

ANDREA PATRICIA VARGAS NIÑO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SOLO NA RIQUEZA
DE CUPINS AO LONGO DE GRADIENTES ALTITUDINAIS
DO BRASIL E DA COLÔMBIA**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

V297i
2015 Vargas Niño, Andrea Patricia, 1979-
Influência das propriedades do solo na riqueza de cupins ao longo
de gradientes altitudinais do Brasil e da Colômbia / Andrea Patricia
Vargas Niño. - Viçosa, MG, 2015.
x, 154f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Carlos Ernesto Goncalves Reynaud Schaefer.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Ciência da solo. 2. Cupim. 3. Biodiversidade. 4. Pedofauna.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa
de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

ANDREA PATRICIA VARGAS NIÑO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SOLO NA RIQUEZA
DE CUPINS AO LONGO DE GRADIENTES ALTITUDINAIS
DO BRASIL E DA COLÔMBIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015**

ANDREA PATRICIA VARGAS NIÑO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SOLO NA RIQUEZA
DE CUPINS AO LONGO DE GRADIENTES ALTITUDINAIS
DO BRASIL E DA COLÔMBIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 05 de março de 2015

Felipe Nogueira Bello Simas

Márcio Rocha Francelino

José João Lelis Leal de Souza

Guilherme Resende Corrêa
(Coorientador)

Carlos Ernesto G.R. Schaefer
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado a vida, a força e o amparo para batalhar pelos meus ideais.

A meus pais e meu irmão por terem sido minha fortaleza em todos os momentos, e ao meu marido por ter sido parceiro e companhia incondicional na fase final de laboratórios e na escrita da tese.

À Universidade Federal de Viçosa e ao programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, por ter me aceito no curso.

Ao Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG) administrado conjuntamente pelo Departamento Cultural (DC) do Ministério das Relações Exteriores (MRE) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida durante meu doutorado.

Ao meu orientador Carlos Ernesto Schaefer por ter me aceito como orientada, por ter confiado nas minhas capacidades em todo momento e por me permitir desenvolver minhas ideias e habilidades durante esses quatro anos. Por seus ensinamentos e exemplo que me inspiraram para ser uma melhor pesquisadora.

Aos membros da banca por aceitarem o convite, por suas sugestões e críticas sobre este documento.

Aos membros da banca de qualificação de doutorado Fabio Soares de Oliveira, Guilherme Resende Correia, Márcio Rocha Francelino e José João Lelis de Souza pela participação, críticas e sugestões no primeiro manuscrito sobre o efeito das características do solo na riqueza de cupins húmívoros.

A todos os colegas e amigos que fazem parte ou pertenceram ao Laboratório de Isótopos Estáveis (LIE) assim como aos que pertenceram ao Laboratório de Geoquímica pela agradável convivência e apoio constante nos procedimentos de laboratório.

A todos os professores, funcionários e estagiários do Departamento de Solos que amavelmente solucionaram minhas dúvidas e prestaram apoio constante.

Ao Instituto Estadual de Floresta (Belo Horizonte, Brasil) e Parques Nacionais Naturales (Bogotá, Colômbia) pela liberação das licenças de coleta e seus funcionários pelo apoio logístico fornecido. Aos funcionários Jorge Zarate, Irwin Duarte, Libardo Suarez, Laurielen Pacheco, Jose Roberto Mendes de Oliveira e Waldomiro Lopes das três áreas protegidas estudadas pelo acompanhamento e apoio nas coletas, essencial para realização deste trabalho.

Ao pessoal que me acompanhou durante as difíceis jornadas de coleta em locais escarpados e sem estradas, e muitas vezes acampando na chuva e no frio. Ao Eduardo Senra, Mauricio Gutierrez, Alân Pessoa, Felipe Maia, Camilo Arias, João Reis, Henrique Nogueira, Mauricio Rocha, Daniely Deliberali, Davi Gjorup, Yury Wanick Lourero de Souza, Bruno Tinti e Guilherme Resende. E especialmente a Davi do Vale, quem teve que me carregar nas costas em campo quando quebrei dois ligamentos do meu pé esquerdo. Valeu galera!!! Sem vocês o trabalho não poderia ter sido feito.

Aos demais estagiários de laboratório Viviane Fernandes Santos, Paula Magalhães e Jamilton Lopes assim como aos colegas Karoline Delpupo,

Anderson Pacheco, Diego Marquez, Rafael Teixeira, Rodrigo Nogueira, João Milagres, Fernanda Caparelli, ao professor Ivo Ribeiro da Silva pela ajuda nos procedimentos de laboratório, e a professora Andreza Neri por seus conselhos e amizade.

Ao professor Lúcio A. de Oliveira Campos por seu incondicional apoio em qualquer momento e suas inolvidáveis palavras: não suma, volte sempre! Por seus ensinamentos e exemplo de sabedoria e amabilidade.

Ao professor Og DeSouza, Alessandra Marins e Wesly Jeune por sua importante contribuição no direcionamento do trabalho e nas análises estatísticas.

Ao Mauricio Rocha, Tiago Carijo, Carolina Cuzzo e Eliana Canello do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, por sua contribuição na identificação de espécies de cupins e pela amizade.

A profesora Eliana Canello por ter me incentivado a estudar os cupins lá pelo ano 2002 e desde então apoiar minhas idéias e sempre me acolher. Por se preocupar sempre com minha formação e me orientar em como entrar no mestrado no seu país.

À secretária do Departamento de Solos, Luciana de Castro Freitas por toda sua amabilidade e eficiência. Também ao Nayan Rodrigues Andrade e Cláudia Maria Gonçalves pelo apoio constante.

Novamente a todo o Departamento de Solos, são muitos os professores, funcionários, estagiários e pos graduandos que contribuíram direta o indiretamente no presente trabalho.

Aos colegas do Coral Nossa Voz e do Conservatório Estadual de Música “Prof. Theodolindo José Soares” por ser minha família no Brasil.

A meus amigos que riram e choram comigo, e a família que sempre esteve me apoiando, mesmo distantes.

Muito obrigado a todos !!!

BIOGRAFIA

Andrea Patricia Vargas Niño nasceu em setembro de 1979, na cidade de Bogotá, Colômbia. No ano de 1995 ingressou na Pontificia Universidad Javeriana em Bogotá, no curso de Nutrição, posteriormente em 1997 fez transferência para o curso de Biología formando-se no ano de 2004. Em fevereiro de 2004 ingressou na coleção de Entomologia do Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, no qual tinha a responsabilidade da identificação e curaduria dos cupins (Isoptera). Em agosto de 2002 participou na Fundación Inguedé, do projeto chamado: “Monitoreo local de diversidad”, no qual tinha a responsabilidade de realizar a colecta e identificação dos cupins em três locais do Golfo de Tribugá, Chocó, Colombia. Em setembro de 2004 ingressou na Fundación Estación Biológica Bachaqueros e participou da colecta e identificação dos insetos associados à cultura de Quinoa, assim como apoio do componente social para o estabelecimento de parcelas agroflorestais e restauração de vegetação riparia.

Em junio de 2006 ingressou na Fundación Humedal La Conejera e participou em dois projetos para o estabelecimento de um corredor biológico entre duas áreas protegidas dentro da cidade de Bogotá. Fez mestrado em Entomologia na Universidade Federal de Viçosa sob a orientação do professor Og Francisco de Souza e no ano de 2011 ingressou como bolsista do convênio PEC-PG no curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da mesma universidade, sob a orientação do professor Carlos Ernesto Schaefer, sendo aprovada aos 05 dias de março de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Padrões de riqueza de espécies em gradientes altitudinais	1
1.2. Fatores que afetam a riqueza de espécies	2
1.3. Relação entre os cupins e o solo	3
1.4. Breve caracterização dos cupins	4
1.5. Breve descrição das guildas alimentares	5
2. ESTABELECIMENTO DO PROBLEMA	9
2.1. Problema geral	9
2.2. Problemas específicos	9
Problema I	9
Problema II	9
Problema III	10
3. OBJETIVOS	10
3.1. Objetivo geral	10
3.2. Objetivos específicos	10
Parte I	10
Parte II	10
Parte III	10
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
5. RESULTADOS	16
CAPÍTULO I	18
Riqueza de cupins e propriedades do solo em um gradiente altitudinal dos Andes colombianos	18
Resumo	19
Introdução	20
Materiais e Métodos	22
Resultados	32
Discussão	52
Conclusões	57

Referências bibliográficas	58
ANEXOS	65
CAPITULO 2.....	72
Efeito dos atributos do solo sobre a riqueza de espécies e composição de guildas alimentares de cupins ao longo de dois gradientes altitudinais do Brasil.....	72
Resumo	73
Introdução	73
Materiais e Métodos	76
Resultados	85
Discussão.....	104
Conclusões.....	107
Referências bibliográficas	108
ANEXOS	115
CAPITULO3.....	132
Influência dos cupins no seqüestro do carbono em solos altimontanos do Sudeste Brasileiro.....	132
Resumo	133
Introdução	134
Materiais e Métodos	135
Resultados	141
Discussão.....	145
Conclusões.....	147
Referências bibliográficas	148
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	154

RESUMO

VARGAS-NIÑO, Andrea Patricia, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2015. **Influência das propriedades do solo na riqueza de cupins ao longo de gradientes altitudinais do Brasil e da Colômbia.** Orientador: Carlos Ernesto Schaefer. Coorientadores: Guilherme Resende Corrêa e Og Francisco Fonseca de Souza.

A diminuição da riqueza de espécies com o aumento da altitude é um dos padrões mais consistentes de distribuição espacial. Fatores como temperatura, precipitação, velocidade do vento, e a radiação solar variam com a altitude produzindo uma diminuição geral da complexidade estrutural do hábitat. Contudo, os mecanismos que determinam a variação da riqueza são pouco compreendidos. Os cupins são organismos abundantes nas regiões tropicais e subtropicais, cumprindo nos ecossistemas a função de consumidores primários e decompositores de matéria orgânica. O objetivo geral do presente trabalho foi estudar a variação da riqueza de cupins e a variação das propriedades do solo em gradientes altitudinais e pedológicos de sistemas montanhosos do Brasil e da Colômbia. Os objetivos específicos foram i) quantificar a riqueza de cupins e quantificar as propriedades físicas e químicas do solo ao longo de gradientes altitudinais; ii) avaliar a variação na composição de guildas de cupins para ser correlacionadas com as propriedades físicas e químicas do solo ao longo de gradientes altitudinais; iii) quantificar as propriedades físicas e químicas dos cupinzeiros de campos de altitude do Brasil para avaliar sua contribuição no estoque do carbono do solo. A questão central deste trabalho foi compreender por que há variação na riqueza de cupins em diferentes altitudes. Para tentar responder essa pergunta foram testadas as seguintes hipóteses: i) existe uma diminuição na qualidade do recurso alimentar e de nidificação disponível com o incremento da altitude; ii) o teor de silte, argila, matéria orgânica e atividade da argila do solo, assim como o teor de matéria orgânica da serapilheira afetam a riqueza de espécies de cupins húmívoros e intermediários; iii) a profundidade do solo afeta a riqueza de espécies de cupins xilófagos e intermediários porque define o porte da vegetação que será o recurso alimentar desses cupins. No gradiente altitudinal da Colômbia foi observado que a riqueza e abundancia de cupins de todas as guildas, foi afetada negativamente pela altitude sendo

beneficiada a guilda de xilófagos pela oferta de madeira. Também foi observado que o solo deixou de ser utilizado como nicho pelos cupins com o incremento da altitude. Os resultados das análises químicas mostraram um pH muito ácido variando entre 3.8 a 4.6 e uma saturação por alumínio acima do 78%. Nos dois gradientes altitudinais do Brasil, a riqueza de cupins no geral foi afetada negativamente pela altitude, porém riqueza e abundancia da guilda de humívoros não foi afetada, devido a que os solos estudados apresentaram um pH mais elevado, variando entre 3.8 a 5.6, uma saturação por aluminio menor variando entre 41 e 98% e maior teor de matéria orgânica beneficiando a guilda de humívoros. Os cupins intermediários e xilófagos foram afetados positivamente por solos mais profundos que condicionam o porte da vegetação que o local pode sustentar e a oferta de recursos para esses insetos. Adicionalmente, as análises das propriedades químicas assim como liberação do CO₂ e CH₄ dos cupinzeiros de campos de altitude, sugerem que os cupinzeiros de campos de altitude contribuem na maior estabilidade da matéria orgânica contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados. Concluindo, a acidez do solo representa uma diminuição na qualidade do recurso alimentar e de nidificação possivelmente levando a exclusão competitiva entre espécies de humívoros por restrição de recurso limitante. Existe um padrão geral de diminuição de riqueza de cupins com o aumento da altitude, porém a diminuição ou não da riqueza de uma guilda específica depende das características próprias do local de estudo na faixa de 1000 a 2000 m.

ABSTRACT

VARGAS-NIÑO, Andrea Patricia D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2015, **Influence of soil properties on termite richness along altitudinal gradients of Brazil and Colombia**. Advisor: Carlos Ernesto Schaefer. Coauthors: Guilherme Resende Corrêa and Og Francisco Fonseca de Souza.

The decrease of species richness through altitude increment is a consistent pattern for spatial distribution. Temperature, fluvial attempt, wind velocities and solar radiation are factors that vary throughout the altitude making a general decrease of the complexity habitat structure. However, the mechanisms that determine the richness variation are poorly understood. Termites are abundant organisms in tropical and subtropical regions, accomplish their function as primary consumers and decomposers of organic matter in ecosystems. The aim for this work was to study the termite richness and soil properties variation along altitudinal gradients and pedological mountain systems of Brazil and Colombia. Specific objectives were i) Quantify the termite richness and the physical and chemical soil properties along altitudinal gradients; ii) test quantify the variation of the feeding guilds composition to be correlate with physical and chemical soil properties along altitudinal gradients; iii) Quantify the physical and chemical of termites nests in altitudinal Brazil fields for endorse their contribution in soil carbon stock. The central question in this work was to understand why variation of termite richness in different altitudes happens. For trying solve this question were tested the next hypothesis: i) there are a feeding resource quality decrease and nesting availability with the altitude increment; ii) the content of silt, clay, organic matter and clay activity, also content of organic matter in litter can affect the richness of soil-feeding and soil/wood-feeding termite species; iii) the soil depth affect the termite richness of wood-feeding and soil/wood interface-feeding termites species because the size of vegetation will be the food resource for this termites. In Colombia altitudinal gradient was observed that termites richness and abundance of all feeders, was affect negatively by altitude but wood-feeding profit by the wood offer. Also was observed that soil was abandoned for nesting purpose with altitude increment. The result of chemical analysis shown that strong acid pH varies between 3.8 to 4.6 and have a saturation of aluminum above 78%. In two of Brazil altitudinal

gradients, the general termite richness was affected negatively by altitude, however richness and abundance of soil-feeding guilds it was not affected, because the studied soils present a high pH, vary between 3.8 to 5.6, a saturation by low aluminum varying between 41 to 98% and more content of organic matter profit the guild of soil-feeding termites. The soil/wood interface-feeding and wood feeding termites were affected positively by soils more depth, because the size of local resource and vegetation can support the food source for that insects. Additionally the chemical properties analysis and the CO₂/CH₄ release from field nests altitude, suggest that this nests help for a better organic matter stability contributing for the CO₂ stock inside the studied altitude fields. To conclude, the soil acid represent a quality decrease of food resource and nesting, possibly taking the soil-feeding species to a competitive exclusion for the limiting resource. Exists a general pattern for the termite richness decrease with the increasing altitude, and with that a decrease of richness of a specific guild that depends of own characteristics of the environment studied between 1000 to 2000 m.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Padrões de riqueza de espécies em gradientes altitudinais

Um dos temas de maior interesse na atualidade é o estudo da riqueza de espécies, compreendida como a variedade de formas de vida (Gaston, 2000), ou em um âmbito mais prático, o número de espécies em um local dado. A compreensão dos fatores que afetam a riqueza incide em questões de grande importância, como o papel da riqueza nos processos dos ecossistemas, a propagação de espécies exóticas invasoras, o controle de doenças e seus vetores, e os efeitos prováveis das mudanças ambientais na conservação dessa riqueza (Gaston, 2000).

