colossica</i>	x		x		x		
Acdel	<i>A. delicata</i>	x		x			x	
Acden	<i>A. denticulata</i>	x	x	x	x	x	x	x
Ackos	<i>A. koskei</i>	x	x	x	x		x	x
Acmel	<i>A. mellea</i>			x	x	x	x	
Acmor	<i>A. morrowiae</i>	x	x	x	x	x	x	x
Acaff	<i>A.aff. rehmii</i>	x	x	x		x	x	
Acrug	<i>A. rugosa</i>			x				
Acsr	<i>A. scrobiculata</i>		x	x			x	x
Acspi	<i>A. spinosa</i>	x		x	x	x	x	
Acsp.1	<i>A. sp. 1</i>		x	x	x	x	x	x
Acsp.2	<i>A. sp. 2</i>			x	x	x		
Acsp.3	<i>A. sp. 3</i>							x
<b>AMBISPORACEAE</b>								
Amapp	<i>Ambispora appendicula</i>	x	x	x	x	x	x	x
Acbra	<i>A. brasiliensis</i>	x	x	x	x	x	x	x
Apcal	<i>A. callosa</i>		x	x	x	x	x	x
<b>DENTISPUTATAACEAE</b>								
Debio	<i>Dentisputata biornata</i>	x	x	x	x	x	x	
Fuhet	<i>Fuscutata heterogama</i>	x						
Furub	<i>F. rubra</i>	x		x	x	x		
<b>DIVERSISPORACEAE</b>								
Diins	<i>Diversispora insculpta</i>	x	x	x	x	x	x	
<b>ENTROPHOSPORACEAE</b>								
Cletu	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	x	x	x	x	x	x	x
Cllam	<i>Claroideoglopus lamellosum</i>				x	x	x	
<b>GIGASPORACEAE</b>								
Gidec	<i>Gigaspora decipiens</i>	x	x	x	x	x	x	
Gigig	<i>G. gigantea</i>							x
Gimar	<i>G. margarita</i>			x	x		x	x
<b>GLOMERACEAE</b>								
Fugeo	<i>Funneliformis geosporum</i>	x	x	x	x	x	x	x
Fumos	<i>F. mosseae</i>	x	x	x	x	x	x	x
Flmul	<i>F. multiforus</i>				x		x	

Glglo	<i>Glomus glomerulatum</i>	x	x	x	x	x	x	x	
Glain	<i>G. invermaium</i>	x	x	x	x	x	x	x	
Glmac	<i>G. macrocarpum</i>	x	x	x	x	x	x	x	
Glmic	<i>G. microaggregatum</i>	x	x	x					
Glmicr	<i>G. microcarpum</i>	x	x	x	x		x	x	
Glsp.1	<i>G. sp. 1</i>							x	
Glsp.2	<i>G. sp. 2</i>					x		x	
Glsp.3	<i>G. sp. 3</i>					x			
Glsp.4	<i>G. sp. 4</i>	x	x		x	x	x		
Glsp.5	<i>G. sp. 5</i>				x			x	
Glsp.6	<i>G. sp. 6</i>		x		x	x			
Rhcla	<i>Rhizophagus clarus</i>		x	x	x	x	x	x	
Rhdia	<i>R. diaphanus</i>		x	x	x	x	x		
Rhfas	<i>R. fasciculatus</i>				x	x	x		
Scaff	<i>Sclerocystis aff. rubiforme</i>				x	x		x	
Secon	<i>Septoglomus constrictum</i>				x	x	x	x	
<b>PACISPORACEAE</b>									
Parob	<i>Pacispora robigina</i>			x					
<b>PARAGLOMERACEAE</b>									
Paocc	<i>Paraglomus occultum</i>	x	x	x	x	x	x		
<b>RACOCETRACEAE</b>									
Raful	<i>Racocetra fulgida</i>		x	x	x		x	x	
<b>SCUTELLOSPORACEAE</b>									
Orper	<i>Orbispora pernambucana</i>					x		x	
Sscal	<i>Scutellospora calospora</i>		x	x	x	x	x		
Sedis	<i>S. dispurpurescens</i>			x		x			
Sesp.	<i>S. sp.</i>	x		x					

Entre as espécies encontradas, as mais comuns (11) em ordem de frequência foram: *Glomus invermaium* (84%), *Claroideoglomus etunicatus* (68%), *Glomus glomerulatum* (66%), *Funneliformis mosseae* (57%), *Glomus macrocarpum* (55%), *Funneliformis geosporum* (42%), *Ambispora brasiliensis* (32%), *Acaulospora morrowiae* (28%), *Acaulospora denticulata* (24%), *Acaulospora bireticulata* (14%), *Ambispora appendicula* (13%) e presentes em todas as altitudes. Foram encontradas sete espécies exclusivas, sendo uma na altitude de 800 m, *Fuscutata heterogama*, duas espécie na altitude de 1000 m, *Acaulospora rugosa* e *Pacispora robigina*, uma espécie na altitude de 1200 m, *Glomus sp. 3* e três espécies na altitude mais alta, 1400 m, *Acaulospora sp. 3*, *Gigaspora gigantea*, *Glomus sp. 1*. O maior número de espécies identificadas em todas as altitudes amostradas pertenceu ao gênero *Acaulospora* (15 espécies), seguido pelo gênero *Glomus* (11 espécies). Os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* foram encontrados em todas as altitudes.

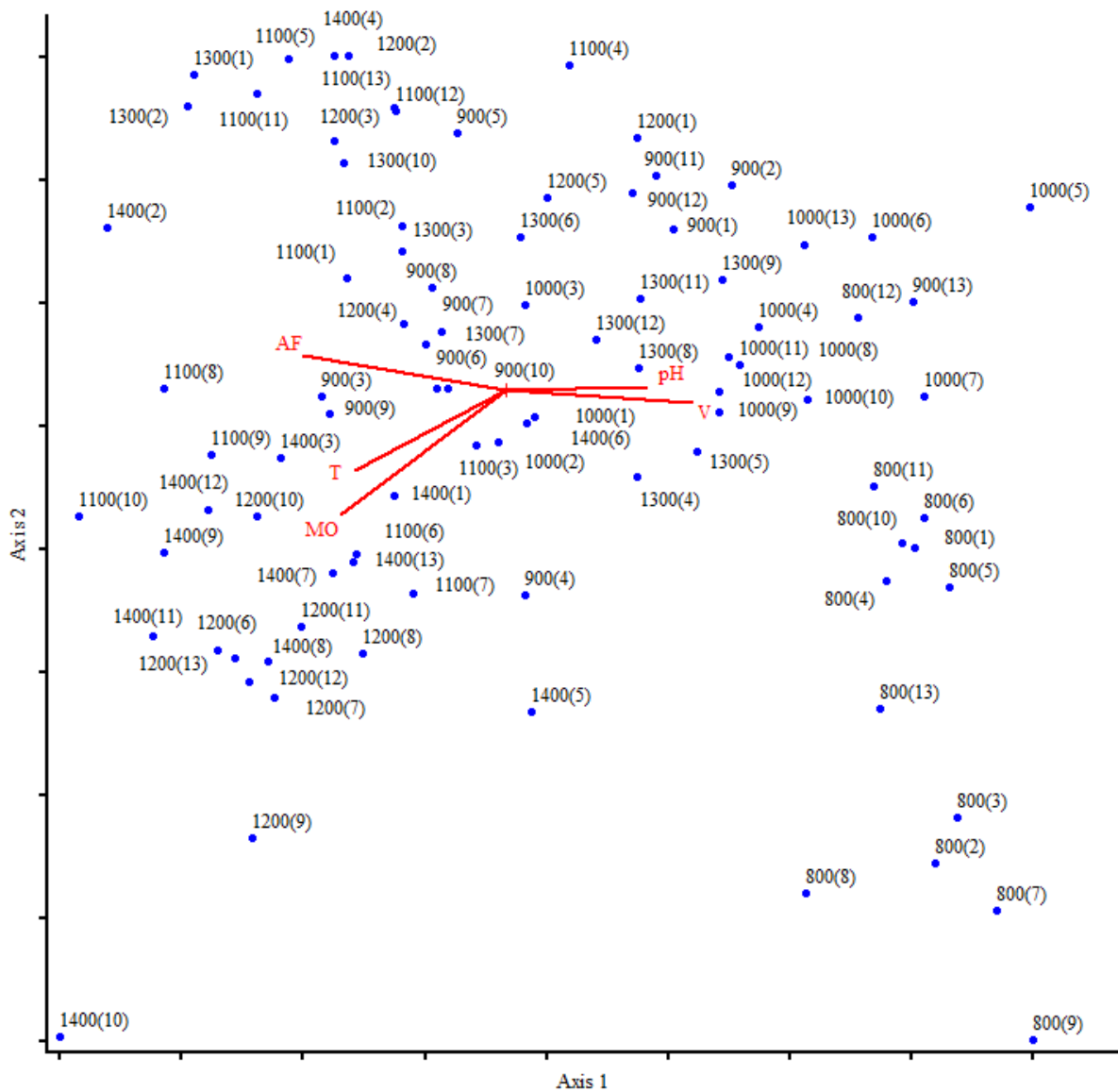


Entre as espécies mais frequentes e comuns de todas as altitudes, *G. invermaium* foi a espécie com maior frequência nas altitudes de 800 m, 900 m, 1200 m, 1300 m e 1400 m. A frequência de *G. invermaium*, juntamente com *F. mosseae*, diminuiu com o aumento do número de espécies de FMA. *C. etunicatum* obteve maior frequência na altitude de 1100 m, e *G. macrocarpum* ocorreu com maior frequência na altitude de 1000 m; no entanto, o aumento do número de espécies não afetou as frequências dessas duas espécies, o mesmo ocorreu para *G. glomerulatum* (Fig. 3).



**Fig. 3** Frequência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares mais comuns em relação ao número de espécies amostradas ao longo do gradiente de altitude do complexo rupestre da Serra do Cipó, Minas Gerais. A riqueza representa o número de espécies em cada altitude amostrada.

As diferentes altitudes foram claramente segregadas na análise CCA (Fig. 4). Os autovalores (*eigenvalues*) dos dois primeiros Eixos do diagrama da CCA foram 0,148 (eixo1) e 0,082 (eixo 2), explicando 2,6% e 4,1%, respectivamente, da variância total dos dados. Os dois autovalores foram baixos para os dois eixos, o que significa que os gradientes são curtos, ou seja, com baixa substituição (*turnover*) de espécies no gradiente altitudinal. Por outro lado, as correlações espécie-ambiente foram altas em ambos os eixos: 0,759 (eixo 1) e 0,713 no (eixo 2). Além disso, o teste de Monte Carlo mostrou que a presença das espécies foi significativamente correlacionada com os atributos do solo ( $p < 0,05$ ).



**Fig. 4** Diagrama de ordenação (ACC) das altitudes (m) em relação às variáveis do solo (pH= pH/H<sub>2</sub>O; V= saturação de bases; AF= areia fina, T= capacidade de troca catiônica, pH=7; MO= matéria orgânica). Os números entre parênteses indicam os números das parcelas em cada altitude.

As correlações internas entre as variáveis edáficas e os dois primeiros eixos de ordenação mostraram que as variáveis pH e saturação de bases correlacionaram positivamente ao Eixo 1 enquanto a capacidade de troca catiônica e matéria orgânica foram negativas. Já no Eixo 2 observou-se correlação positiva com a areia fina (Tabela 5). Portanto, essas variáveis foram as que mais diferiram entre as altitudes.

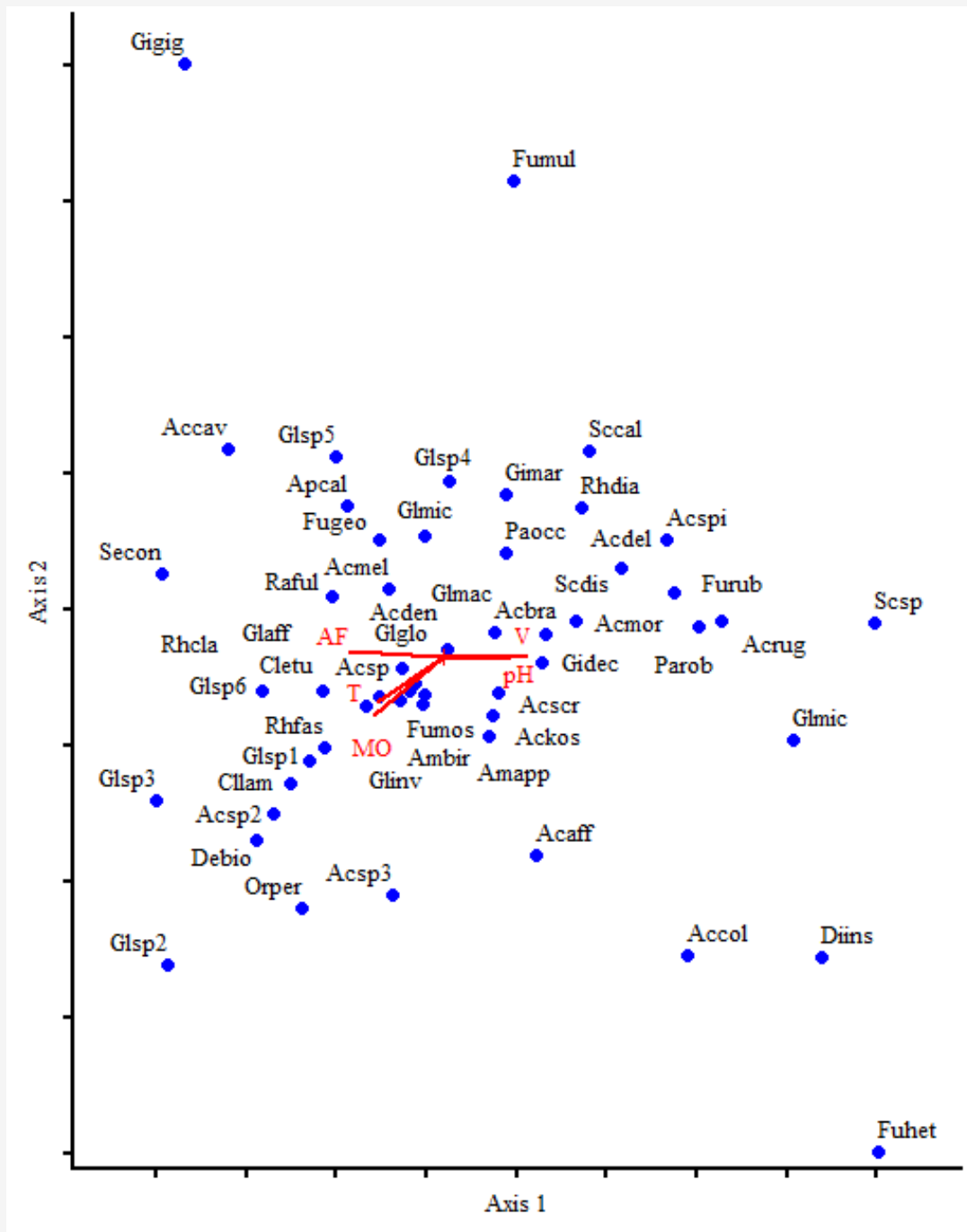
**Tabela 5** Análise de correspondência canônica no complexo rupestre da Serra do Cipó, MG. Os valores representam as correlações internas (*intraset*) entre as variáveis ambientais e os dois primeiros eixos de ordenação e a matriz de correlações ponderadas entre as variáveis ambientais. pH em água (pH), saturação por base (V), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), matéria orgânica (MO) e areia fina (AF)

Variáveis ambientais	Correlações internas		Variáveis ambientais				
	Eixo 1	Eixo 2	pH	V	T	MO	AF
pH	0,437	0,008					
V	0,584	-0,042	0,393				
T	-0,475	-0,276	-0,382	-0,827			
MO	-0,516	-0,424	-0,351	-0,710	0,850		
AF	-0,637	0,116	0,256	-0,615	0,493	0,411	