A riqueza de espécies se encontra distribuída heterogeneamente ao longo do planeta, apresentando algumas áreas com grande variação biológica como bosques tropicais e arrecifes de coral, outras com baixa variação como alguns desertos e regiões polares, enquanto muitas apresentam uma variação intermediária (Ricklefs, 2004). Os padrões de distribuição da riqueza de espécies mais conhecidos são os hotspots e coldspots (pontos de alta e baixa riqueza respectivamente), variações com escala espacial tais como relação espécie-área e relações entre riqueza local e regional, e padrões ao longo de gradientes de espaço ou de condições ambientais, como no caso da latitude, longitude, profundidade e altitude (Gaston, 2000).

A diminuição da riqueza com o aumento da altitude é um dos padrões mais consistentes de distribuição espacial (Begon *et al.*, 2007). Com o incremento da altitude, as condições ambientais mudam principalmente a temperatura apresenta uma tendência muito clara de diminuição de 1°C a cada 100 m. Processos no desenvolvimento biológico dos insetos, como crescimento, alimentação, oviposição, número de gerações anuais e comportamento, são dependentes da temperatura (Speight *et al.*, 1999; Guerreiro *et al.*, 2003; Andrade *et al.*, 2008; Pessoa *et al.*, 2009; Rosental *et al.*, 2013).

Quanto à termitofauna, uma questão pouco investigada, é qual é a tendência da variação na riqueza de espécies com gradientes altitudinais e pedológicos. Alguns estudos relatam uma diminuição da riqueza com o aumento da altitude (Gathorne-Hardy *et al.*, 2001; Palin *et al.*, 2011), outros relatam a maior riqueza de espécies em altitudes intermediárias comparado com altitudes baixas (Donovan *et al.*, 2002) ou não apresentam relação nenhuma (Reis, 2007).

1.2. Fatores que afetam a riqueza de espécies

As primeiras teorias formuladas para explicar a riqueza de espécies, foram baseadas no século XVIII, acreditando-se em uma diversificação evolutiva sobre longos períodos de tempo em grandes áreas geográficas. Na atualidade, as teorias se baseiam nas interações de competição, predação e mutualismo entre as espécies, ocorrendo em pequenas áreas e tempos ecológicos curtos (Ricklefs, 2004).

Outros fatores estudados são as variáveis climáticas de temperatura e precipitação para descrever o ambiente físico, incluindo variáveis derivadas relacionadas à entrada de energia, ou fluxo total de água nos ecossistemas tais como a evapotranspiração potencial e atual. Características próprias do ambiente físico também incidem sobre a riqueza. Tem se corroborado uma relação entre alta riqueza de espécies com áreas tectonicamente ativas, ou regiões complexas a nível geográfico e fisiográfico. Isso devido a mudanças na forma da paisagem e do clima dentro de uma região específica, que alteram a organização e configuração dos habitats e deslocam as interações entre as espécies (Ricklefs, 2004).

Segundo a Teoria da Produtividade, espera-se que a riqueza aumente com a produtividade primária, uma vez que há aumento dos recursos disponíveis, e conseqüentemente um enriquecimento da cadeia trófica. Entretanto, a relação da produtividade com a riqueza pode também apresentar um padrão em forma de domo, ou seja, a riqueza é menor no extremo inferior por causa da escassez

de recursos, enquanto que no extremo superior, a riqueza diminui por causa das exclusões competitivas. Tais exclusões competitivas poderiam ter sido favorecidas porque no meio do domo, a alta quantidade de recursos originou uma maior especialização na exploração do recurso, mas com uma conseqüente diminuição do tamanho populacional das espécies, o que deixa elas vulneráveis a diversos fatores incluindo a mesma competição entre espécies (Begon *et al.*, 2007). Esse padrão em forma de domo, tem se encontrado em outros insetos sociais como formigas. Samson *et al.* (1997) em um estudo sobre a diversidade e a abundância de formigas em gradientes altitudinais das Filipinas, encontraram um pico de riqueza e abundância em altitudes intermediárias e uma forte diminuição com o aumento da altitude.

Existem outros estudos correlacionando riqueza com produtividade primária, como no caso de Sanders *et al.* (2003). Eles encontraram uma relação entre a identidade das espécies de formigas e a vegetação dominante, sugerindo que a riqueza para alguns taxa pode estar relacionado com baixos níveis de estresse fisiológico para o inseto, produto de locais com altos níveis de produtividade primária.

Entre os diferentes fatores que afetam a riqueza, os mais estudados são a variação de fatores climáticos (temperatura e precipitação), a produtividade, e a pressão exercida pelos predadores, porém, no caso dos cupins, pouco se tem estudado sobre o consumo e disponibilidade de energia a partir do solo e madeira (Brauman *et al.*, 2000; Palin *et al.*, 2011).

Percebe-se, que apesar de alguns avanços no estudo da variação da riqueza de cupins, os mecanismos que determinam esta variação com a altitude ainda são pouco compreendidos (Hodkinson, 2005).

1.3. Relação entre os cupins e o solo

Dentro da fauna do solo, os cupins se destacam por afetar significativamente muitas das propriedades do solo (Holt & Lepage, 2000). Considerados engenheiros nos ecossistemas (Wood & Sands, 1978; Stork & Eggleton, 1992; Lawton & Jones, 1995; Lavelle, 1997; Swift *et al.*, 1998; Palin *et al.*, 2011), os cupins contribuem no solo nos processos de humificação,

distribuição, proteção e estabilização da matéria orgânica, liberação de N e P imobilizado, assim como o incremento da capacidade da argila de absorver cátions (CTC), drenagem e aeração (Lavelle, 1997; Lee & Wood, 1971; Holt & Lepage, 2000; Ji *et al.*, 2000; Ali *et al.*, 2013). Constituem junto com formigas e minhocas, o grupo mais importante da pedofauna por afetar a estrutura física e função biológica do solo (Eschenbrenner, 1986; Jouquet *et al.*, 2002; Sarcinelli *et al.*, 2009; De Oliveira *et al.*, 2014). Através das atividades de forrageamento e construção de estruturas biogênicas, tais como ninhos e galerias, impactam o solo em três aspectos: i) translocação do solo de horizontes sub-superficiais, ii) microestrutura do solo, iii) construção de galerias nos horizontes sub-superficiais (Holt & Lepage, 2000).

Por outro lado, os cupins também são afetados pelas características químicas e físicas do solo, já que é um importante recurso alimentar para os cupins humívoros ou geófagos que utilizam matéria orgânica em alto grau de decomposição, junto com hifas e esporos de fungos, algas e restos de pequenos organismos (Brauman *et al.*, 2000). O solo também pode ser um recurso de nidificação dependendo do tamanho da colônia e preferências de cada espécie. Considerando que mais dos 60% das espécies de cupins sofrem um efeito direto das características do solo pelas suas atividades de forrageamento e construção de ninhos, faz-se indispensável caracterizar com mais detalhe o solo como recurso alimentar e de nidificação para explicar melhor a distribuição desses insetos.

1.4. Breve caracterização dos cupins

Os cupins são insetos eusociais que junto com as baratas fazem parte do superordem Dictyoptera (Krishna *et al.*, 2013). A eusocialidade é um tipo de organização social que apresenta os seguintes requisitos básicos: i) cuidado parental; ii) sobreposição de gerações; iii) assistência por parte dos descendentes a seus progenitores, e o elemento chave, iv) reprodução marcadamente limitada entre os membros da sociedade, sendo que só uns poucos indivíduos são férteis e se reproduzem (Hamilton, 1964; Thorne, 1997). As colônias apresentam divisão de trabalho associado a uma especialização

morfológica evidenciada em castas tais como soldados, operários e reprodutores (Roisin, 2000), sendo as duas primeiras castas compostas por indivíduos com capacidades reprodutivas reduzidas ou completamente estéreis (Thorne, 1997).

A distribuição dos cupins é predominantemente tropical, apresentando maior diversidade de espécies nas florestas tropicais. Desempenham um papel importante como decompositores (Wood & Sands, 1978; Matsumoto & Abe, 1979; Holt & Lepage, 2000; Roisin *et al.*, 2006), mediadores na ciclagem de nutrientes (Wood & Sands, 1978) e modificadores das características físicas e químicas do solo a través das suas atividades de forrageamento e construção de ninhos (Lavelle, 1997; Lee & Wood, 1971; Holt & Lepage, 2000; Ji *et al.*, 2000; Ali *et al.*, 2013). A base da sua dieta é a celulose, um dos recursos mais abundantes do planeta (Abe & Highashi, 1991) e também a mais abundante forma de carbono não fossilizado (Martin, 1991), porém poucos insetos conseguem digerir a celulose sendo os cupins os mais eficientes (Tabela 1). Todas as espécies se alimentam de matéria orgânica ao longo de um gradiente de humificação (Bignell & Eggleton, 2000), desde a madeira seca até a matéria orgânica incorporada no solo, com algumas espécies que se alimentam de matéria orgânica viva (Wood & Sands, 1978).

Tabela 1. Insetos capazes de digerir a celulose (Martin, 1991).

Grupos	% Celulose digerida
Isoptera	99
Hymenoptera: (Siricidae e Xyphidiidae)	12-68
Coleoptera: (Anobiidae, Buprestidae, Cerambycidae)	12-68

1.5. Breve descrição das guildas alimentares

Na ecologia, o termo guilda se refere a um grupo de espécies que exploram os mesmos tipos de recursos e que utilizam as mesmas estratégias na ocupação dos seus nichos (Terborgh & Robinson, 1986). No presente trabalho empregaremos o termo guilda alimentar para se referir a um grupo de espécies que exploram especificamente o mesmo recurso alimentar.

Donovan *et al.* (2001) propõem a classificação dos cupins em 4 grupos ou guildas alimentares: i) cupins primitivos e espécies que apresentam um

intestino relativamente simples, se alimentam predominantemente de madeira (o que representa o topo do gradiente de humificação); ii) cupins com um intestino mais complexo e se alimentam de madeira morta, epífitas ou serapilheira; iii) cupins com um intestino similarmente complexo e se alimentam de húmus sobre solo rico em matéria orgânica com fragmentos de plantas; e iv) cupins denominados comedores de solo verdadeiros, apresentam um intestino muito complexo e se alimentam de matéria orgânica do solo (MOS) com alto conteúdo mineral.

A biologia alimentar é o fator que afeta mais significativamente a história de vida e a evolução social dos Isoptera (Lima & Costa-Leonardo, 2007). Inward e colaboradores (2007) propõem a seguinte teoria para explicar a origem e diversificação do hábito alimentar: as famílias basais de Isoptera (“cupins inferiores”) compostas pelas famílias Mastotermitidae, Hodotermitidae, Termopsidae, Kalotermitidae, Serritermitidae e Rhinotermitidae, junto com seu parente mais próximo *Cryptocercus* spp. (baratas da madeira) apresentam uma alimentação baseada em madeira que digerem com ajuda de endosimbiontes flagelados presentes no intestino posterior (Krishna, 1969).

Posteriormente aparecem os cupins derivados (“cupins superiores”) da família Termitidae que representa entre o 70 e 85% de todas as espécies atuais e a maior diversificação em hábitos alimentares (Kambhampati & Eggleton, 2000; Inward *et al.*, 2007). A primeira subfamília Macrotermitinae apresenta uma alimentação baseada em fungos cultivados pelos cupins similarmente ao caso da formiga cortadeira, porém empregando madeira para alimentar o fungo. Aqui acontece a perda dos endosimbiontes flagelados, já que a maior parte da degradação da madeira acontece no fungo e não dentro do corpo do cupim (Rouland-Lefevre, 2000), por quanto os flagelados não são mais requeridos (Inward *et al.*, 2007). Anteriormente, os “cupins inferiores” nidificavam na mesma peça de madeira da que se alimentavam, mas como consequência na mudança do hábito alimentar, os cupins precisaram construir ninhos empregando partículas de solo, construindo especificamente sobre solo com alto teor de argila (Noirot & Darlington, 2000).

A construção de ninhos com solo na subfamília Macrotermitinae, foi uma preadaptação que permitiu posteriormente empregar esse substrato como recurso alimentar também (Inward *et al.*, 2007), permitindo a aparição das guildas que se alimentam de húmus e de matéria orgânica do solo (MOS) altamente recalcitrante (guilda iii e iv respectivamente). É interessante ressaltar que a subfamília Nasutitermitinae, com aproximadamente um 30% de todas as espécies de cupins derivados, apresenta uma certa plasticidade no habito alimentar, intercambiando entre madeira e solo (Figura 1).

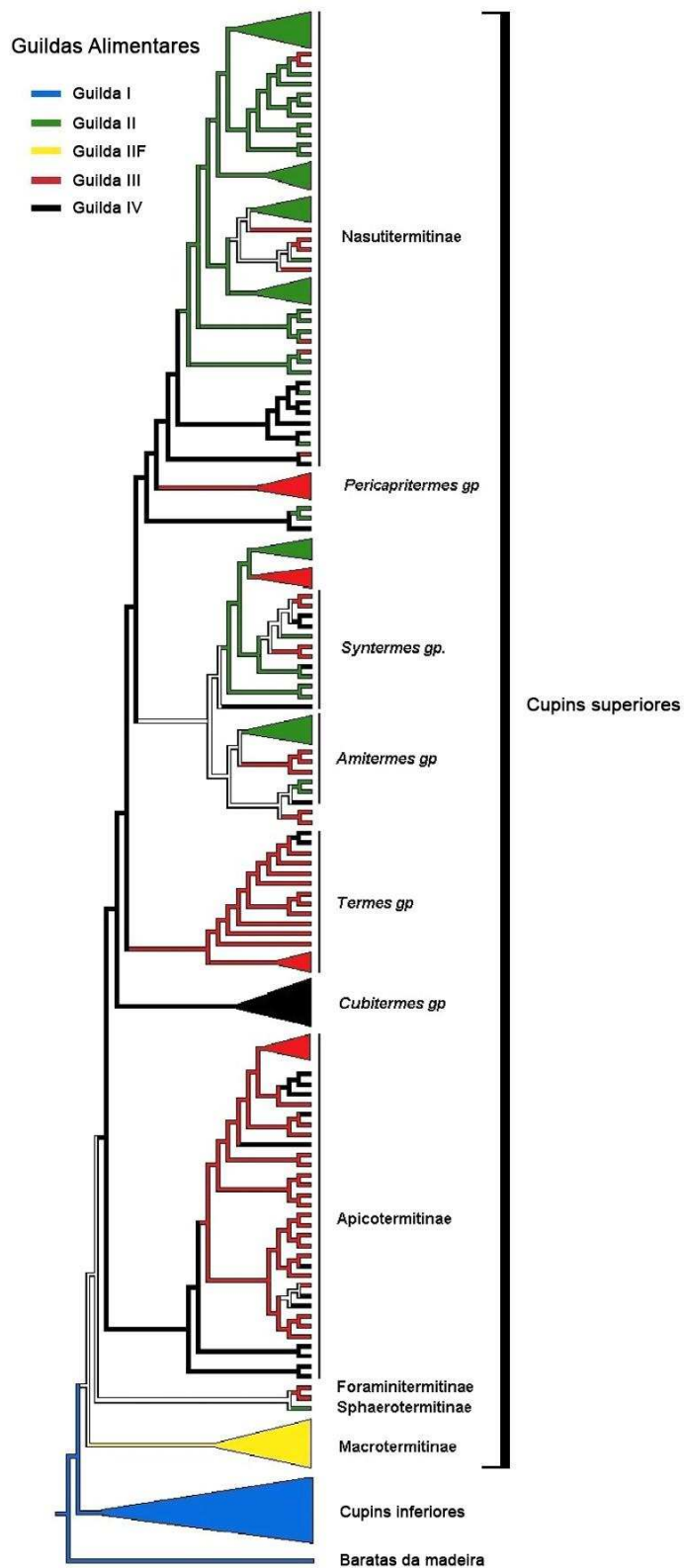


Figura 1. Arvore filogenética das guildas alimentares de cupins (Inward et al. 2007). Guilda I: comedores de madeira, Guilda II: comedores de madeira morta, epífitas e serapilheira, Guilda IIF: cultivadores de fungo; Guilda III: comedores de húmus, Guilda IV: comedores de MOS.