Além da separação espacial das altitudes estudadas, houve diferenças na distribuição dos atributos analisados ( $p < 0,05$ ) nos dois eixos. Nota-se que o eixo 1 agregou as altitudes que apresentaram elevados teores de areia fina, 1100 m, 1200 m e 1400 m, sendo a separação com outras altitudes influenciada por essa variável. Ao mesmo tempo, algumas parcelas dessas altitudes são agrupadas por apresentarem elevado teor de matéria orgânica em relação às demais parcelas e outras altitudes. A variável pH influenciou a agregação das altitudes de 800 m, 900 m e 1000 m. O eixo 2 separou a altitude com elevado teor de saturação de bases, 800 m, das demais altitudes. A variável capacidade de troca catiônica agrupou as altitudes de 1100 m, 1200 m e 1400 m, separando-as das outras altitudes. No diagrama de ordenação das parcelas e variáveis ambientais, percebeu-se que a maioria das parcelas encontra-se próximas fisicamente dentro da mesma altitude, demonstrando apresentar características relativamente comuns entre elas. No entanto, algumas parcelas separam-se das outras, influenciadas por essas variáveis edáficas, pH em água (pH), saturação por base (V), capacidade de troca catiônica (T), matéria orgânica (MO) e areia fina (AF).

No primeiro eixo de ordenação, a maioria das espécies da família Glomeraceae destaca-se por apresentar alta correlação com o aumento dos teores de areia fina, como as espécies *Glomus* sp. 6 (Glsp6), *Sclerocystis aff. rubiforme* (Scaff), *Septoglomus constrictum* (Secon) e a areia fina foi negativamente correlacionada com *Glomus microaggregatum* (Glmic), *Acaulospora* sp. (Acsp.), *Acaulospora scrobiculata* (Acscr), *Gigaspora decipiens* (Gidec). A matéria orgânica e T apresentaram alta correlação com as espécies *Dentiscutata biornata* (Debio), *Claroideoglomus lamellosum* (Cllam), *Acaulospora* sp. 2 (Acsp2) e *Glomus* sp. 3 (Glsp3) e correlação negativa com as espécies *Ambispora brasiliensis* (Ambra), *Glomus macrocarpum* (Glmac), *Glomus glomerulatum* (Glglo), *Paraglomus*

*occultum* (Paocc), *Rhizophagus daiphantum* (Rhdia) e *Scutellospora callospora* (Sscal). No segundo eixo, o pH e V tiveram correlação positiva com as espécies *Gigaspora decipiens* (Gidec), *Acaulospora morrowiae* (Acmor), *Acaulospora rugosa* (Acrug), *Scutellospora dispurpurescens* (Scdis) e *Scutellospora* sp. (Scsp) e negativa com as espécies *Claroideoglopus etunicatum* (Cletu), *Sclerocystis aff. rubiforme* (Scaff) e *Rhizophagus clarus* (Rhcla) (Fig. 5).

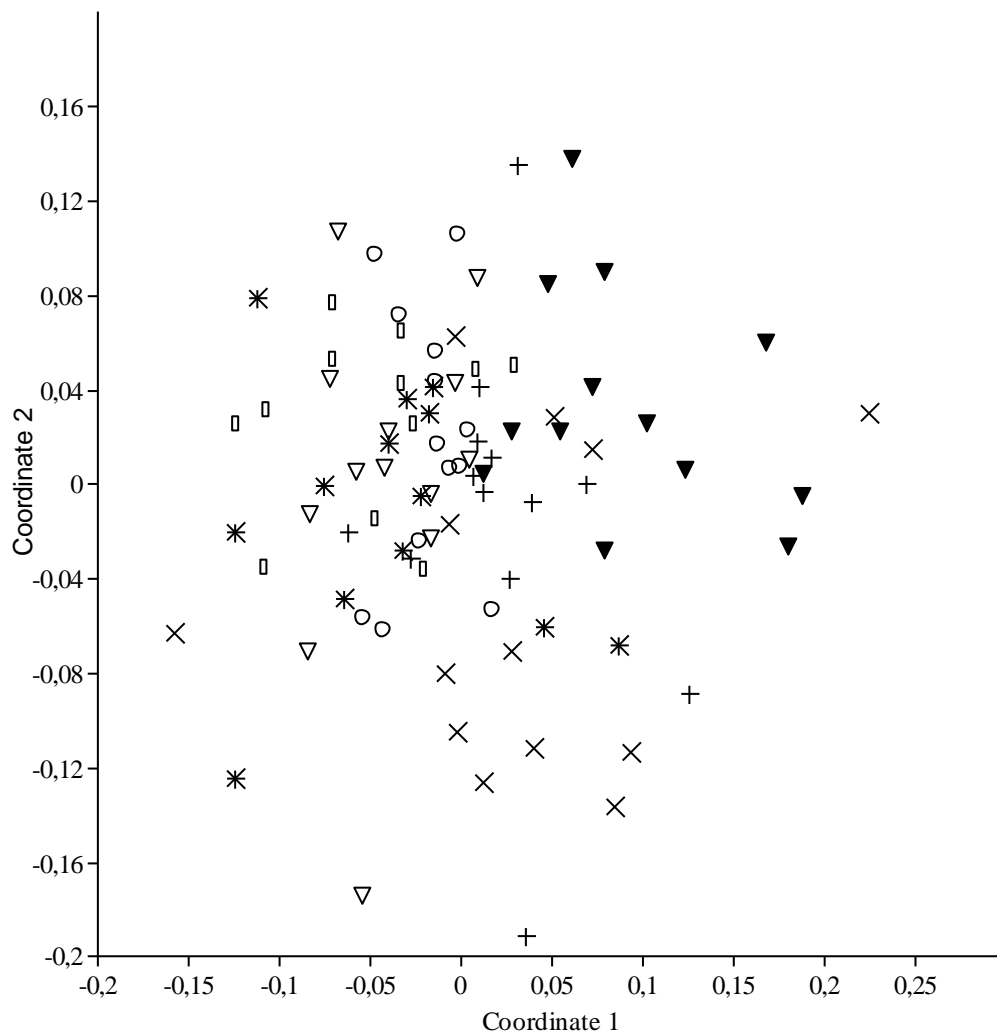


**Fig. 5** Diagrama de ordenação (ACC) das espécies de fungos micorrízicos arbusculares ao longo do gradiente de altitude em relação aos atributos do solo

Na comparação da composição de espécies entre as altitudes, o NMDS mostrou uma resolução com alto grau de ordenação, indicando um nível de similaridade de médio a alto entre as altitudes. Houve diferença na composição de espécies entre as altitudes ( $p < 0,05$ , Tabela 6). Apesar dessa diferença, os dados de frequência das espécies nas amostras (matriz geral de presença-ausência), indicou similaridade na composição de espécies entre algumas altitudes nos eixos da ordenação, com sobreposição entre alguns pontos (Fig. 6). A similaridade na composição foi maior nas áreas contíguas, onde não houve diferença significativa entre elas ( $p > 0,05$ , Tabela 6). A altitude de 800 m apresentou composição de espécies de FMA similar com a altitude de 900 m. Já a altitude de 1200 m, apresentou maior similaridade na composição com as altitudes de 1300 m e 1400 m. No entanto, as altitudes de 1000 m e 1100 m, mostraram comunidades de FMA significativamente diferentes.