2. ESTABELECIMENTO DO PROBLEMA

2.1. Problema geral

Existem poucos estudos dos efeitos do solo sobre a distribuição e abundância dos cupins nas regiões tropicais, principalmente em sistemas montanhosos. Por outro lado, faltam estudos sobre o efeito dos cupins sobre o solo, especificamente no estoque de carbono em sistemas montanhosos neotropicais.

2.2. Problemas específicos

Problema I

A atual abordagem do efeito restritivo da temperatura sobre a riqueza de cupins em sistemas montanhosos mascara outros fatores bióticos e abióticos que são importantes para a compreensão da diversidade desse grupo de insetos. Especificamente, falta compreender qual é o papel do solo na diminuição da riqueza de cupins em gradientes altitudinais.

Problema II

O solo é um recurso que afeta diretamente a guilda de cupins humívoros, e afeta indiretamente as outras guildas através do tipo de vegetação presente, que por sua vez também é afetada pelos atributos do solo. Para resolver o problema I sobre o papel do solo na diminuição da riqueza de cupins, faz-se necessário um estudo prévio das propriedades físicas e químicas e sua relação com a riqueza de cupins em gradientes altitudinais que apresentem uma grande variedade enquanto a classes de solo.

Problema III

Os cupins cumprem um importante papel no seqüestro do carbono nos solos, porém os principais estudos tem se realizado em savanas tropicais sendo importante estudar novos ecossistemas como os campos de altitude de sistemas montanhosos neotropicais.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Estudar a variação da riqueza de cupins e a variação das propriedades do solo em gradientes altitudinais e pedológicos de sistemas montanhosos do Brasil e da Colômbia.

3.2. Objetivos específicos

Parte I

Quantificar a riqueza de cupins e quantificar as propriedades físicas e químicas do solo ao longo de gradientes altitudinais do Brasil e da Colômbia.

Parte II

Avaliar a variação na composição de guildas de cupins para ser correlacionadas com as propriedades físicas e químicas do solo ao longo de gradientes altitudinais do Brasil.

Parte III

Quantificar as propriedades físicas e químicas dos cupinzeiros de campos de altitude do Brasil para avaliar sua contribuição no estoque do carbono do solo.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, I., Sheridan, G., French, J., Ahmed, B. 2013. Ecological Benefits of Termite Soil Interaction and Microbial Symbiosis in the Soil Ecosystem. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* **3**: 63-85.

Abe, T., Higashi, M. 1991. Cellulose centered perspective on terrestrial community structure. *Oikos* **60**: 127-133.

Andrade L., Busoli A.C., Barbosa J.C. 2008. Temperatura no desenvolvimento e na reprodução de coconilhas criadas sobre abóboras. *Ciência Rural*, **38** (9): 2419-2426.

Begon, M., Townsend, D C., Harper, J. 2007. Ecology from Individuals to Ecosystems. Cuarta Edición. Blackwell Publishing. 752 p.

Bignell, D., Eggleton, P. 2000. Termites in ecosystems. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 95–119p.

Brauman, A., Bignell, D., Tayasu, I. 2000. Soil-feeding termites: biology, microbial associations, and digestive mechanisms. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology. Kluwer Academic Publishers. 333-361 p.

Donovan, S., Eggleton, P., Bignell, D. 2001. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites (Isoptera). *Ecological Entomology* **26**: 356-366.

Donovan, S.E., Eggleton, P., Martin, A. 2002. Species composition of termites of the Nyika plateau forest, northern Malawi, over an altitudinal gradient. *African Journal of Ecology* **40**: 379-385.

Eschenbrenner, V. 1986. Contribution des termites à lamicro-agregation dès soils tropicaux. *Séries Pédologie* **22**: 397-408.

Gaston, K.J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* **405**: 220-227.

Gathorne-Hardy, F., Sayaukani; Eggleton, P. 2001. The effects of altitude and rainfall on the composition of the termites (Isoptera) of the leuser ecosystem (Sumatra, Indonesia). *Journal of Tropical Ecology* **17**: 379-393.

Guerreiro, J.C, Busoli, A., Filho, E. 2003. Oviposition and predation of *Pentilia egena* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) in response to temperature. *Scientia Agricola* **60** (3): 587-589.

Hamilton, W. D. 1964. The Genetical Evolution of Social Behaviour. *Journal of Theoretical Biology* **7** (1): 1–16.

Hodkinson, I. 2005. Terrestrial insects along elevational gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews* **80**: 489-513.

Holt, J., Lepage, M. 2000. Termites and soil properties. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht. p. 389–407.

Inward, D., Vogler, A., Eggleton, P. 2007. A Comprehensive Phylogenetic Analysis of Termites (Isoptera) Illuminates Key Aspects of Their Evolutionary Biology. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **44**: 953–967.

Ji, R., Kappler, A., Brune, A. 2000. Transformation and mineralization of synthetic ¹⁴C-labeled humic model compounds by soil-feeding termites. *Soil Biology & Biochemistry* **32**: 1281-1291.

Jouquet, P., Lepage, M., Velde, B. 2002. Termite soil preferences and particle selections: strategies related to ecological requirements. *Insectes Sociaux* **49**: 1–7.

Kambhampati, S., Eggleton, P. 2000. Taxonomy and phylogeny of termites. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht. 1–23 p. Krishna, K. 1969. Introduction. In: Krishna, K. & Weesner, F. (Eds.). *Biology of Termites* Academic Press, Inc. London. 1-17 p.

Krishna, K., Grimaldi, D., Krishna, V., Engel, M. 2013. Treatise on the Isoptera of the world. *Bulletin of the American Museum of Natural History* **377**: 2704 p.

Lawton, J.H., Jones, D.G. 1995. Linking species and ecosystems: organisms as ecosystem engineers. In: *Linking Species and Ecosystems* (Jones, C. G., Lawton, J.H. Eds). Chapman & Hall, New York. 141-150 p.

Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in ecological research* **21**: 93-132.

Lee, K.E. & Wood, T.G. 1971. *Termites and Soils*, Academic Press, London, UK.

Lima, J.T & Costa-Leonardo, A.M. 2007. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). *Biota Neotropica*. **7**: 243-250. <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n2/pt/abstract?thematicreview+bn0400702> 2007. ISSN 1676-0603.

Martin, M. 1991. The evolution of cellulose digestion in insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **333**: 281-288.

Matsumoto, T., Abe, T. 1979. The role of termites in an equatorial rain forest ecosystem of west Malaysia. II. Leaf litter consumption on the forest floor. *Oecologia* **38**: 261-274.

Noirot, C., Darlington, J. 2000. Termites nests: architecture, regulation and defence. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 121-139 pp.

Oliveira, F.S., Varajão, A.F., Varajão, C.A., Schaefer, C.E., Boulangé, B. 2014. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma* **226–227**: 250–259.

Palin, O., Eggleton, P., Malhi, Y., Girardin, C., Rozas-Dávila, A., Parr, C. 2011. Termite diversity along an Amazon-Andes elevation gradient, Peru. *Biotropica* **43** (1): 100-107.

Pessoa L.G.A., Freitas, S., Loureiro, E. 2009. Efeito da variação da temperatura sobre o desenvolvimento embrionário e pós-embrionário de *Chrysoperla raimundoi* Freitas & Penny (Neuroptera: Chrysopidae). *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo **76** (2): 239-244.

Reis, Y. 2007. Comparação da riqueza de Isoptera entre as florestas ombrófilas densas, mesófilas de altitude e matas-de-cipó de altitude, no Domínio Atlântico do sul da Bahia. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 97 p.

Ricklefs, R.E. 2004. A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology letters* **7**: 1-15.

Roisin, Y. 2000. Diversity and evolution of caste patterns. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 95–119 p.

Roisin, Y., Dejean, A., Corbara, B., Orivel, J., Samaniego, M., Leponce, M. 2006. Vertical stratification on the termite assemblage in a neotropical rainforest. *Oecologia* **149** (2): 301-11.

Rosenthal L., Ribeiro, P.B., Rosenthal, M., Vianna, E.E., Porto, L. M. 2013. Influência de baixas temperaturas no desenvolvimento e aspectos bionômicos de *Musca domestica* (Linnaeus, 1758) (Diptera, Muscidae). *Biotemas* **26** (4): 93-99.

Rouland-Lefèvre, C. Symbiosis with fungi. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. 2000. (Eds). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 289-306 p.

Samson, D.A., Richart, E.A., Gonzales, P.C. 1997. Ant diversity and abundance along an elevational gradient in the Philippines. *Biotropica* **29** (3): 349-363.

Sanders, N.J., Moss, J., Wagner, D. 2003. Patterns of ant species richness along elevational gradients in an arid ecosystem. *Global Ecology and Biogeography* **11**: 93–102.

Sarcinelli, T., Schaefer, C., Lynch, L., Arato, H., Viana, J., Albuquerque Filho, M., Gonçalves, T. 2009. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. *Catena* **76**:107– 113.

Speight, M.R., M.D. Hunter & A.D. Watt. 1999. Ecology of insects, concepts and applications. Oxford: Blackwell Science. 350p.

Stork, N.E., Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* **7**: 38-55.

Swift, M.J, Andrén, O., Brussaard, L., Briones, M., Couteaux, M., Ekschmitt, K., Kjoller, A., Loiseau, P., Smith, P. 1998. Global change, soil biodiversity and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology* **4**: 729-743 p.

Terborgh, J., Robinson, S. 1986. Guilds and their utility in Ecology. In: Kikkawa, J. & Derek, J.A. (Eds.) Community Ecology. London, Blackwell Scientific Publications. 65-90 p.

Thorne, B. 1997. Evolution of eusociality in termites. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* **28**: 27-54.

Wood, T.G., Sands, W.A. 1978. The role of termites in ecosystems. In: Production Ecology of Ants and Termites (Brian, M.V. Ed). Cambridge University Press, London. 245-292 p.

5. RESULTADOS

Esta tese foi dividida em 3 capítulos. O capítulo 1 baseado na revisão de exemplares de museus da Colômbia, levanta a pergunta se a diminuição da riqueza de cupins com o aumento da altitude é um efeito amostral produto de dados com metodologia de coleta não padronizada, ou se responde a um efeito biológico. Para responder esta questão, foi realizado em campo uma coleta de cupins com esforço amostral padronizado ao longo de um gradiente altitudinal. Este capítulo nos surpreendeu com um resultado inesperado que levantou a seguinte questão: Por que o nicho do solo deixou de ser empregado pelos cupins com o incremento da altitude? O capítulo 1 inspirou uma série de hipóteses que foram testadas no capítulo 2, no qual verificamos quais atributos do solo e dos geoambientes afetam direta e indiretamente a riqueza de espécies de cupins em duas áreas de conservação do Brasil. No capítulo 3 verificamos como os cupins contribuem para o estoque de carbono do solo através da construção de ninhos. Finalmente se faz uma conclusão geral, sintetizando os principais resultados obtidos.

CAPÍTULO I: Riqueza de cupins e propriedades do solo em um gradiente altitudinal da Colômbia. Manuscrito original, apresentado em formato de submissão para publicação.

A través da revisão de exemplares em museus entomológicos da Colômbia em um trabalho prévio, notou-se um padrão de diminuição da riqueza de espécies com a altitude sendo os cupins humívoros os que ocuparam a menor faixa altitudinal. Devido a que as amostras provinham de pesquisas com metodologia e esforço de coleta diferente, foi realizado um estudo da riqueza de cupins ao longo de um gradiente altitudinal nos Andes colombianos com a finalidade de corroborar o padrão. O estudo foi complementado com a coleta de amostras de solo e serapilheira para descobrir sua possível influencia sobre a riqueza de cupins. Os resultados mostraram um efeito negativo da acidez potencial do solo sobre a riqueza de cupins humívoros, enquanto as outras guildas não foram afetadas por esse atributo do solo. Tais resultados

demonstram que ainda que fatores climáticos expliquem em maior proporção a diminuição da riqueza de cupins, as propriedades do solo também explicam a riqueza e abundância desses organismos, sendo importante realizar estudos mais aprofundados nessa área.

CAPÍTULO II: Efeito dos atributos do solo sobre a riqueza de espécies e composição de guildas alimentares de cupins ao longo de dois gradientes altitudinais do Brasil. Manuscrito original, apresentado em formato de submissão para publicação.

Durante o estudo da riqueza de cupins e composição das guildas alimentares em dois gradientes altitudinais da Mata Atlântica, Brasil, foi corroborado o padrão de diminuição de riqueza, porém a guilda de humívoros contrário ao gradiente altitudinal dos Andes colombianos, não foi afetado pela altitude para a faixa altitudinal de 1000 a 2000 m. Os cupins intermediários e xilófagos foram afetados positivamente por solos mais profundos que condicionam o porte da vegetação que o local pode sustentar e por tanto a oferta de recursos para esses insetos.

CAPÍTULO III: Influência dos cupins no seqüestro do carbono em solos altimontanos do Sudeste Brasileiro. Manuscrito original, apresentado em formato de submissão para publicação.

A través da coleta de cupins em campos de altitude em duas unidades de conservação da floresta, notou-se a presença de pequenos cupinzeiros epigeicos de cor muito escura e que apresentavam grande dureza em alguns casos. Já que os solos de campo de altitude apresentam menor teor de argila que os presentes em altitudes menores, surgiu o interesse de estudar as características físicas e químicas do material que compõem tais cupinzeiros e comparar com o solo envolta deles. Alguns dos cupinzeiros foram coletados em campo com cupins vivos no seu interior, o que permitiu complementar o estudo com medições de CO₂ e CH₄ em laboratório dos ninhos com e sem presença de cupins. Os resultados sugerem que os cupinzeiros contribuem na maior estabilidade da matéria orgânica contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados.