**Tabela 6** Resultado da diferença significativa da composição de espécies no escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) ao longo do gradiente de altitude no complexo rupestre da Serra do Cipó, Minas Gerais. ns= diferenças não significativa entre as altitudes estudadas

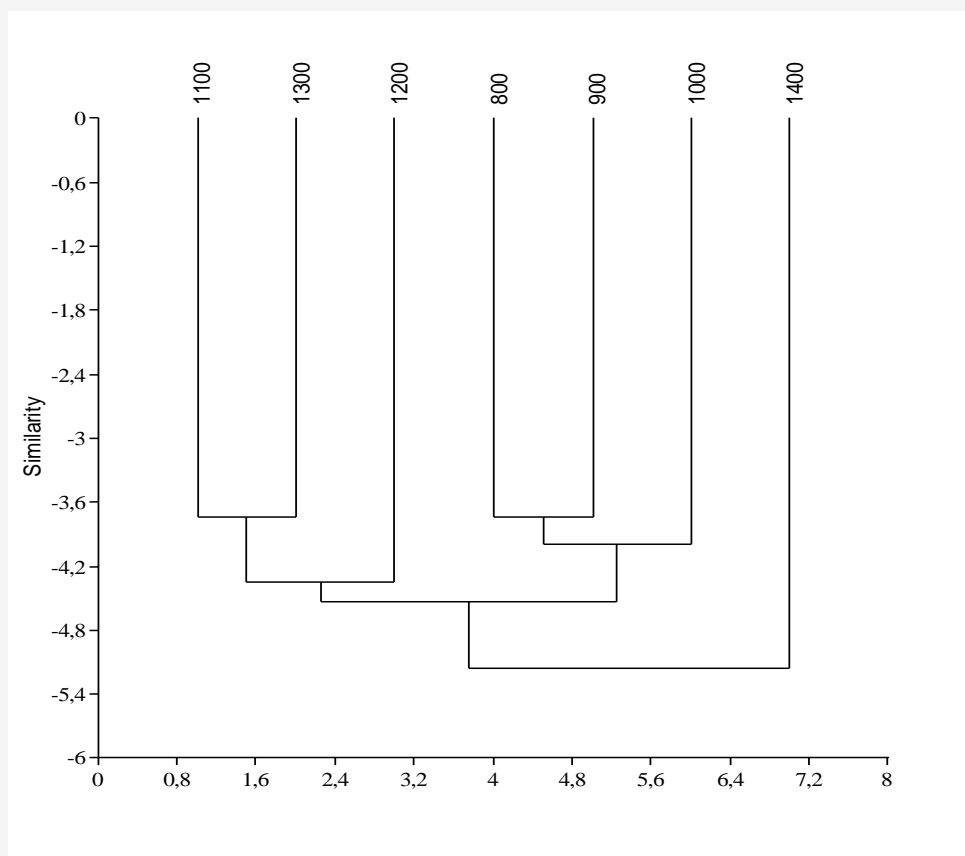
Altitudes (m)	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
<b>800</b>		0,118 <sup>ns</sup>	0,018	0,00001	0,001	0,00001	0,004
<b>900</b>	0,118 <sup>ns</sup>		0,002	0,012	0,001	0,017	0,014
<b>1000</b>	0,018	0,002		0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
<b>1100</b>	0,00001	0,012	0,00001		0,042	0,005	0,031
<b>1200</b>	0,001	0,001	0,00001	0,042		0,141 <sup>ns</sup>	0,358 <sup>ns</sup>
<b>1300</b>	0,00001	0,017	0,00001	0,005	0,141 <sup>ns</sup>		0,159 <sup>ns</sup>
<b>1400</b>	0,004	0,014	0,00001	0,031	0,358 <sup>ns</sup>	0,159 <sup>ns</sup>	



**Fig 6** Projeção dos escores da composição de espécies no escalonamento multidimensional não-métrico (NMS) para 91 amostras de FMA ao longo do gradiente de altitude no complexo rupestre da Serra do Cipó, Minas Gerais (Medida de similaridade de Raup-Crick; *stress* = 0,34). Símbolos: x = 800 m; + = 900 m; ▽ = 1000 m; ° = 1100 m; \* = 1200 m; □ = 1300 m; ◇ = 1400 m

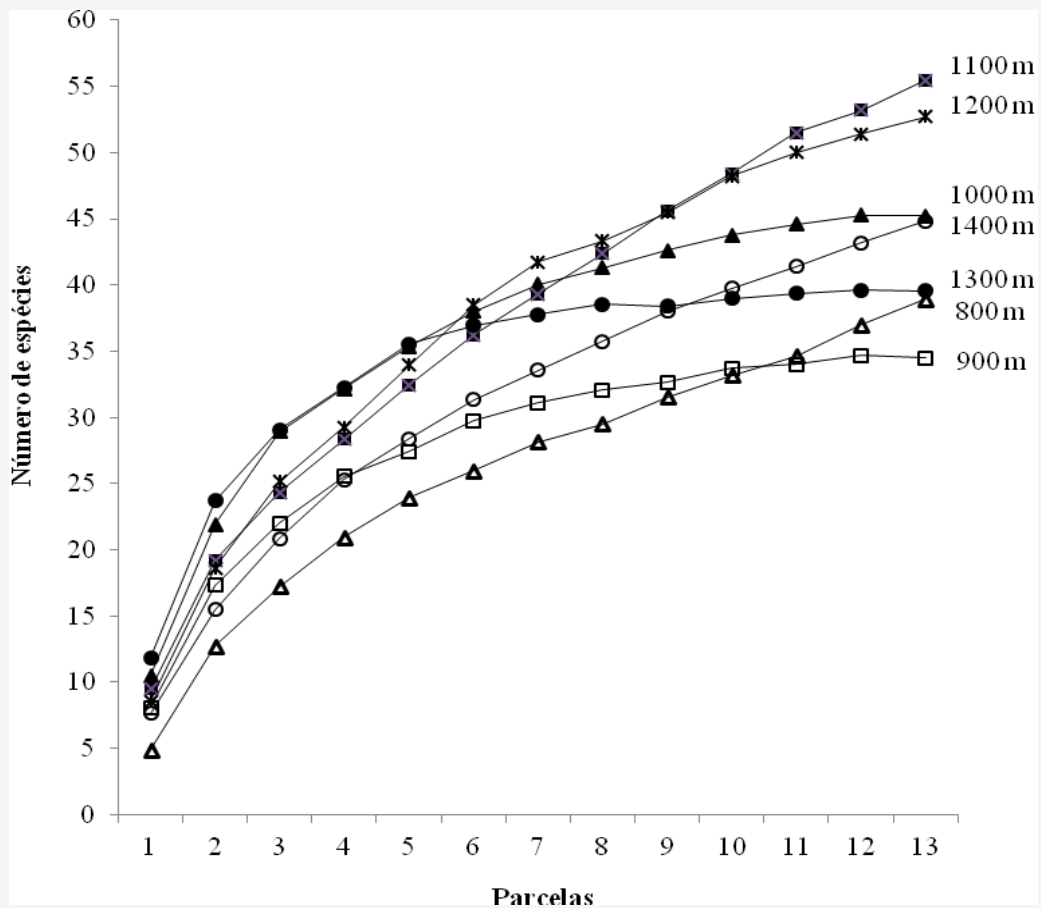
Quanto à similaridade, observa-se a formação de agrupamento das altitudes em dois níveis (Fig. 7). No primeiro nível encontram-se as altitudes de 1100 m, 1300 m, 1000 m, 1200 m, 800 m e 900 m, apresentando semelhança de 68%. No segundo nível, encontra a altitude de 1400 m com uma semelhança de 58% com as altitudes de 900 m, 800 m, 1200 m, 1300 m e 1100 m. De uma forma geral, todas as altitudes apresentaram ligações inferiores a 58%, o que permite dizer que a diferença entre elas é de, no mínimo, 42% na composição de espécies. A análise mostrou que as altitudes de

1100 m e 1300 m são mais similares, ao nível de 81%, ao passo que a altitude de 1400 m é o mais dissimilar.



**Fig. 7** Dendrograma de similaridade de fungos micorrízicos arbusculares ao longo do gradiente de altitude (m) no complexo rupestre da Serra do Cipó, Minas Gerais.

As curvas de acumulação de espécies para cada altitude (Fig. 8) mostram o aumento do número de espécies à medida que novas unidades amostrais são adicionadas. Somente a altitude de 1300 m houve estabilização no número de espécies. Nota-se que, apesar das altitudes de 1100 m e 900 m já apresentarem uma tendência à estabilização, a partir da décima amostra, ainda seria necessário um esforço amostral adicional para atingir a assíntota da curva. Dessa forma, há necessidade de se coletar em mais parcelas para melhor estimar a riqueza de espécies por altitude, uma vez que a estabilização do número de espécies de FMA não foi atingida. Os valores de riqueza estimados para os FMA pelo método de Jackknife demonstraram que as altitudes não representam toda a riqueza de FMA, exceto a altitude de 1300 m, variando de 83,9% a 100% da riqueza total estimada (Tabela 7).



**Fig. 8** Curvas de acumulação de espécies de fungos micorrízicos arbusculares observadas em sete altitudes diferentes através do estimador Jackknife 1

**Tabela 7** Valores de riqueza observados e estimados pelo índice de Jackknife para os FMA ao longo do gradiente de altitude no complexo rupestre da Serra do Cipó. Obs= riqueza observada; Est= riqueza estimada; %Est= porcentagem da riqueza observada em relação à estimada pelo índice de Jackknife

Altitudes (m)	Obs	Est	%Est
800	26	31	83,9
900	28	29	96,6
1000	36	38	94,7
1100	37	44	84,1
1200	37	43	86,0
1300	35	35	100,0
1400	32	36	88,9



## Discussão

As diferentes altitudes apresentaram características edáficas similares a outras áreas de campos rupestres. Na Serra do Cipó, Negreiros et al. (2008), caracterizando a fertilidade dos solos de quatro leguminosas, encontraram alto teor de matéria orgânica variando de 2,8 a 9,4%, alta saturação por  $Al^{3+}$  e acidez. Segundo Dossin et al. (1990), os solos das áreas da Cadeia do Espinhaço apresentam condições edáficas semelhantes a com solos ácidos, deficientes em macronutrientes e com alta saturação por alumínio devido às origens geológicas e geomorfológicas. A baixa disponibilidade de recursos nutricionais e estresses hídricos causados por condições climáticas têm sido frequentemente reportadas nas regiões montanhosas quartzíticas na Serra do Cipó (Fernandes et al. 2011).

A relação da distribuição das variáveis do solo, pH, K, Al, H+Al, t, m, T, V, matéria orgânica, areia fina, silte e argila, ao longo do gradiente de altitude mostrou uma tendência positiva. No entanto, áreas mais altas apresentam solo mais ácido, devido provavelmente à intemperização ocasionada pela alta lixiviação. Em solos ácidos, a capacidade de troca catiônica efetiva é baixa (Tomé Junior 1997), observado a 1400 m. Solos arenosos apresentam baixo teor de matéria orgânica, baixa capacidade de troca catiônica, portanto, alta possibilidade de lixiviação de bases (Ca, Mg e K). Genericamente, pode-se dizer que há uma tendência de ocorrer maiores teores de H+Al em solos mais ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem pH baixo (Tomé Junior 1997), como ocorreu nas maiores altitudes.

A diferença na densidade de glomerosporos entre as altitudes deve-se às propriedades do solo, bem como as diferentes estratégias de sobrevivência dos FMA nestes ecossistemas. A ocorrência de maior densidade de glomerosporos na altitude intermediária, 1100 m, pode estar relacionada à maior quantidade de areia fina e alta saturação de alumínio, levando os FMA a produzirem um elevado número de propágulos. Em solos arenosos, o estabelecimento de FMA é maior devido à menor compactação e maior aeração do solo (Sieverding 1991). Além disso, nas altitudes ecotonais, como as altitudes intermediárias, 1100 m e 1200 m, geralmente ocorre um aumento na densidade de FMA, provavelmente devido à presença de espécies vegetais ecotonais. A menor densidade de glomerosporos na menor altitude, 800 m, um ambiente de cerrado, pode ser em consequência da maior estabilidade do ambiente, que garante a sobrevivência das espécies com baixa esporulação. Além disso, esta menor altitude apresentou maior quantidade de nutrientes como K e P e um aumento de pH que, segundo Abbot & Robson (1991), a disponibilidade desses nutrientes reflete em menor colonização em espécies vegetais e densidade de glomerosporos de FMA nos solos. Dessa forma, as espécies vegetais se beneficiam da simbiose com FMA em situações de baixa fertilidade (Vargas & Hungria 1997, Caldeira et al. 1999, Berbara et al. 2006, Miranda 2008). O número de glomerosporos obtido foi muito maior quando comparado com o valor médio de  $50,04 \text{ glomerosporos} \cdot 100\text{g}^{-1}$  de solo

da Mata Atlântica nativa da Ilha do Cardoso (Trufem 1989) e com o trabalho de Souza et al. (2003), que verificaram a diversidade de fungos micorrízicos em área de caatinga, com uma densidade de glomerosporos muito menor, variando de 0,34 a 8,6 glomerosporos.g<sup>-1</sup> de solo. Comparando a densidade de glomerosporos deste estudo com as áreas de campos rupestres avaliadas por Carvalho et al. (2012) na Serra do Cipó (9 a 20 glomerosporos/50g), verificou-se que este trabalho reportou densidade de glomerosporos superior.

O maior número de espécies de FMA encontrada nas altitudes intermediárias neste estudo não corroborou com outros trabalhos. Lugo et al. (2008) avaliando a riqueza de FMA ao longo do gradiente de altitude na região de Puna na Argentina, encontraram maior valor de riqueza de FMA em menor altitude. Isto se deve provavelmente à diferença de altitude entre as áreas, uma vez que Lugo et al. (2008) avaliaram entre as altitudes 3320 m e 3870 m, onde a distribuição de riqueza de FMA foi afetada principalmente pela temperatura. Shmidt et al. (2008), também encontraram menor diversidade de espécies de FMA, avaliando a ocorrência de FMA em altitudes acima de 4270 m. Provavelmente existem restrições altitudinais para a distribuição dos FMA, embora esta possa também estar sendo influenciada pela vegetação (Wu et al. 2004, Shmidt et al. 2008).

O número de espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrado neste trabalho foi superior ao encontrado por Carvalho et al. (2012), que relatou pela primeira vez a riqueza de espécies de FMA (49 espécies) presentes em ecossistemas de campos rupestres em cinco diferentes habitats da Serra do Cipó, em uma faixa altitudinal restrita (1100 m). Em áreas de cultivo, Benedetti et al. (2005) encontrou 18 espécies de FMA e em Mata Atlântica foram registradas 29 espécies (Stürmer et al. 2006). Já Moreira et al. (2007) encontrou 27 espécies de FMA em Floresta de Araucária, enquanto que Trufem et al. (1989) encontrou 14 espécies em dunas na Ilha do Cardoso, São Paulo. Esses valores são considerados baixos em relação aos valores encontrados em campos rupestres.

A maior diversidade de FMA na Serra do Cipó pode estar relacionada às características dos campos rupestres, onde se encontram alto endemismo e diversidade de espécies vegetais e solo bastante pobre em nutrientes (e.g., Giulietti et al. 1987, Negreiros et al. 2011). Estes microorganismos promovem melhor nutrição e crescimento da planta hospedeira, principalmente em ambientes extremos, podendo assim contribuir para a sobrevivência e sucesso vegetal. A importância dos FMA em áreas de baixa fertilidade é notória, uma vez que eles aumentam a área de absorção do sistema radicular das plantas, absorvendo mais nutrientes através de suas hifas.

Este trabalho corrobora com a hipótese de que os campos rupestres constituem a maior fonte mundial de diversidade de FMA, uma vez que antes do presente estudo a diversidade destes fungos era relatada em 21% da diversidade mundial (veja Carvalho et al. 2012), e agora contém em mais de 23% das espécies descritas no mundo e 47% no Brasil. Quando comparada à riqueza de FMA

de campos rupestres com outros ecossistemas, percebe-se que os campos rupestres contribuem substancialmente para a diversidade mundial de FMA. Embora a riqueza varie entre as altitudes, o número de espécies amostradas é suficiente para eleger os campos rupestres da Serra do Cipó o mais rico do mundo em espécies de FMA.