CAPÍTULO I

Riqueza de cupins e propriedades do solo em um gradiente altitudinal dos Andes colombianos

Manuscrito original, apresentado em formato de submissão.

Riqueza de cupins e propriedades do solo em um gradiente altitudinal dos Andes colombianos

Resumo

Estudou-se a relação entre a riqueza e abundância de cupins e as características químicas e granulométricas do solo, em um gradiente altitudinal e pedológico no Parque Nacional Natural Serranía de Los Yariquies (Santander, Colômbia). Foram abertos seis perfis de solo, coletadas amostras de cada horizonte e determinadas suas propriedades físico-químicas. Ao redor de cada perfil foram coletadas amostras compostas de serapilheira e coletados cupins com um esforço de captura de duas pessoas/hora. As análises estatísticas envolveram Modelagem Linear Generalizada (GLM), com respectiva análise de resíduo para analisar a riqueza e abundância de cada guilda alimentar de cupins com o incremento da altitude e sua relação com as propriedades físico-químicas do solo e da serapilheira. Os resultados mostraram que a riqueza de espécies foi afetada negativamente com o incremento da altitude ($P=0.0013019$), porém de forma diferente entre as guildas ($P=0.0012442$), com húmívoros e intermediários mostrando comportamento similar, enquanto os xilófagos e ceifadores não foram afetados pela altitude. As espécies xilófagas foram observadas em toda a topossequência, ao contrário das espécies húmívoras que são limitadas as porções mais baixas. Tal resultado é associado à presença de árvores de grande porte ocupando densamente a área em toda a topossequência, correspondendo à fonte de madeira. Os teores de macronutrientes da serapilheira e as características granulométricas do solo não se correlacionaram com a riqueza de espécies de cupins, enquanto os valores de acidez potencial em interação com a altitude afetaram negativamente a riqueza de espécies de cupins húmívoros, demonstrando que a altitude afeta indiretamente os cupins mediante o recurso alimentar do solo.

Introdução

A riqueza de espécies, compreendida como a variedade de formas de vida (Gaston, 2000), ou como a diversidade taxonômica dos seres vivos (Ricklefs, 2004) apresenta um importante papel nos processos dos ecossistemas (Gaston, 2000). Entre os padrões de distribuição da riqueza mais conhecidos estão os correlacionados com gradientes de espaço ou de condições ambientais, como no caso da latitude, longitude, profundidade e altitude (Gaston, 2000).

A diminuição da riqueza com o aumento da altitude é um dos padrões mais consistentes de distribuição espacial (Begon *et al.*, 2007). Com o incremento da altitude, vários fatores abióticos como a temperatura, precipitação, velocidade do vento e radiação alteram-se, produzindo uma diminuição geral da complexidade estrutural do hábitat (Hodkinson, 2005). Entretanto, o conhecimento desse padrão é incompleto, em medida que variações desse padrão podem depender do grupo taxonômico e do gradiente considerado (Rahbek, 1995; Lomolino, 2001; Kluge *et al.*, 2006). A riqueza pode apresentar um pico em altitudes altas, baixas ou intermediárias, ou não apresentar tendência nenhuma, dependendo da comunidade e da faixa altitudinal estudada (Hodkinson, 2005).

Alguns trabalhos relatam uma diminuição do número de espécies com o aumento da altitude (Sfenthourakis, 1992; Fisher, 1996; Hosoda, 1999; Monadjem, 1999), outros descrevem uma relação unimodal com picos de riqueza em altitudes intermediárias (Olson, 1994; Fisher, 1998, 1999, 2000; Sanders, 2003) e ainda outros relatam uma relação positiva (Ribeiro *et al.*, 1994; Montana & Valiente-Banuet, 1998; Sanders, 2003). Segundo Richardson e colaboradores, o pico de riqueza representa o ponto ao longo do gradiente em que se tem a combinação de condições mais favoráveis para o organismo estudado (Richardson *et al.*, 2005), o que poderia explicar a variabilidade de padrões encontrados entre os diferentes estudos.

Atualmente existem poucos estudos referentes à variação da riqueza de cupins em gradientes altitudinais. Entre os mais recentes esta o trabalho de

Reis (2007) em florestas ombrófilas e mesófilas de mata atlântica do estado de Bahia, que não registrou efeito da altitude sobre a riqueza de espécies. As justificativas fornecidas pela autora referente à ausência de efeito da altitude sobre a riqueza foram que a faixa altitudinal estudada (0 a 1000 m) corresponde sempre à maior dominância desses organismos e o tipo de protocolo de coleta empregado. O restante dos estudos relatam uma diminuição da riqueza com o aumento da altitude (Donovan *et al.*, 2002; Gathorne-Hardy *et al.*, 2001; Palin *et al.*, 2011), sendo empregado o argumento que fatores climáticos como a diminuição da luz solar e temperatura em altitudes maiores prejudicam a taxa metabólica dos indivíduos (Gathorne-Hardy *et al.*, 2001; Olson, 1994).

Por outra parte, outro estudo sobre a riqueza e abundância de insetos associados à serapilheira em diferentes altitudes em Puerto Rico, conclui que a riqueza e abundância de espécies foi melhor explicada pela composição química e natureza física da serapilheira, do que pelos efeitos diretos dos fatores climáticos (Richardson *et al.*, 2005). No mais recente estudo (Palin *et al.*, 2011) realizado no Peru, em um gradiente altitudinal amplo (entre 200 e 3000 m), os autores analisam alguns dados ambientais porém recomendam fazer estudos da energia disponível para os cupins no solo.

Considerados engenheiros nos ecossistemas, os cupins contribuem no solo nos processos de humificação, distribuição, proteção e estabilização da matéria orgânica, liberação de N e P imobilizado, assim como o incremento da capacidade da argila de absorver cátions (CTC), drenagem e aeração (Lavelle, 1997; Lee & Wood, 1971; Holt & Lepage, 2000; Ji *et al.*, 2000; Ali *et al.*, 2013).

A base da alimentação dos cupins é a celulose, a fonte mais abundante de matéria orgânica sobre o planeta. Os cupins se alimentam de partes de plantas ao longo de um gradiente amplo de humificação (Bignell & Eggleton, 1995) desde plantas vivas até matéria orgânica dispersa no solo. São detritívoros de grande impacto (Holt & Lepage, 2000), devido a sua socialidade que permite que as colônias alcancem uma alta biomassa e densidade nos ecossistemas, além de otimizar a eficiência na exploração dos recursos alimentares. Apresentam uma grande variação na complexidade social que se encontra

correlacionada com suas fontes alimentares, suas estratégias de forrageamento e o tipo de ninho que constroem (Donovan *et al.*, 2001; Eggleton & Tayasu, 2001).

Os recursos alimentares para os cupins são madeira, serapilheira, húmus, solo e folhas ou raízes de plantas vivas. Por outro lado, os cupins denominados humívoros ou geófagos extraem do solo a matéria orgânica em alto grau de decomposição junto com hifas e esporos de fungos, algas e restos de pequenos organismos (Brauman *et al.*, 2000). Podem ser considerados como recursos de nidificação o solo e a disponibilidade de árvores. Solos com maior conteúdo de argila são mais propícios para a construção de ninhos. Também a profundidade do solo em si é um recurso de nidificação já que a profundidade refletirá na quantidade de ninhos e tamanho populacional de cupins que pode manter o local.

O objetivo do presente estudo foi quantificar a riqueza de cupins e quantificar as propriedades físicas e químicas do solo ao longo de um gradiente altitudinal nos Andes colombianos. A hipótese testada foi que as propriedades do solo variam ao longo do gradiente altitudinal afetando a riqueza de espécies. É o primeiro estudo que aprofunda na composição química do solo e a serapilheira, com o intuito de estudar sua variação com a altitude e sua influência sobre a riqueza de cupins.

Materiais e Métodos

Foi compilada a distribuição altitudinal de gêneros de cupins na Colômbia usando como base o levantamento de dados feito em 18 museus da Colômbia descrito em Vargas-Niño *et al.* (2005). Posteriormente para verificar que o padrão de diminuição da riqueza de cupins com a altitude baseado em dados de museus não é um efeito amostral e sim um efeito biológico, foi estudado um gradiente entre 1000 e 2000 m com esforço de coleta padronizado, dentro do Parque Nacional Natural Serranía de los Yariques, departamento de Santander, Colômbia. Foi escolhida essa faixa altitudinal em que a riqueza de espécies começava a diminuir com o intuito de poder estudar os fatores que

afetam negativamente os cupins e que possivelmente não estariam atuando na faixa altitudinal que apresenta maior riqueza (entre 0 e 1000 m). Por aspectos logísticos, não foi possível realizar o gradiente completo na mesma área do parque, sendo a primeira parte (1000-1600 m) realizada no sector La Belleza, e a segunda parte (1600-2000 m), no sector Manchurrias.

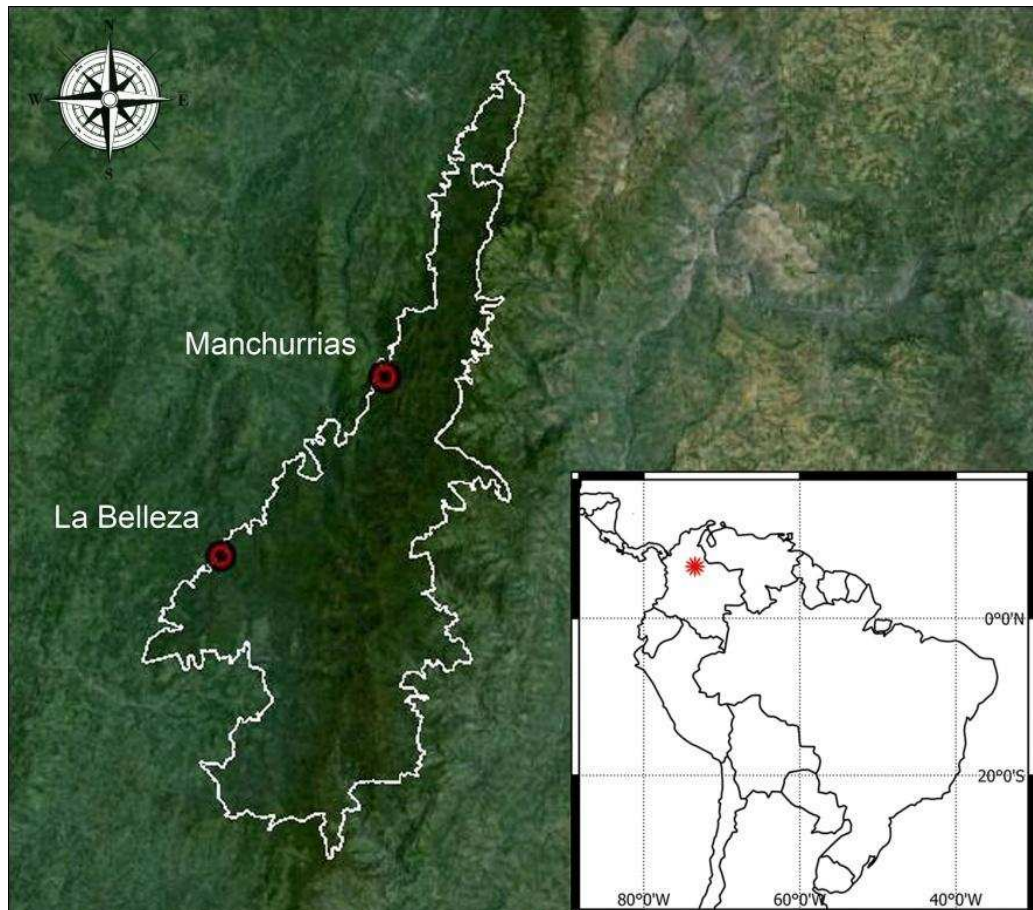


Figura 2. Localização geográfica da área de estudo no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguies (Santander, Colômbia).

Área de estudo

A Serrania de los Yariguies está localizada no lado Ocidental da cordilheira oriental colombiana, entre os paralelos 6°N e 7°N. Caracteriza-se por apresentar algumas das encostas mais íngremes dos Andes colombianos, com profundas ravinas produzidas pelos rios, e declividades superiores a 50% em muitos lugares (Donegan *et al.*, 2004). Possui 500 mil ha de área, das quais 39% correspondem à floresta primária, provavelmente o maior remanente regional (Donegan *et al.*, 2010).

O Parque Nacional Natural Serranía de Los Yariguíes ou de Los Cobardes, está localizado dentro da Serranía, com uma área atual de 59.247 ha. (Vásquez & Serrano, 2009). Apresenta uma faixa altitudinal desde os 500 até 3200 m, e temperatura média entre 12 e 18°C. A Precipitação acontece durante todos os meses do ano sem apresentar estação seca, variando desde 4000 mm/ano de chuva na zona mais úmida na parte ocidental, e 1200 mm/ano na zona oriental. Os solos pertencem ao grupo de *Typic troporthents*, *Typic Dystropepts* e *Typic Humitropepts* segundo a classificação da Soil Taxonomy (SSS, 1999). A litologia é de origem sedimentar com inclusões ígneas, constituído por siltitos, folhelhos calcáreos e arenitos (UAESPNN, 2008; Caballero *et al.*, 2010). Os solos acima de 3000 m tem presença de cinzas vulcânicas (UAESPNN, 2008).

Vegetação

O tipo de vegetação foi relativamente homogêneo ao longo do gradiente altitudinal estudado (Figura 3). O relevo pode ser caracterizado de montanhoso a escarpado com declividade média acima de 50%.

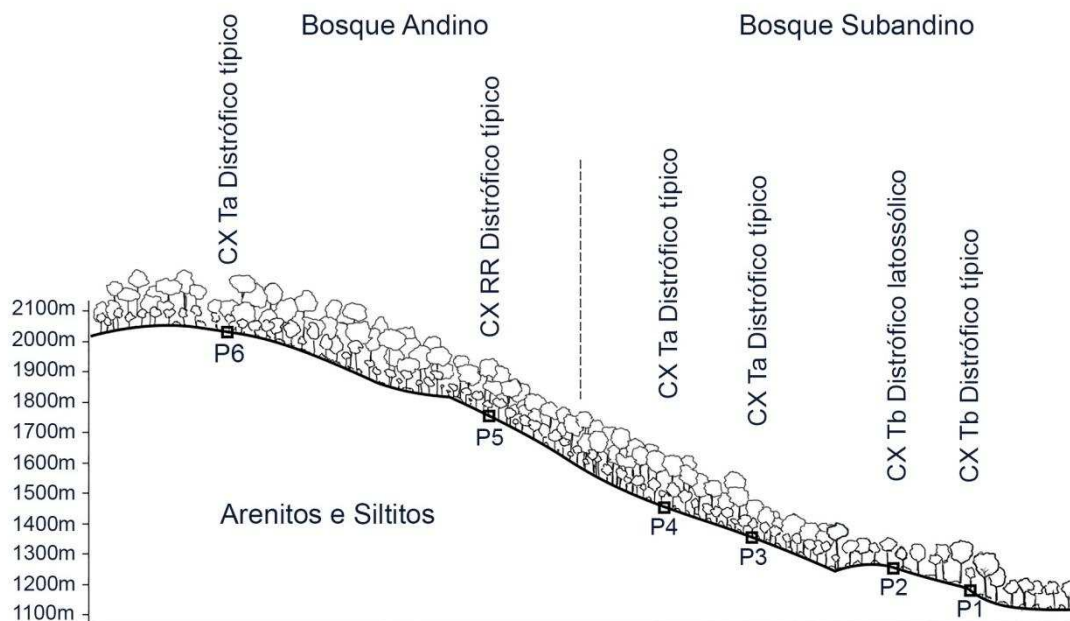


Figura 3. Corte pedológico e vegetacional na topossequência de solos estudados ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariguies, Santander, Colômbia.