Todavia, embora a riqueza tenha sido alta, verifica-se que a variabilidade taxonômica foi baixa, com os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* dominando as altitudes em termos de riqueza. Carvalho et al. (2012) encontraram maior proporção na ocorrência de *Glomus* seguido de *Acaulospora* em campos rupestres da Serra do Cipó. Silva et al. (2006), em estudo realizado em áreas cultivadas e em floresta secundária na Serra do Mar em São Paulo, e Bennedeti et al. (2005), avaliando a diversidade de FMA em cultura do milho em Santa Maria, RS, também reportaram os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* como os mais frequentes. De acordo com Carrenho et al. (2001), estes gêneros apresentam maior capacidade de adaptação a solos submetidos a diferentes variações nas propriedades químicas e físicas do solo. Diante do exposto, é provável que os campos rupestres podem representar um centro de diversidade para estes gêneros de FMA.

Silveira (1998) considera que *Gigaspora*, *Scutellopora* e *Acaulospora* adaptados a pH ácido, de 4,0 a 6,0, enquanto *Glomus*, está adaptado a pH básico (6,0 a 8,0). *Acaulospora* ocorreu em altitudes com pH entre 4,7 a 5,1, corroborando a afirmação de Silveira (1998). Todavia, *Glomus* mostrou-se adaptado a essa faixa de pH nos campos rupestres, ocorrendo em todas as amostras avaliadas.

A frequência dos FMA variou entre as diferentes altitudes. *G. invermaium* foi a espécie com maior frequência nas altitudes de 800 m, 900 m, 1200 m, 1300 m e 1400 m, seguida por *C. etunicatum*, *G. glomerulatum*, *F. mosseae* e *F. geosporum*, sugerindo maior adaptação nestas altitudes e tolerância a diferentes condições edáficas. Esta distribuição das espécies de FMA, aparentemente influenciada pela altitude, pode ser resultante do estabelecimento preferenciais pelas micorrizas. De acordo com Ribeiro e Fernandes (2000), as condições de deficiência nutricional apresentadas em campos rupestres devem favorecer competitivamente apenas as espécies de plantas adaptadas a essas condições. Segundo Giovanetti & Gianinazzi-Pearson (1994) e Souza et al. (2003), o padrão de distribuição dos FMA nos ambientes é diferenciado por estar associado a diversos fatores bióticos e abióticos, além de estar relacionado com as estratégias de sobrevivência destes microorganismos.

As espécies que ocorreram de forma restrita a uma dada altitude foram consideradas exclusivas para cada gradiente de altitude. A espécie exclusiva em 1400 m, *Gigaspora gigantea*, ainda não tinha sido reportada em áreas de campo rupestre, porém já foi encontrada em outras fisionomias do Cerrado (Miranda et al. 2005), ecossistemas de dunas (Trufem et al. 1989; Goto et al. 2010), áreas revegetadas (Caproni et al. 2003), Mata Atlântica (Santos & Carrenho 2011), apresentando assim, uma

ampla distribuição pelo Brasil. *Acaulospora rugosa* e *Pacispora robigina*, espécies exclusivas da altitude de 1000 e 1100 m, respectivamente, já foram registradas em áreas de campos rupestres, na Serra do Cipó (Carvalho et al. 2012). Já a única espécie exclusiva da altitude de 800 m, *Fuscutata heterogama*, também encontrada por Carvalho et al. (2012), têm ocorrência ampla, sendo registrada em campo nativo arenoso (Mello et al. 2006), na Caatinga (Souza et al. 2003), em mata ciliar (Carrenho et al. 2011), em áreas de cultivo (Nobre et al. 2010), em Floresta de Araucária (Moreira et al. 2007), e em áreas de dunas (Goto et al. 2010; Souza et al. 2011).

As espécies consideradas endêmicas na Serra do Cipó são *Ambispora brasiliensis*, *Glomus pellucidum*, *Glomus* aff. *verruculosum* e *Pacispora dominikii*, registrada pela primeira vez no Brasil em campos rupestres por Carvalho et al. (2012), sendo que, entre estas espécies, somente *Ambispora brasiliensis* foi encontrada neste trabalho. No entanto, neste trabalho foram reportadas mais espécies, aumentando a diversidade de FMA neste ecossistema, sendo elas: *Acaulospora denticulata*, *Acaulospora* aff. *rehmii*, *Appendicispora callosa*, *Gigaspora gigantea* e *Sclerocystis* aff. *rubiforme*. *Acaulospora denticulata* foi relatada em áreas de cultivo (Benedetti et al. 2005; Silva et al. 2006), Caatinga (Souza et al. 2003) e semi-árido (Goto et al. 2010). As espécies *Acaulospora* aff. *rehmii* e *Sclerocystis* aff. *rubiforme* não foram confirmada por causa do baixo número de esporos. A primeira espécie, *Acaulospora rehmii*, também foi encontrada em área de cultivo (Silva et al. 2006) e Caatinga (Souza et al. 2003), área revegetada (Caproni et al. 2003), Mata Atlântica (Stürmer et al. 2006; Santos & Carrenho 2011), Floresta Amazônica (Leal et al. 2009) e semi-árido (Goto et al. 2010). Já a segunda espécie, *Sclerocystis* aff. *rubiforme*, foi registrada em dunas (Souza et al. 2011). Considerando o escasso número de levantamentos de FMA em campos rupestres, ainda é prematuro apontar espécies endêmicas de campos rupestres. Apesar disso, algumas espécies endêmicas já foram relatadas e, provavelmente, o número de endemismo seja muito maior. Carvalho et al. (2012) relataram que pelo menos cinco espécies pertencentes aos gêneros *Acaulospora*, *Scutellospora* e *Glomus* não foram descritas em campos rupestres, e duas espécies sendo reportadas pela primeira vez no Brasil, *Acaulospora colossica* e *Pacispora dominikii*. Já neste trabalho foram encontradas seis espécies do gênero *Glomus*, três espécies do gênero *Acaulospora* e quatro morfoespécies de FMA, provavelmente ainda não descritas, o que aumentaria o número de espécies endêmicas de campos rupestres, aumentando de seis espécies (Carvalho et al. 2012) para dezenove espécies endêmicas de campos rupestres.

As variáveis edáficas pH, saturação de bases, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica e areia fina explicam parcialmente o agrupamento das parcelas e das altitudes, sendo as variáveis que mais influenciaram a distribuição de FMA. Houve separação entre as altitudes com maior estoque de solo arenoso, acidez, saturação de bases e capacidade de troca catiônica. No entanto,

a variância restante pode estar associada a outras variáveis ambientais, como temperatura, umidade, entre outras. A ordenação das espécies em função das variáveis ambientais indica as preferências das espécies por habitats em função da acidez e fertilidade do solo. Assim, este resultado evidencia que o solo é um dos fatores reponsáveis pela variedade de habitats (Vargas & Hungria 1997) e consequentemente, pela distribuição das espécies de FMA nos campos rupestres. A heterogeneidade espacial e as condições ambientais extremas nos campos rupestres criam limitações dos recursos e propiciam a coexistência de um variado número de espécies (Tilman 1994, Barbosa et al. 2012), que é refletido na alta diversidade.

O pH afeta a simbiose micorrízica pelo efeito da permeabilidade das membranas, tanto das plantas quanto dos fungos ou a disponibilidade de nutrientes (Silveira 1992). Existe ainda uma relação do pH com a germinação dos esporos, pois os solos ácidos, que estão associados à elevada concentração de alumínio, atuam sobre os propágulos dos fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera antes da colonização, afetando a taxa de germinação dos esporos, especialmente de *Glomus* (Araújo et al. 2003). Além disso, a presença de FMA em solos arenosos, especialmente, pela ação do micélio é importante para mantê-los unidos, possibilitando sua imobilização e posterior ligação das partículas intermediada por componentes orgânicos (Forster & Nicolson 1981).

Na comparação da composição de espécies entre as altitudes, o NMDS mostrou uma resolução com baixo grau de ordenação, indicando um nível de similaridade de médio a alta entre as altitudes. Portanto, a composição de espécies presentes sofre pequenas variações entre as altitudes, tem-se, com isso, uma considerada heterogeneidade na distribuição dos FMA. Dessa forma, a diferença do tipo de solo nas altitudes pode ter influenciado no estabelecimento dos FMA, pois a variação de altitude promove uma heterogeneidade na formação do gradiente edáfico que altera a composição de espécies (Trufem et al. 1989). No entanto, algumas altitudes apresentaram condições edáficas semelhantes o que caracterizou a sobreposição na composição.

A análise de agrupamento mostrou que o grau de similaridade das espécies de FMA entre as altitudes parece ser estruturado em função do gradiente de altitude, evidenciada pela formação de grupos, já que as altitudes mais similares quanto à composição de espécies de FMA se encontram na altitude intermediária, e as altitudes mais dissimilares, nas altitudes extremas. A configuração encontrada pode estar relacionada à presença de algumas espécies com maior representatividade nas altitudes, como as espécies *G. invermaium*, *F. mosseae*, *C. etunicatum*, *G. macrocarpum* e *G. glomerulatum* que tiveram proporções maiores entre as altitudes.

As curvas de acumulação da riqueza de espécies mostraram a importância de coletar entre diferentes altitudes e pontos de amostragem para melhor estimar a riqueza de espécies de FMA, apesar do esforço de coleta não ter alcançado a assíntota para algumas altitudes. O fato de a curva de

acumulação não ter se estabilizado indica que possivelmente ainda existam espécies não registradas. Segundo Santos (2003), a captura de todas as espécies existentes em uma área é virtualmente impossível. As altitudes intermediárias apresentaram aumento mais acentuado de espécies de FMA à medida que se aumentava o esforço, o que deve estar relacionado a fatores como a relação espécie-área e heterogeneidade ambiental presentes nestas áreas de ecótono cerrado-campo rupestre. Assim, estudos futuros talvez possam ampliar os esforços de coleta nos diferentes habitats, alguns dos quais não foram ainda amostrados no complexo mosaico de campos rupestres. Além disso, os testes de acumulação de espécies demonstraram que nos extremos do gradiente o número de espécies esperado é menor do que nas altitudes intermediárias, reforçando a necessidade de ampliar as amostragens neste território.

## **Conclusões**

O estudo em montanhas tem evidenciado dois principais padrões de distribuição da riqueza ao longo do gradiente de altitude, a redução da riqueza de espécies ao longo do gradiente de altitude e aumento da riqueza de espécies em altitudes intermediárias, seguido por uma redução da riqueza com o aumento da altitude. A diversidade de FMA no gradiente altitudinal da Serra do Cipó, corrobora a hipótese da altitude intermediária que prevê a singularidade dos campos rupestres nos quesitos biodiversidade e endemismo.

A distribuição de espécies de FMA entre as altitudes pode estar relacionada com a heterogeneidade existente entre elas, devido a características edafoclimáticas locais. Os próprios FMA podem apresentar diferentes estratégias de sobrevivência em cada altitude quando os recursos são ou não escassos. As diferenças microtopográficas entre as altitudes estudadas podem oferecer maior ou menor número de microhabitats podendo influenciar a riqueza de espécies e a densidade em cada altitude. Assim, é importante o estudo de comunidades de FMA em ecossistemas naturais, principalmente no complexo rupestre.

## **Agradecimentos**

Agradecemos a dois revisores anônimos pela leitura e críticas a este manuscrito e ao apoio no campo dos estagiários do Laboratório de Ecologia e Propagação Vegetal e BG Souza. Agradecemos ainda ao suporte financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq: 40655/2008-5, 55 8250/2009-2, 30 3352/2010-8, 56 1883/2010-6) e da Fapemig (RDP-00048-10, APQ-04105-10), Natural Reserve Vellozia, à CAPES pela bolsa concedida a ES Coutinho e à Unimontes. Este estudo foi parte do Mestrado de ES Coutinho pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES).

## Referências

- Abbott LK, Robson AD (1991). Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agr Ecosyst Environ* 35:121-150.
- Alves RJV, Kolbek J (1994). Plant species endemism in savanna vegetation on table mountains (Campo Rupestre) in Brazil. *Vegetatio* 113:125-139.
- Alves RJV, Kolbek J (2010). Can campo rupestre vegetation be floristically delimited based on vascular plant genera?. *Plant Ecol* 207:67-79.
- Araújo CVM, Santos OM, Alves LJ, Muniz CRR (2003). Fungos micorrízicos arbusculares em espécies de Melastomataceae no Parque Metropolitano de Pituvaçu Salvador – BA Brasil. *Sitientibus* 3:115-119.
- Barbosa NPU, Fernandes GW, Carneiro MAA, Júnior, LAC (2010). Distribution of non-native invasive species and soil properties in proximity to paved roads and unpaved roads in a quartzitic mountainous grassland of southeastern Brazil (rupestrian fields). *Biol Inv* 12:3745-3755.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR (1996). *Ecology: individuals, populations and communities*. 3rd ed. Blackwell, Oxford.
- Benedetti T, Antonioli ZI, Giracca EMN, Steffen RB (2005). Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. *Rev Ciênc Agrov* 4:44-51.
- Benites VM, Caiafa AN, Mendonça ES, Schaefer CE, Ker JC (2003). Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floram* 10:76-85.
- Berbara RLL, De Sousa FA, Fonseca HMA (2006). Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: Fernandes MS (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. SBCS, p. 53-88.
- Brower JE, Zar JH, Von Ende, CN (1990). *Field and laboratory methods for general ecology*. 3.ed. Dubuque: WM C. Brown Publishers.
- Caldeira MVW, Silva EMR, Franco AA, Zanon MLB (1999). Efeito de FMAs no desenvolvimento de duas leguminosas arbóreas. *Cienc Flor* 9:63-70.
- Caproni AL, Franco AA, Berbara RLL, Trufem SB, Granha JRDO, Monteiro AB (2003). Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas revegetadas após mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. *Pesq agropec bras* 38:1409-1418.
- Carvalho F, Souza FA, Carrenho R, Moreira FMS, Jesus EC, Fernandes GW (2012). The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl Soil Ecol* 52:9-19.
- Carrenho R, Trufem SFB, Bononi VRL (2001). Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. *Acta bot bras* 15:115-124.

- Conceição AA, Giulietti AM, Meirelles ST (2007). Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Acta bot bras* 21:335-347.
- Cowell RK (2006). Estimate S: Statistical estimator of species richness and shared species from samples. Version 8.0. Persistent.
- Crawley M (2002). *Statistical computing: An introduction to data analysis using S-Plus*. John Wiley & Sons Inc., Baffins Lane, 761p.
- Dick CW, Wright SJ (2005). Tropical mountain cradles of dry forest diversity. *PNAS* 102:10757-19758.
- Dossin IA, Dossin TM, Chaves MLSC (1990). Compartimentação estratigráfica do supergrupo Espinhaço em Minas Gerais – Os grupos Diamantina e Conselheiro Mata. *Rev Bras Geociênc* 20:178-186.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). *Manual de métodos de análise de solo*, 2nd ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos.
- Fernandes GW, Oki Y, Sanchez-Azofeifa A, Faccion G, Amaro-Arruda HC (2011). Hail impact on leaves and endophytes of the endemic threatened *Coccoloba cereifera* (Polygonaceae). *Plant Ecol*. DOI 10.1007/s11258-011-9941-z.
- Fernandes GW, Price PW (1988). Biogeographical gradients in galling species richness: tests of hypotheses. *Oecologia* 76:161-167.
- Fernandes G W, Price PW (1991). Comparison of tropical and temperate galling species richness: the roles of environmental harshness and plant nutrient status, p. 91-115. *In*: Price PW, Lewinsohn TM, Fernandes GW, Benson WW (eds.). *Plant-animal interactions: evolutionary ecology in tropical and temperate regions*. Wiley & Sons, xiv+637 p.
- Forster SM, Nicolson TH (1981). Aggregation of sand from a maritime embryo sand dune by microorganisms and higher plants. *Soil Biol Biochem* 13:199-203.
- Galvão MV, Nimer E (1965). GALVAO, M.V. & NIMER, E. 1965. *Clima. Geografia do Brasil - grande região leste*. (ed. by IBGE). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. pp.91-139.
- Gerdemann JW, Nicolson TH (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *T Br Mycol Soc* 46:235-244.
- Gianinazzi S, Gollote A, Binet MN, Van Tuinen T, Redecker D, Wipf D (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20:519-530.
- Giovannetti M, Gianinazzi-Pearson V (1994). Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycol Res* 98:705-715.