A vegetação da primeira parte do gradiente amostrado, entre 1175 e 1455 m corresponde a bosque subandino (Figura 4), com espécies muito similares as terras baixas da Amazônia ou bosques trans-andinos, como leguminosas e espécies da família Bignoniaceae, Moraceae, Rubiaceae, Palmae, Sapindaceae, Annonaceae, Meliaceae, Sapotaceae, Melastomataceae e Piperaceae (Gentry, 1993). Na segunda parte do gradiente amostrado, entre 1700 e 2015 m, o bosque andino (Figura 5) apresenta outras famílias tais como Solanaceae, Aquifoliaceae, Myrsinaceae, Araliaceae e Lauraceae com *Buchetia* spp. e *Miconia* spp. como gêneros dominantes (Gentry, 1993). Nesse segundo ambiente, foi possível observar em campo a dominância de *Quercus humboldtii*. Detalhes das espécies dominantes encontradas em cada altitude, podem ser observados nas fichas de descrição dos perfis no fim do presente capítulo.



Figura 4. Vegetação da primeira parte do gradiente altitudinal amostrado (1175-1455 m). Detalhe da vegetação sub andina na borda da floresta, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, sector La Belleza.

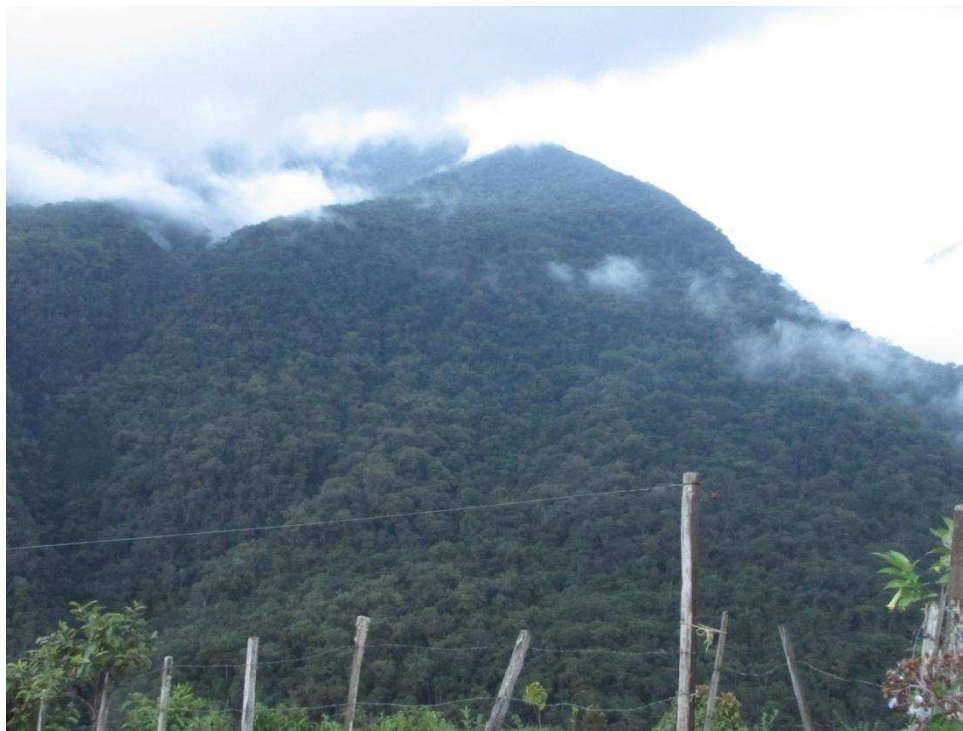


Figura 5. Vegetação da segunda parte do gradiente altitudinal estudado (1700-2015 m). Vegetação andina, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, sector Manchurrias.

Coleta de solos, serapilheira e cupins

As coletas foram realizadas no final de agosto de 2012, na vertente mais úmida do parque. Foram selecionadas seis altitudes entre 1100 e 2100 m (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição da área de estudo no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquies (Santander, Colômbia).

Perfil	Coordenadas	Altitude	Fitofisionomia	Descrição da vegetação
1	6°33'30.22"N 73°33'03.76"W	1175 m	Bosque subandino	Floresta ombrófila. Dossel aberto e irregular com emergentes de mais de 20 m. Espécie dominante <i>Ficus</i> sp., sotobosque com <i>Aiphanes</i> sp., <i>Luehea</i> sp., <i>Viola</i> sp., <i>Protium</i> sp., <i>Piper</i> sp., <i>Eschweilera</i> sp. e <i>Eugenia</i> sp.
2	6°33'29.17"N 73°33'01.55"W	1250 m	Bosque subandino	Floresta ombrófila. <i>Nectandra</i> sp. dominante no dossel e <i>Miconia</i> sp., <i>Elaeagia</i> sp., <i>Clusia</i> sp. no sotobosque.
3	6°33'21.36"N 73°33'03.59"W	1352 m	Bosque subandino	Floresta ombrófila. <i>Podocarpus</i> cf. <i>oleifolius</i> dominante no dossel e <i>Geonoma</i> sp. No sotobosque.
4	6°33'23.79"N 73°32'56.58"W	1455 m	Bosque subandino	Floresta ombrófila. <i>Aniba</i> sp. e <i>Sloanea</i> sp. dominante no dossel e <i>Psychotria poeppigiana</i> e <i>Guettarda</i> sp. no sotobosque.
5	6°33'27.84"N 73°32'39.61"W	1765 m	Bosque andino	Floresta ombrófila. <i>Quercus humboldtii</i> dominante no dossel e <i>Billiarósea</i> , <i>Anthurium</i> sp., <i>Calathea</i> sp. e <i>Lepanthes</i> sp. no sotobosque.
6	6°41'01.20"N 73°26'01.98"W	2015 m	Bosque andino	Floresta ombrófila. <i>Juglans neotropica</i> dominante no dossel e <i>Posoqueria</i> sp., <i>Schefflera</i> sp., <i>Guzmania</i> sp., <i>Monstera</i> sp. no dossel.

Em cada altitude, foi aberta uma trincheira de 1 x 1 m para realizar a descrição e coleta de amostras de solo para sua posterior caracterização química e física. Em volta de cada trincheira foram estabelecidas 5 parcelas de 2 x 10 m cada uma, distanciadas entre si a cada 10 m (Figura 6). Dentro de cada parcela, foram tomadas 5 medidas da profundidade do solo empregando um ferro aguçado, totalizando 25 medidas por altitude. Dentro das parcelas também foi realizada a coleta manual de cupins que se encontravam entre ninhos, troncos em decomposição, serapilheira e no mesmo solo no horizonte

superficial, com um esforço amostral de duas pessoas/hora (Figura 7). Adicionalmente, para cada amostra de cupins coletada, foi registrada a informação sobre o substrato e tomadas medidas de galhos, troncos e ninhos ocupados por cupins, com a finalidade de registrar quais nichos estavam sendo ocupados em cada altitude.

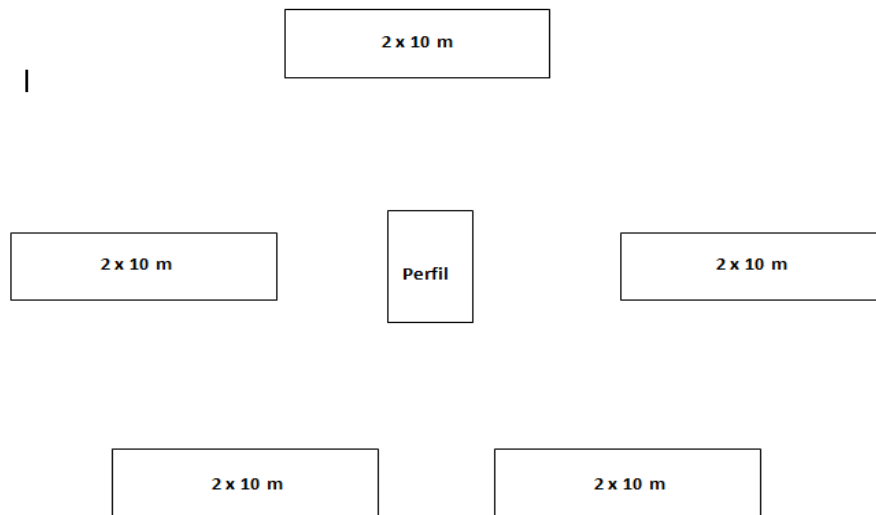


Figura 6. Distribuição da trinchera e as cinco parcelas em cada uma das seis altitudes estudadas no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguies (Santander, Colômbia).



Figura 7. Abertura da trinchera e coleta de cupins em troncos em decomposição no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguies (Santander, Colômbia).

Para cada altitude, a riqueza de cupins foi determinada como o número de espécies, enquanto a abundância foi determinada como o número de amostras de cupins coletadas. Adicionalmente, em cada parcela foram tomadas 5 medidas da profundidade da serapilheira e coletadas 5 amostras de serapilheira, cada uma com uma área de 15 x 15 x 15 cm que foram homogeneizadas para originar uma amostra composta por parcela, totalizando a coleta de 5 amostras compostas por cada altitude, para sua posterior caracterização química.

Análises químicas e granulométricas

As amostras de solos secas ao ar foram destorroadas e peneiradas, obtendo-se a fração com diâmetro menor que 2 mm (TFSA). Após a secagem, as amostras, tiveram suas propriedades físicas e químicas determinadas conforme métodos reunidos por EMBRAPA (1997). As amostras de serapilheira foram secas durante 72 horas em estufa a 50 °C, moídas e submetidas a análises químicas para determinar os teores de N pelo método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), P por colorimetria pelo método do ácido ascórbico (Braga & Defelipo, 1974), determinação de C na mufla, K por fotometria de chama, e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, seguindo metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Posteriormente os solos foram identificados pelo sistema de classificação brasileiro (EMBRAPA, 2013) e também pela classificação da Soil Taxonomy (SSS, 2014) baseado na caracterização em campo, e os resultados das análises químicas e físicas das amostras.

Identificação de espécies e guildas alimentares de cupins

Os espécimes de cupins foram identificados a nível de gênero com o auxílio de chaves taxonômicas (Fontes, 1992; Constantino, 1999, 2002) e a nível de espécie por comparação com a coleção de referência de Isoptera do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP). Foi determinado o tipo de preferência alimentar para as espécies a partir de revisão de literatura

(Constantino, 1992; DeSouza & Brown 1994, Donovan *et al.*, 2001; Vasconcellos, 2010; Canello *et al.*, 2014). Nos casos de divergência entre os autores, adotou-se o critério escolhido pela maioria dos autores. Foi empregada a classificação de guildas ou grupos funcionais alimentares (xilófagos, comedores de serapilheira, intermediários e humívoros) proposta por Rezende (2012).

Análises estatísticas

Para analisar a variação da riqueza e abundância de todas as guildas de cupins com o incremento da altitude, foi utilizada regressão lineal, com distribuição de Poisson corrigida para quasipoisson para cada guilda por separado.

Para analisar a variação dos macronutrientes da serapilheira, foi feita uma média entre as 5 parcelas por cada altitude, para obter um valor único de cada macronutriente por altitude. Referente aos atributos do solo, para cada atributo químico e físico foi feita uma média entre todos os horizontes presentes em cada perfil obtendo um único valor por perfil. Esse valor médio foi correlacionado com os cupins que poderiam empregar direta ou indiretamente todos os horizontes do perfil como no caso dos xilófagos, ceifadores e intermediários. Já para a guilda de humívoros, foi feita a correlação com os valores correspondentes unicamente ao horizonte A, devido a que esta guilda alimentar emprega principalmente os 15 primeiros cm do solo.

Foram realizados modelos lineares individuais de regressão lineal com distribuição normal e distribuição de Poisson corrigido para quasipoisson, para estudar a relação entre atributos do solo e serapilheira com a riqueza de cupins, em interação com a altitude. Cada modelo independente ficou da seguinte maneira: *riqueza~atributo*altitude*. As análises estatísticas foram realizadas no programa R (R Development Core Team, 2012), envolveram Modelagem Linear Generalizada (GLM), com respectiva análise de resíduos a fim de verificar a aceitabilidade dos modelos utilizados e ocorrência de sobredispersão. O nível de significância assumido foi de $P < 0.05$ que corresponde até um 5% de probabilidade de erro no resultado das análises

estatísticas. Adicionalmente foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) para correlacionar os atributos do solo com as espécies de cupins.

Resultados

Riqueza de cupins

Em escala nacional, os dados da distribuição altitudinal de cupins compilados para a Colômbia mostraram uma diminuição da riqueza de gêneros com o aumento da altitude (Figura 8). Também foi possível observar uma tendência na diminuição da distribuição altitudinal dos cupins humívoros, que apresentaram uma faixa limitada aos 1900 m, enquanto os intermediários e ceifadores chegam aos 2300 m, e os xilófagos ocorreram em todas as altitudes.

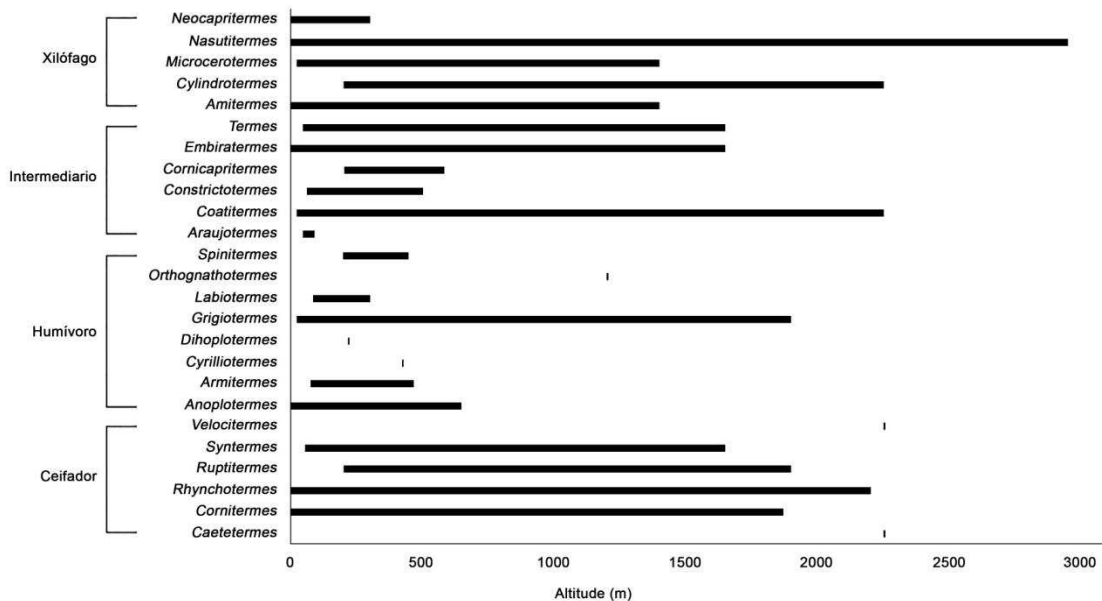


Figura 8. Distribuição altitudinal dos gêneros e guildas alimentares de Termitidae na Colômbia (Vargas-Niño *et al.*, 2005)

No gradiente altitudinal estudado dos Andes colombianos localizado no Parque Nacional Natural Serranía de Los Yariquíes, foram coletadas 16 espécies de cupins ao longo do gradiente altitudinal e pedológico. Foram encontradas 6 espécies de xilófagos, 5 de humívoros, 4 de intermediários, com uma só espécie de ceifadores (Figura 9, Tabela 3).