- Giulietti AM, Menezes NL, Pirani, JR, Meguro, M, Wanderley MGL (1987). Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: caracterização e lista de espécies. Bol Bot 9:1-151.
- Giulietti AM, Pirani JR (1988). Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaco range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In: Proceedings of a workshop on Neotropical Distribution Patterns (Vanzolini PE, Heyer WR). Acad Bras Cienc, Rio de Janeiro, p.39-69.
- Goto BT, Maia LC (2006). Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. Mycotaxon 96:129-132.
- Goto BT, Maia LC, Oehl F (2008). *Ambispora brasiliensis*, a new ornamented species in the arbuscular mycorrhiza-forming Glomeromycetes. Mycotaxon 105:11-18.
- Goto BT, Silva GA, Yano-Melo AM, Maia LC (2010). Checklist of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in the Brazilian semiarid. Mycotaxon 113:251-254.
- Hammer O, Harper DAT, Ryan PD (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. Paleont Electr 4:1-9.
- Holdridge LR (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. Science 105:367-368.
- Jenkins WR (1964). A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Dis Repor 48:692p.
- Lara ACF, Fernandes GW (1996). The highest diversity of galling insects: Serra do Cipó, Brazil. Biodivers Lett 3:111-114.
- Leal PL, Stürmer SL, Siqueira JO (2009). Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. Braz J Microb 40:111-121.
- Lugo MA, Ferrero M, Menoyo E, Estévez MC, Siñeriz F, Anton A (2008). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizospheric Bacteria Diversity Along an Altitudinal Gradient in South American Puna Grassland. Microb Ecol 55:705–713.
- Madeira JA, Fernandes GW (1990). Reproductive phenology of sympatric *Chamaecrista* taxa of *Chamaecrista* (Leguminosae) in Serra do Cipó, Brazil. J Trop Ecol 15:463-479.
- Martinelli G (2007). Mountain biodiversity in Brazil. Rev Bras Bot 30:587-597.
- McCune B, Mefford MJ (1997). PC-ORD for Windows: Multivariate Analysis of ecological data – version 3.12. Oregon: MJM Software Design, Gleneden Beach.
- Medina BMO, Fernandes GW (2007). The potential of natural regeneration of rocky outcrop vegetation on rupestrian field soils in “Serra do Cipó”, Brazil. Rev Bras Bot 30:665-678.

- Mello AH, Antonioli ZI, Kaminski J, Souza EL, Oliveira VL (2006). Fungos arbusculares e ectomicorrízicos em áreas de eucalipto e de campo nativo em solo arenoso. *Cienc Flor* 16:293-301.
- Merriam C H (1990). Results of a biological survey of the San Francisco mountain region and desert of the Little Colorado in Arizona: Bureau of Biological Survey, North American Fauna 3.
- Miranda JCC (2008). Cerrado: Micorriza arbuscular: ocorrência e manejo. Embrapa Cerrados, Planaltina, 169p.
- Miranda JCC, Vilela L, Miranda LN (2005). Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesq agropec bras* 40:1005-1014.
- Moreira M, Baretta D, Tsai SM, Gomes-da-Costa, SM, Cardoso EJBN (2007). Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* Forest. *Sci Agric* 64:393-399.
- Morton JB, Bentivenga SP, Wheeler WW (1993). Germplasm in the Internacional Collection of Arbuscular and Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon* 48:491-528.
- Negreiros D, Fernandes GW, Silveira FAOS, Chalub S (2009). Seedling growth and biomass allocation of endemic and threatened shrubs of rupestrian fields. *Acta oecol* 35: 301-310.
- Negreiros D, Moraes MLB, Fernandes GW (2008). Caracterização da fertilidade dos solos de quatro leguminosas de campos rupestres, Serra do Cipó, MG, Brasil. *J Soil Sci Plant Nutrit* 8:30-39.
- Nobre CP, Ferraz Júnior ASL, Goto BT, Berbara RLL, Nogueira MDC (2010). Fungos micorrízicos arbusculares em sistema de aléias no Estado do Maranhão, Brasil. *Acta Amaz* 40:641-646.
- Oehl F, Silva GA, Goto BT, Maia LC, Sieverding E (2011). Glomeromycota: two new classes and a new order. *Mycotaxon* 116:365-379.
- Pianka ER (1966). Latitudinal gradients in species diversity: A review of concepts. *Am Nat* 100: 33-46.
- Rahbek C (1995). The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18:200-205.
- Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S, Pirani JR (2008). A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4:15-23.
- Ribeiro KT, Fernandes GW (2000). Patterns of abundance of a narrow endemic species in a tropical and infertile montane habitat. *Plant Ecol* 147:205-218.
- Santos AJS (2003). Estimativas de riqueza em espécies. In: Cullen Jr L, Valadares-Padua C, Rudran R. Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná, 663p.

- Santos FE, Carrenho R (2011). Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinqüentenário - Maringá, Paraná, Brasil). *Acta Bot Bras* 25:508-516.
- Schmidt SK, Sobieniak-Wiseman LC, Kageyama SA, Halloy SRP, Schadts CW (2008). Mycorrhizal and Dark-Septate Fungi in Plant Roots above 4270 Meters Elevation in the Andes and Rocky Mountains. *Arct Antarct Alp Res* 40:576-583.
- Sieverding E (1991). Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. *Agr Environ* 29:369-390.
- Silva CF, Pereira MG, Silva EMR, Correia MEF, Saggin-Júnior OJ (2006). Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). *Caatinga* 19:1-10.
- Silveira APD (1992). Micorrizas. In: Cardoso EJBN, Tsai SM, Neves MCP. *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira do Solo. p. 257-282.
- Silveira APD (1998). Ecologia de fungos micorrízicos arbusculares. In: Melo IS, Azevedo JL. *Ecologia Microbiana*. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, p. 61-86.
- Souza FA, Silva ICL, Berbara RLL (2007). Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imaginava. In: Moreira FMS, Siqueira JO, Brussard L (eds). *Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros*. UFLA, Lavras, pp 483-536.
- Souza RG, Maia LC, Sales MF, Trufem SFB (2003). Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Rev Bras Bot* 26:49-60.
- Souza RG, Silva DKA, Mello CMA, Goto BT, Silva FSB, Sampaio EVSB, Maia LC (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi in revegetated mined dunes. *Land Degrad Dev* doi: 10.1002/ldr.1113
- Souza VC, Silva RA, Cardoso GD, Barreto AF (2006). Estudos sobre fungos micorrízicos. *Rev Bras Eng Agr Amb* 10:612-618.
- Stürmer SL, Klauberg Filho O, Queiroz MH, Mendonça MM (2006). Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. *Acta bot bras* 20:513-521.
- Tilman D (1994). Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology* 75: 2-16.
- Tomé Junior JB (1997). *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba: Editora Agropecuária, 247p.
- Trufem SFB, Otomo HS, Malatinszki SMM (1989). Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em rizosferas de plantas em dunas do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, São Paulo, Brasil. *Acta bot bras* 3:141-152.

- Vargas MAT, Hungria M (1997). *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 400p.
- Walkley A, Black IA (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci* 63:251-263.
- Whitmore TC (1990). *An introduction to tropical rain forests*. Oxford University Press, Oxford.
- Wu B, Isobe K, Ishii R (2004). Arbuscular mycorrhizal colonization of the dominant plant species in primary successional volcanic deserts on the Southeast slope of Mount Fugi. *Mycorrhiza* 14:391-395.
- Zangaro W, Nisizaki SMA, Domingos JCB, Nakano EM (2002). Micorriza Arbuscular em espécies arbóreas nativas da Bacia do rio Tibagi, Paraná. *Cerne* 8:77-87.