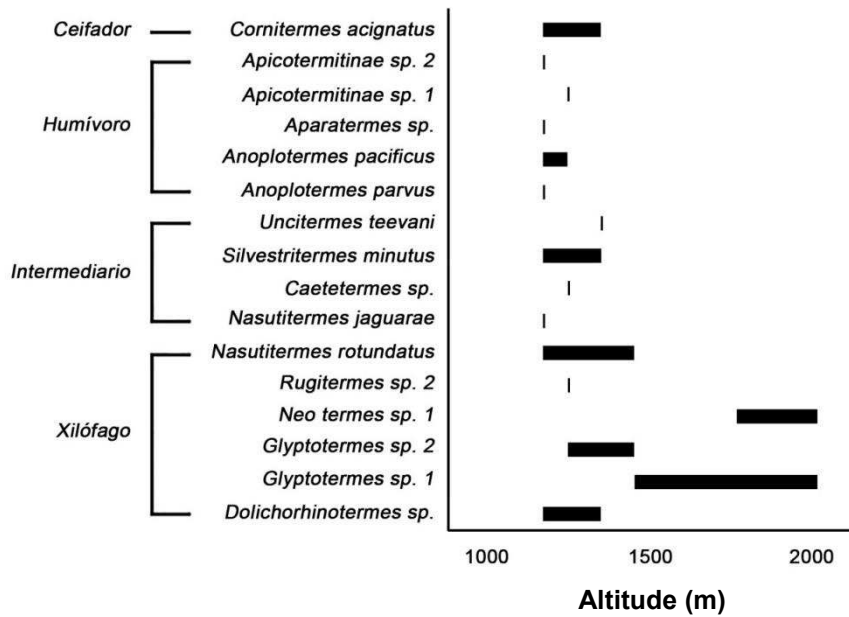


Figura 9. Distribuição altitudinal dos gêneros e guildas alimentares de cupins no gradiente altitudinal dos Andes colombianos, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes.

Tabela 3. Espécies de cupins com suas respectivas preferências alimentares baseado em revisão de literatura. Xilófago: comedor de madeira; Intermediário: recursos alimentares variados; Humívoro: comedor de solo; Ceifador: comedor de folhas e serapilheira.

Especie	Guilda alimentar	1175m	1250m	1352m	1455m	1765m	2015m
Kalotermitidae							
<i>Glyptotermes</i> sp. 1	Xilófago				2	2	3
<i>Glyptotermes</i> sp.2	Xilófago		1		1		
<i>Neotermes</i> sp. 1	Xilófago					1	3
<i>Rugitermes</i> sp.2	Xilófago		1				
Rhinotermitidae							
<i>Dolichorhinotermes</i> sp.	Xilófago	1		1			
Termitidae							
Apicotermatinae							
<i>Anoplotermes pacificus</i>	Humívoro	1	1				
<i>Anoplotermes parvus</i>	Humívoro	1					
<i>Aparatermes</i> sp.	Humívoro	1					
<i>Apicotermatinae</i> sp.1	Humívoro		1				
<i>Apicotermatinae</i> sp.2	Humívoro	1					
Nasutitermitinae							
<i>Caetetermes</i> sp.	Intermediario		1				
<i>Cornitermes acignatus</i>	Ceifador	1		1			
<i>Nasutitermes rotundatus</i>	Xilófago	2	3	8	2		
<i>Nasutitermes jaguarae</i>	Intermediario	1					
<i>Silvestritermes minutus</i>	Intermediario	1	2	3			
<i>Uncitermes teevani</i>	Intermediario			3			
TOTAL RIQUEZA		9	7	5	3	2	2
TOTAL ABUNDÂNCIA		10	10	16	5	3	6

Os resultados mostraram que a riqueza de espécies foi afetada negativamente com o incremento da altitude ($P=0.0013019$, Figura 10), porem de forma diferente entre as guildas ($P=0.0012442$, Tabela 4), com humívoros e intermediários mostrando comportamento similar, enquanto os xilófagos e ceifadores não foram afetados pela altitude.

A abundância de espécies também foi afetada negativamente com o incremento da altitude ($P=0.0320024$, Figura 11), e de forma diferente entre as guildas ($P=0.0005461$, Tabela 5),

Tabela 4. Análise de regressão linear para testar a influencia da altitude sobre a riqueza de cupins no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariquies, Colômbia. Modelo completo: $riqueza\ de\ cupins \sim altitude * guilda$. ns= $P > 0.05$; s*= $P < 0.05$ e ***= $P < 0.01$.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
NULL	23	38.868		
Altitude	22	30.901	13.961	0.0013019 **
Guilda	21	20.505	18.214	0.0003761 ***
Altitude:Guilda	20	12.454	14.107	0.0012442 **

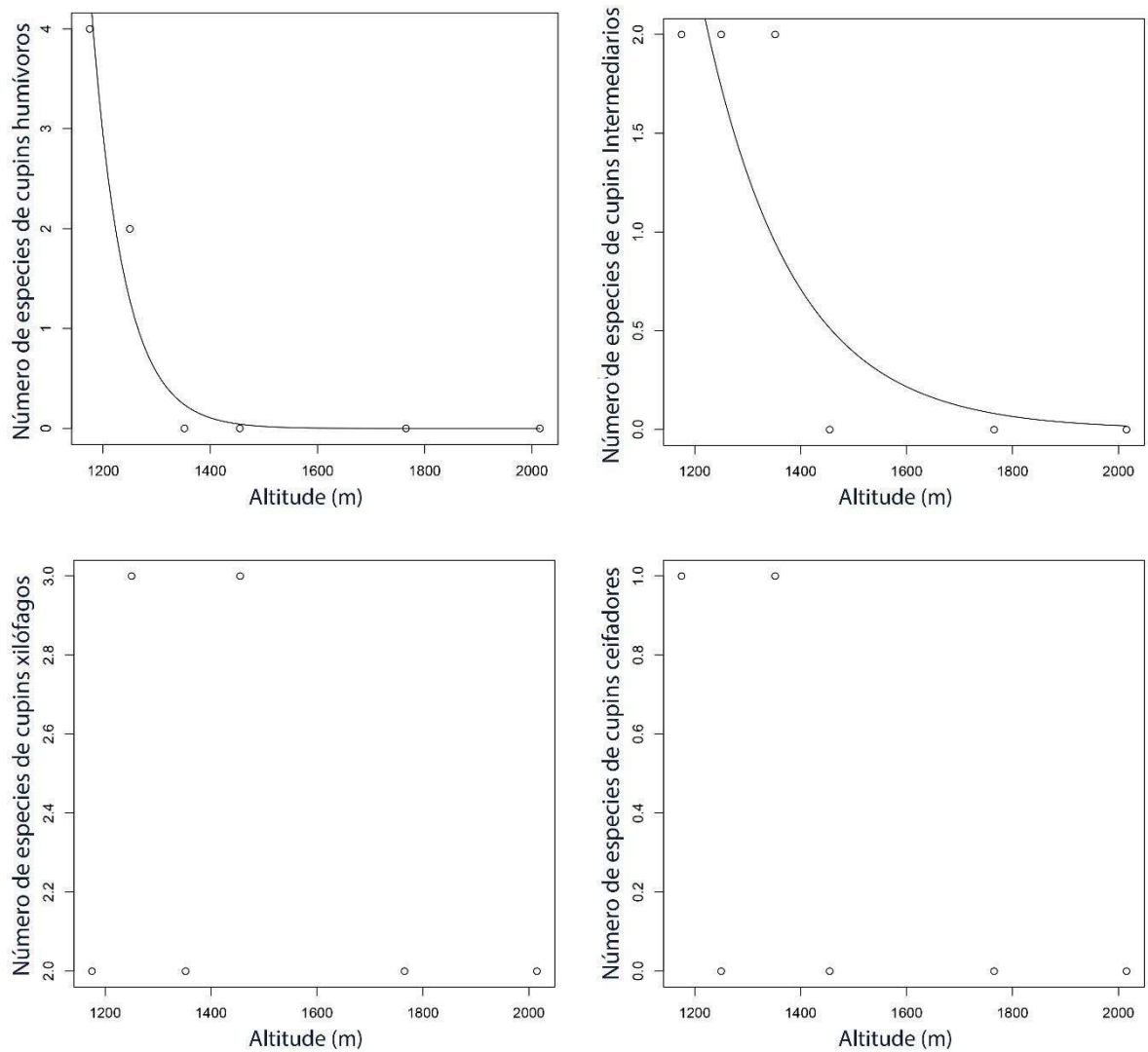


Figura 10. Efeito da altitude na riqueza de cupins ($P = 0.0320024$) para a guilda de humívoros, intermediários, xilófagos e ceifadores ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariquies, Colômbia.

Tabela 5. Análise de regressão linear para testar a influenciada da altitude sobre a abundância de cupins no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, Colômbia. Modelo completo: $abundância\ de\ cupins \sim altitude * guilda$. ns= $P > 0.05$; s*= $P < 0.05$ e ***= $P < 0.01$.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
NULL	23	79.481		
Altitude	22	74.588	2.4476	0.1333905
Guilda	21	40.851	16.8783	0.0005461 ***
Altitude:Guilda	20	30.229	5.3138	0.0320024 *

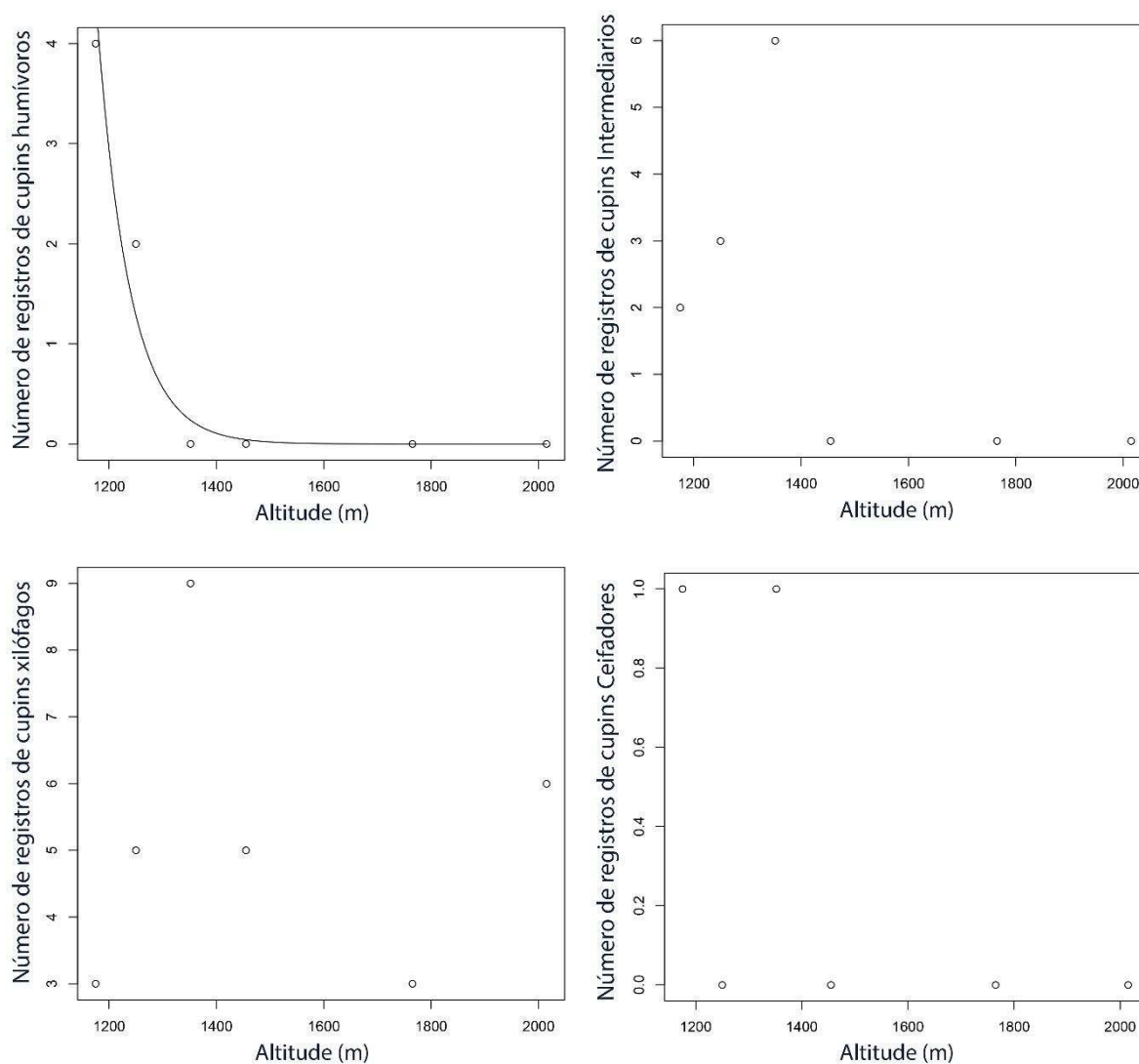


Figura 11. Efeito da altitude na abundância de cupins ($P = 0.0320024$) para a guilda de humívoros, intermediários, xilófagos e ceifadores ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, Colômbia.

Nichos ocupados

Para a ocupação de nichos pelos cupins (Tabela 6) no gradiente altitudinal estudado, foi observado que os cupins não ocuparam o solo nas quatro últimas altitudes, mostrando que ao longo do gradiente progressivamente deixaram de utilizar o nicho do solo ainda que fosse disponível. Foi observado que o mesmo padrão aconteceu paulatinamente com a serapilheira e na rizosfera das árvores sendo os troncos os nichos ocupados em todas as altitudes.

Tabela 6– Nichos ocupados pelos cupins ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Serranía de los Yariguies, Colômbia.

Altitude	Nichos ocupados				
	Troncos	Galhos	Rizosfera	Serapilheira	Solo
1175 m	X	X	X	X	X
1250 m		X	X	X	X
1352 m	X	X	X	X	
1455 m	X	X			
1765 m	X	X			
2015 m	X				

Serapilheira

Na Tabela 7 são apresentados os dados referentes às concentrações dos macronutrientes ao longo do gradiente altitudinal. A análise estatística mostrou não haver diferenças significativas nas concentrações dos macronutrientes, nem na profundidade da serapilheira entre as diferentes altitudes (Tabela 8). O conteúdo total de macronutrientes na serapilheira acumulada em ordem decrescente foram: N > Ca > K > Mg > P. Os valores de C foram os mais altos entre os elementos da serapilheira analisados, variando entre 395.96 a 565.59 g kg⁻¹. A relação C/N foi muito alta, variando entre 239.39 e 378.50.

Tabela 7 - Atributos químicos da serapilheira. Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, Colômbia.

Perfil	Parcela	N	P	K	g kg ⁻¹				
					Ca	Mg	C	C/N	
1	1	16.54	1.18	4.76	7.18	1.92	395.96	239.395	
	2	16.54	1.38	4.76	7.64	1.79	446.51	269.958	
	1175 m	3	21.17	1.08	3.86	9.44	2.26	527.38	249.117
		4	22.72	1.1	2.21	11.91	2.27	539.65	237.522
	5	15.15	1.02	4.31	8.73	1.71	441.64	291.512	
	Média	18.424	1.152	3.98	8.98	1.99	470.228	257.501	
2	1	16.54	0.63	1.46	1.03	0.46	559.59	338.325	
	2	15.77	0.55	1.46	1.06	0.74	539.42	342.055	
	1250 m	3	14.99	0.54	1.61	1.17	0.67	567.37	378.499
		4	16.54	0.55	1.46	1.17	0.66	557.43	337.019
	5	18.86	0.51	1.46	0.99	0.53	560.59	297.238	
	Média	16.54	0.556	1.49	1.084	0.612	556.88	338.627	
3	1	16.54	0.55	1.61	1.42	0.63	544.45	329.172	
	2	18.08	0.58	1.76	2.07	0.8	557.07	308.114	
	1352 m	3	14.99	0.54	1.46	2.03	0.66	564.23	376.404
		4	17.31	0.55	1.76	1.39	0.5	552.4	319.122
	5	14.99	0.55	1.46	1.2	0.48	541.51	361.247	
	Média	16.382	0.554	1.61	1.622	0.614	551.932	338.812	
4	1	16.85	0.67	1.46	2.43	1.55	555.92	329.923	
	2	17.31	0.63	1.31	1.4	0.97	565.59	326.742	
	1455 m	3	13.45	0.63	1.61	1.43	1.02	565.25	420.26
		4	14.22	0.61	1.61	2.16	1.39	557.28	391.899
	5	14.99	0.66	2.96	2.49	2.02	501.47	334.536	
	Média	15.364	0.64	1.79	1.982	1.39	549.102	360.672	
5	1	14.06	0.94	1.76	10.76	1.24	543.68	386.686	
	2	18.08	0.87	1.61	8.24	0.73	554.28	306.571	
	1765 m	3	21.17	0.83	1.61	3.67	0.48	564.99	266.882
		4	22.72	1.05	2.21	6.99	0.92	556.52	244.947
	5	18.08	0.91	1.46	8.23	0.77	551.75	305.171	
	Média	18.822	0.92	1.73	7.578	0.828	554.244	302.051	
6	1	16.54	0.89	2.36	8.13	2.11	532.57	321.989	
	2	17	0.83	2.36	5.96	1.72	537.91	316.418	
	2015 m	3	18.08	0.9	2.06	6.6	1.62	539.47	298.379
		4	14.22	1.11	2.66	7.9	1.84	533.57	375.225
	5	17.31	0.96	3.11	8.26	1.95	494.78	285.835	
	Média	16.63	0.938	2.51	7.37	1.848	527.66	319.569	

Tabela 8. Análise de regressão linear para testar a influencia da altitude sobre os atributos químicos e físicos da serapilheira no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariguies, Colômbia.

Modelo completo: *atributo da serapilheira*~*altitude*. ns= P>0.05; s*=P<0.05 e ***= P<0.01.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	4	8.5088	0.0092	0.9282
P	4	0.29746	0.0341	0.8624
K	4	4.4386	0.1349	0.732
Ca	4	54.489	0.6988	0.4502
Mg	4	1.8634	0.1215	0.745
C	4	5225.1	0.2755	0.6274
C/N	4	6510.8	0.0434	0.8451
Profundidade	4	252.79	0.5761	0.4901

Solos

Segundo a classificação da Soil Taxonomy (SSS, 2014), os solos correspondem à ordem de Inceptisols e Entisols, típicos de áreas montanhosas, com pouca evolução e forte erosão natural. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 2013), os solos correspondem à ordem de Cambissolos e Neossolos. São solos de boa drenagem, baixa fertilidade, associada à deficiência de nutrientes, alta acidez e altos níveis de alumínio. Os resultados da análise química mostram baixos valores de soma de bases e teores de macronutrientes, assim como uma baixa CTC efetiva, porém CTC potencial elevada associada a altos teores de Al^{3+} . Os valores médios de pH foram baixos, associados a alta saturação por alumínio (entre 78 e 98 %), o que torna baixa a retenção de cátions como Mg, K, Na e Ca (Tabela 9). Ao longo da topossequencia, foi observada uma tendência no aumento da acidez potencial e CTC potencial com a altitude, em quanto o horizonte A apresentou uma leve tendência na diminuição do pH com a altitude, sendo o perfil 3 quem apresentou o valor mais baixo (3,85) associado à maior percentagem de matéria orgânica (11,79 dag/kg). A textura dos solos variou de franco argilosa, franco argilo siltosa a argilo siltosa (Tabela 10).

Tabela 9 - Atributos químicos do solo. Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, Colômbia.

Horizonte Símbolo	Prof. (cm)	pH H ₂ O	P	K mg/dm ³	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol _c /dm ³	Al ³⁺ cmol _c /dm ³	H+Al	SB cmol _c /dm ³	(t)	(T)	V %	m %	MO	N dag/kg	C	C/N
Altitude 1175 m Perfil 1 Typic Humaquepts, CX Tb Distrófico típico																		
A	0-19	4,63	147,70	84,00	1,50	0,17	0,08	2,24	14,00	0,47	2,71	14,47	3,20	82,70	6,72	0,39	3,90	9,99
BA	19-36	4,58	36,40	65,00	7,50	0,09	0,03	1,66	11,30	0,32	1,98	11,62	2,80	83,80	5,07	0,29	2,94	10,14
Bi	36-58	4,59	12,10	39,00	1,50	0,06	0,00	1,76	7,10	0,17	1,93	7,27	2,30	91,20	1,52	0,11	0,88	8,02
BC	58-90+	4,77	5,10	47,00	2,50	0,08	0,01	2,34	6,40	0,22	2,56	6,62	3,30	91,40	0,89	0,08	0,52	6,45
Desvío padrão		0,09	66,29	20,04	2,87	0,02	0,02	0,34	3,59	0,13	0,40	3,72	0,45	4,67	2,80	0,15	1,63	1,76
Média		4,64	50,33	58,75	3,25	0,08	0,01	2,00	9,70	0,30	2,30	10,00	2,90	87,28	3,55	0,22	2,06	8,65
Altitude 1250 m Perfil 2 Oxíc Dystrudepts, CX Tb Distrófico latossólico																		
A	0-16	4,10	6,00	30,00	3,50	0,04	0,04	7,90	22,40	0,18	8,08	22,58	0,80	97,80	8,62	0,32	5,00	15,63
BA	16-32	4,41	2,30	11,00	0,50	0,04	0,01	2,93	13,40	0,08	3,01	13,48	0,60	97,30	5,96	0,23	3,46	15,03
Bi	32-57	4,57	0,60	10,00	1,50	0,02	0,00	1,76	6,80	0,06	1,82	6,86	0,90	96,70	2,66	0,13	1,54	11,87
BCr	57-80	4,61	0,70	12,00	2,50	0,05	0,01	2,54	6,30	0,10	2,64	6,40	1,60	96,20	1,39	0,06	0,81	13,44
Desvío padrão		0,23	2,52	9,54	1,29	0,01	0,02	2,79	7,52	0,05	2,84	7,56	0,43	0,70	3,27	0,11	1,90	1,69
Média		4,42	2,40	15,75	2,00	0,04	0,02	3,78	12,23	0,11	3,89	12,33	0,98	97,00	4,66	0,19	2,70	13,99
Altitude 1352 m Perfil 3 Lithic Dystrudepts, CX Ta Distrófico típico																		
A	0-6	4,14	1,50	26,00	0,50	0,05	0,03	7,22	27,70	0,15	7,37	27,85	0,50	98,00	10,01	0,32	5,81	18,14
Bi₁	6-38	4,69	1,10	12,00	1,50	0,04	0,00	1,76	12,10	0,08	1,84	12,18	0,70	95,70	6,21	0,21	3,60	17,15
Bi₂	38-65	4,67	1,40	14,00	2,50	0,04	0,00	1,76	6,80	0,09	1,85	6,89	1,30	95,10	2,91	0,13	1,69	12,98
C	65-85+	4,77	1,90	11,00	1,50	0,03	0,00	2,34	5,60	0,07	2,41	5,67	1,20	97,10	1,39	0,06	0,81	13,44
Desvío padrão		0,29	0,33	6,95	0,82	0,01	0,02	2,65	10,17	0,04	2,68	10,20	0,39	1,32	3,83	0,11	2,22	2,60
Média		4,57	1,48	15,75	1,50	0,04	0,01	3,27	13,05	0,10	3,37	13,15	0,93	96,48	5,13	0,18	2,98	15,43

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente. ¹Classificação pela SoilTaxonomy.

Continuação Tabela 9 - Atributos químicos do solo. Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, Colômbia.

Horizonte Símbolo	Prof. (cm)	pH H ₂ O	P	K mg/dm ³	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol _c /dm ³	Al ³⁺ cmol _c /dm ³	H+Al	SB	(t) cmolc/dm3	(T)	V	m %	MO	N	C	C/N dag/kg
Altitude 1455 m Perfil 4 Typic Humudepts, CX Ta Distrófico típico																		
A	0-18	3,85	0,00	28,00	1,50	0,05	0,05	10,63	32,00	0,18	10,81	32,18	0,60	98,30	11,79	0,48	6,84	14,25
BA	18-27	4,30	1,70	16,00	1,50	0,03	0,01	5,37	17,90	0,09	5,46	17,99	0,50	98,40	6,59	0,34	3,82	11,24
Bi	27-48	4,54	1,10	14,00	1,50	0,05	0,01	3,12	10,80	0,11	3,23	10,91	1,00	96,60	4,94	0,24	2,87	11,94
Cr	48-80+	4,62	0,70	16,00	1,50	0,04	0,00	3,02	6,90	0,09	3,11	6,99	1,30	97,10	1,27	0,07	0,74	10,52
Desvío padrão		0,35	0,71	6,40	0,00	0,01	0,02	3,57	11,05	0,04	3,60	11,09	0,37	0,89	4,37	0,17	2,53	1,61
Média		4,33	0,88	18,50	1,50	0,04	0,02	5,54	16,90	0,12	5,65	17,02	0,85	97,60	6,15	0,28	3,57	11,99
Altitude 1765 m Perfil 5 Lithic Endoaquepts, RR Distrófico Típico																		
A	0-7	4,00	9,60	59,00	1,50	0,13	0,13	1,56	12,10	0,42	1,98	12,52	3,40	78,80	5,58	0,17	3,24	19,04
C1	7-34	4,36	3,60	14,00	0,50	0,04	0,01	1,46	4,50	0,09	1,55	4,59	2,00	94,20	1,27	0,06	0,74	12,28
C2	34-52	4,57	4,90	10,00	1,50	0,04	0,00	1,66	3,70	0,08	1,79	3,78	2,10	95,40	0,76	0,03	0,44	14,69
Desvío padrão		0,29	3,16	27,21	0,58	0,05	0,07	0,10	4,64	0,19	0,22	4,83	0,78	9,26	2,65	0,07	1,54	3,43
Média		4,31	6,03	27,67	1,17	0,07	0,05	1,56	6,77	0,20	1,77	6,96	2,50	89,47	2,54	0,09	1,47	15,34
Altitude 2015 m Perfil 6 Typic Dystrudepts, CX Ta Distrófico típico																		
A	0-10	4,00	3,00	68,00	3,50	0,12	0,10	6,54	23,00	0,41	6,95	23,41	1,80	94,10	7,10	0,31	4,12	13,28
Bi₁	10-24	4,22	0,60	42,00	0,50	0,03	0,03	6,93	17,40	0,17	7,10	17,57	1,00	97,60	3,42	0,18	1,98	11,02
Bi₂	24-78	4,46	1,70	36,00	1,50	0,03	0,02	4,29	11,80	0,15	4,44	11,95	1,30	96,60	2,66	0,15	1,54	10,29
Desvío padrão		0,23	1,20	17,01	1,53	0,05	0,04	1,43	5,60	0,14	1,49	5,73	0,40	1,80	2,37	0,09	1,38	1,56
Média		4,23	1,77	48,67	1,83	0,06	0,05	5,92	17,40	0,24	6,16	17,64	1,37	96,10	4,39	0,21	2,55	11,53

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente. ¹Classificação pela SoilTaxonomy.

Tabela 10 - Atributos granulométricos dos solos Parque Nacional Serranía de los Yarigües.

Horizonte	Prof. (cm)	Cor úmida	Granulometria (dag/kg)				Classe Textural
			AG	AF	Silte	Arg	
Altitude 1175 m Perfil 1 Typic Humaquepts, CX Tb Distrófico típico							
A	0-19	2,5Y 3/3	16	16	37	31	Franco-Argilosa
BA	19-36	10YR 4/2	14	17	37	32	Franco-Argilosa
Bi	36-58	10YR 5/6	12	18	36	34	Franco-Argilosa
BC	58-90+	10YR 5/6	14	4	43	39	Franco-Argilo-siltosa
Altitude 1250 m Perfil 2 Oxic Dystrudepts, CX Tb Distrófico latossólico							
A	0-16	5YR 3/3	6	13	43	38	Franco-Argilo-Siltosa
BA	16-32	7,5YR 3/4	11	15	31	43	Argilosa
Bi	32-57	5YR 4/6	3	16	44	37	Franco-Argilo-Siltosa
BCr	57-80	5YR 4/6	5	30	34	31	Franco-Argilosa
Altitude 1352 m Perfil 3 Lithic Dystrudepts, CX Ta Distrófico típico							
A	0-6	7,5YR 2,5/3	7	35	32	26	Franco
Bi ₁	6-38	10YR4/4	6	30	36	28	Franco-Argilosa
Bi ₂	38-65	7,5YR 5/6	4	34	34	28	Franco-Argilosa
C/R	65-85+	10YR5/8	8	32	32	28	Franco-Argilosa
Altitude 1455 m Perfil 4 Typic Humudepts, CX Ta Distrófico típico							
A	0-18	5YR 3/2	17	5	44	34	Franco-Argilosa
BA	18-27	2,5YR 4/4	10	11	41	38	Franco-Argilosa
Bi	27-48	2,5YR 2,5/4	13	8	44	35	Franco-Argilo-Siltosa
Cr	48-80+	2,5yr 4/6	15	6	46	33	Franco-Argilosa
Altitude 1765 m Perfil 5 Lithic Endoaquepts, RR Distrófico Típico							
A/R	0-7	7,5YR 3/2	59	21	13	7	Areia-Franca
C ₁ /R	7-34	5YR 5/2	62	19	14	5	Areia-Franca
C ₂ /R	34-52	7,5YR 5/2	60	19	17	4	Areia-Franca
Altitude 2015 m Perfil 6 Typic Dystrudepts, CXTa Distrófico típico							
A	0-10	5YR 3/3	4	9	42	45	Argila-Siltosa
Bi ₁	10-24	2,5YR 4/6	3	9	41	47	Argila-Siltosa
Bi ₂	24-78	2,5YR 4/6	5	7	43	45	Argila-Siltosa

A análise de PCA (Figura 12) para a media de cada atributo do solo por perfil, mostrou que o teor de Magnésio e relação C/N tiveram um comportamento similar à altitude e oposto ao P, K, Na e pH, mesmo comportamento foi observado para as guildas de Humívoro e Ceifador mas não necessariamente o fato de apresentar o mesmo comportamento implica em que esses atributos do solo estão correlacionados com as guildas de Humívoros e Ceifadores. Os atributos de saturação por alumínio, CTC efetiva, Profundidade do solo, Acidez potencial, CTC potencial, capacidade de campo, matéria orgânica e a guilda de Xilófagos tiveram todos um comportamento similar que foi oposto ao comportamento do Ca. A areia grossa apresentou um comportamento oposto à argila, silte e N.

As análises estatísticas que explicam a riqueza de espécies com os atributos do solo e a serapilheira, serão contempladas na seguinte seção.

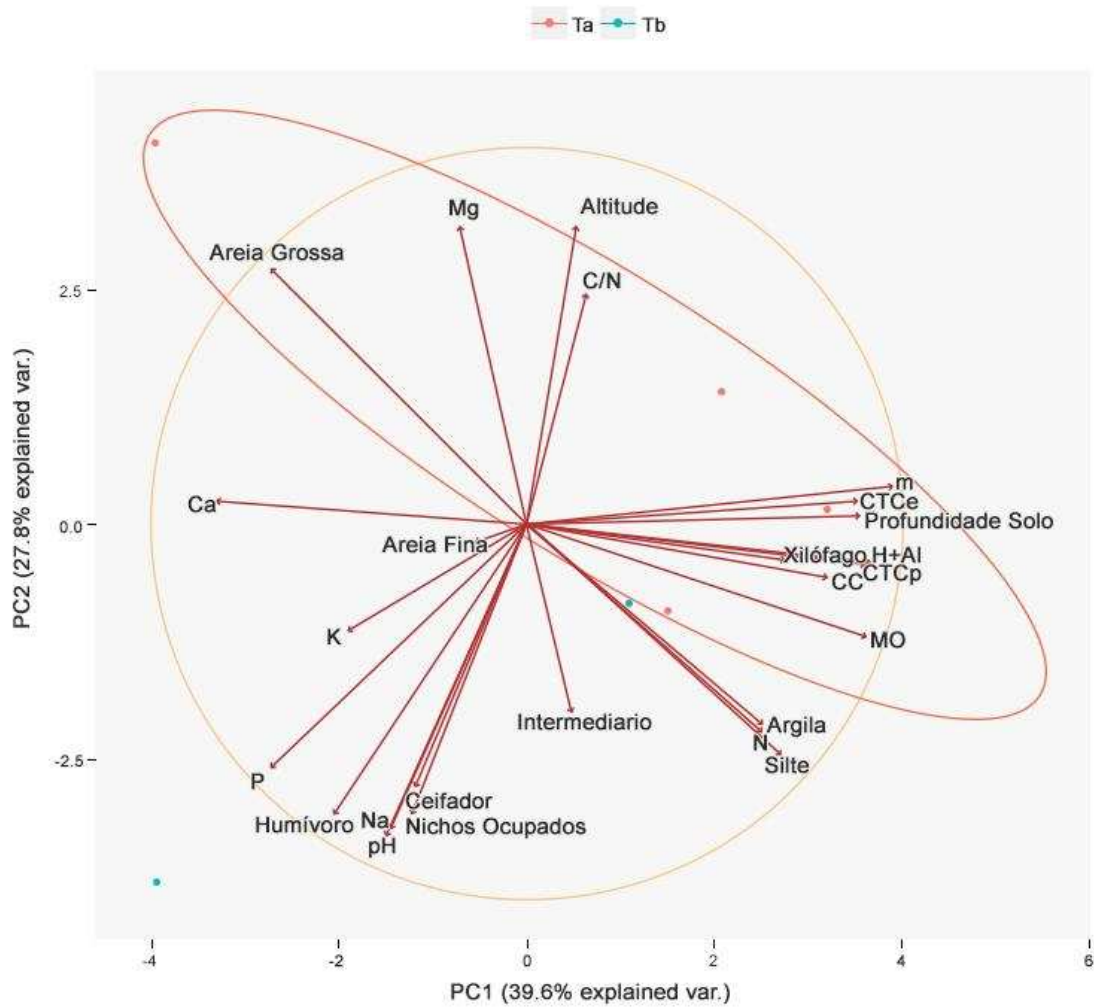


Figura 12. Bi-plot para PCA dos atributos e guildas de cupins ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, Santander, Colômbia. P= Fósforo; K= Potássio; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; N= Nitrogênio; MO= Matéria orgânica; CTCe= Capacidade de Troca Catiônica efetiva; CTCp= Capacidade de Troca Catiônica potencial; CC=Capacidade de Campo; H+AL= Acidez potencial; C.N=Relação C/N; Ta= Argila de atividade alta; Tb= Argila de atividade baixa.

Relação da riqueza de cupins com a serapilheira e o solo

Guilda de Xilófagos:

Nenhum atributo químico ou físico dos solos (Tabela 11) estudados nem da serapilheira (Tabela 12) teve influencia sobre a riqueza de cupins xilófagos.

Tabela 11. Análise de regressão linear com distribuição de quasipoisson para testar a influencia dos atributos físicos e químicos do solo em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins xilófagos** ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariquies, Colômbia. Modelo completo: *riqueza de xilófagos* ~ *atributo do solo* * *altitude*. Significancia = ns: não significativo $P > 0.05$; s: significativo * = $P < 0.05$ e *** = $P < 0.01$.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
pH em H2O	2	0.01736	0.0459	0.85022
P	2	0.26744	0.1142	0.7676
K	2	0.29796	0.1589	0.7287
Na	2	0.32688	0.4231	0.5821
Ca ²⁺	2	0.26570	0.0001	0.9933
Mg	2	0.23236	2.0181	0.2913
Al	2	0.10768	2.7952	0.2365
H+Al	2	0.22917	1.0172	0.4194
Suma de Bases	2	0.30288	0.0228	0.8938
CTC efetiva	2	0.10478	3.1027	0.2202
CTC potencial	2	0.23203	1.0159	0.4196
V	2	0.26503	0.0470	0.8484
M	2	0.22609	0.3638	0.6077
ISNa	2	0.12652	0.1934	0.7030
MO	2	0.25734	0.3291	0.6241
Prem	2	0.46146	0.0022	0.9668
Zn	2	0.12951	3.9858	0.1840
Fe	2	0.27467	1.3261	0.3686
Mn	2	0.18920	1.8217	0.3096
Cu	2	0.28032	0.1144	0.7674
N	2	0.37197	0.0127	0.9204
C	2	0.25953	0.3216	0.6278
C/N	2	0.36717	0.5487	0.5360
Areia Grossa	2	0.44104	0.0808	0.8029
Arena Fina	2	0.35790	0.0030	0.9612
Silte	2	0.23035	1.4725	0.3488
Teor de Argila	2	0.17944	2.8023	0.2361
Atividade Argila	2	0.41109	0.0277	0.8831
Profundidade Solo	2	0.25549	0.1951	0.7019
Capacidade de Campo	2	0.37151	0.0102	0.9286

Tabela 12. Análise de regressão linear com distribuição normal para testar a influencia dos atributos químicos da serapilheira em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins xilófagos** no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariquies, Colômbia.

Modelo completo: *riqueza de cupins xilófagos* ~ *atributo da serapilheira* * *altitude*. ns= $P > 0.05$; $s^* = P < 0.05$ e $*** = P < 0.01$.

Atributo da serapilheira	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	2	0.53343	0.4650	0.5657
P	2	0.67293	0.0219	0.8959
K	2	0.73003	0.2608	0.6603
Ca	2	0.66512	0.0095	0.9313
Mg	2	0.94799	0.3521	0.6131
C	2	0.70490	0.2600	0.6608
C/N	2	0.53556	0.0218	0.8961
Profundidade	2	1.15470	0.0127	0.9206

Guilda de Intermediários

Caso similar da guilda de xilófagos, nenhum atributo químico ou físico dos solos estudados teve influencia sobre a riqueza de cupins intermediários (Tabela 13), assim como nenhum atributo estudado da serapilheira (Tabela 14).

Tabela 13. Análise de regressão linear com distribuição normal para testar a influencia dos atributos físicos e químicos do solo em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins intermediários** ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariguies, Colômbia. Modelo completo: *riqueza de intermediários~atributo do solo*altitude*. Significancia= ns: não significativo $P>0.05$; s: significativo $P<0.05$ e ***= $P<0.01$.

Atributo do solo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
pH em H ₂ O	2	1.2562	0.0519	0.8409
P	2	1.9123	0.0460	0.8500
K	2	1.2417	1.0432	0.4145
Na	2	1.6334	0.2252	0.6819
Ca ²⁺	2	1.8753	0.0895	0.7930
Mg	2	1.1543	1.3697	0.3624
Al	2	1.1924	1.1922	0.3889
Acidez potencial	2	1.1858	1.2813	0.3751
Suma de Bases	2	0.9555	2.0639	0.2874
CTC efetiva	2	1.0997	1.4660	0.3496
CTC potencial	2	1.1415	1.4100	0.3570
V	2	1.9392	0.0305	0.8774
M	2	1.8866	0.0884	0.7943
ISNa	2	1.7818	0.0349	0.8690
MO	2	1.6369	0.2257	0.6815
Prem	2	1.2710	0.6735	0.4981
Fe	2	1.4799	0.0006	0.9824
Mn	2	1.1069	1.5491	0.3393
Cu	2	1.6242	0.4001	0.5917
N	2	0.2938	9.5911	0.09036
C	2	1.6356	0.2292	0.6794
C/N	2	1.7762	0.1701	0.7201
Areia Grossa	2	1.3971	0.4364	0.5768
Arena Fina	2	0.7195	1.6919	0.3230
Silte	2	0.1974	17.9466	0.05146
Teor de Argila	2	1.3805	0.7393	0.4805
Atividade Argila	2	1.9113	0.0064	0.9437
Profundidade Solo	2	1.7839	0.1122	0.7695
Capacidade de Campo	2	1.6638	0.2327	0.6772

Tabela 14. Análise de regressão linear com distribuição normal para testar a influencia dos atributos químicos da serapilheira em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins intermediários** no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariguies, Colômbia.

Modelo completo: *riqueza de cupins intermediários* ~ *atributo da serapilheira* * *altitude*. ns= P>0.05; s*=P<0.05 e ***= P<0.01.

Atributo da serapilheira	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	2	1.7607	0.1563	0.7308
P	2	1.0254	1.7751	0.3143
K	2	1.5624	0.4915	0.5559
Ca	2	1.1035	1.5439	0.3400
Mg	2	1.5783	0.4257	0.5811
C	2	1.5653	0.4698	0.5639
C/N	2	1.6879	0.1635	0.7251
Profundidade	2	1.6472	0.2941	0.6419

Guilda de Ceifadores

Similarmente as duas guildas anteriores, nenhum atributo químico nem físico dos solos estudados teve influencia sobre a riqueza de cupins ceifadores (Tabela 15), assim como nenhum atributo estudado da serapilheira (Tabela 16).

Tabela 15. Análise de regressão lineal com distribuição normal para testar a influencia dos atributos físicos e químicos do solo em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins ceifadores** ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariquies, Colômbia. Modelo completo: *riqueza de ceifadores*~*atributo do solo***altitude*. Significancia= ns: não significativo $P>0.05$; s: significativo $=P<0.05$ e ***= $P<0.01$.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
pH em H ₂ O	2	0.04244	0.1672	0.72226
P	2	0.67828	0.0641	0.8237
K	2	0.70092	0.0086	0.9346
Na	2	0.79841	0.0094	0.9315
Ca ²⁺	2	0.67025	0.2687	0.6559
Mg	2	0.34676	1.6874	0.3235
Al	2	0.48187	1.3769	0.3615
H+Al	2	0.69762	0.5448	0.5373
Suma de Bases	2	0.72134	0.0070	0.9408
CTC efetiva	2	0.47355	1.4696	0.3492
CTC potencial	2	0.70188	0.5347	0.5407
V	2	0.67089	0.3520	0.6131
M	2	0.61631	0.6187	0.5139
ISNa	2	0.54713	0.0177	0.9064
MO	2	0.72001	0.3902	0.5960
Prem	2	0.87688	0.0010	0.9778
Zn	2	0.42206	1.7887	0.3129
Fe	2	0.52602	1.4237	0.3551
Mn	2	0.67032	0.1996	0.6988
Cu	2	0.66830	0.0180	0.9055
N	2	0.83936	0.1156	0.7662
C	2	0.72363	0.3818	0.5996
C/N	2	0.85846	0.0428	0.8552
Areia Grossa	2	0.84777	0.0914	0.7909
Arena Fina	2	0.65362	0.1804	0.7123
Silte	2	0.49881	1.6009	0.3332
Teor de Argila	2	0.15706	9.4563	0.09147
Atividade Argila	2	0.70340	0.5362	0.5402
Profundidade Solo	2	0.56015	0.6763	0.4973
Capacidade de Campo	2	0.87437	0.0384	0.8628

Tabela 16. Análise de regressão linear com distribuição normal para testar a influencia dos atributos químicos da serapilheira em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins ceifadores** no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariguies, Colômbia.

Modelo completo: *riqueza de cupins ceifadores*~*atributo da serapilheira***altitude*. ns= P>0.05; s*=P<0.05 e ***= P<0.01.

Atributo da serapilheira	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	2	0.63118	0.5836	0.5247
P	2	0.69207	0.0788	0.8054
K	2	0.68415	0.0053	0.9488
Ca	2	0.69198	0.1104	0.7713
Mg	2	0.81817	0.0384	0.8628
C	2	0.66105	0.0017	0.9712
C/N	2	0.64688	0.1288	0.7540
Profundidade	2	0.77047	0.1276	0.7551

Guilda de Humívoros

Dos 30 atributos químicos e físicos do solo estudados, a acidez potencial e a capacidade de troca catiônica potencial se correlacionaram com a riqueza em interação com a altitude (Tabela 17). Em altitudes baixas, a acidez potencial apresentou valores menores que beneficiaram a riqueza (P= 0.013862, figura 13), mesmo padrão foi observado com a capacidade de troca catiônica potencial (P=0.027178, figura 14) devido à baixa soma de bases e a maior influência da acidez potencial.

Tabela 17. Análise de regressão lineal com distribuição normal para testar a influencia dos atributos físicos e químicos do solo em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins humívoros** ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariquies, Colômbia. Modelo completo: *riqueza de humívoros~atributo do solo*altitude*. Significancia= ns: não significativo $P>0.05$; s: significativo $=P<0.05$ e ***= $P<0.01$.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
pH em H ₂ O	2	1.7931	0.6593	0.50209
P	2	1.9830	0.0006	0.98261
K	2	0.4981	2.938	0.22865
Na	2	5.3705	0.2821	0.6484
Ca ²⁺	2	2.2039	0.2654	0.6577
Mg	2	4.2258	0.1266	0.7561
Al	2	2.3289	2.1934	0.2768
H+Al	2	0.340	21.296	0.04389 *
Suma de Bases	2	1.4414	0.5808	0.52561
CTC efetiva	2	2.3481	2.2770	0.2704
CTC potencial	2	0.3243	22.771	0.04122 *
V	2	2.1580	1.4836	0.3474
M	2	2.5002	3.7916	0.1909
ISNa	2	0.6361	8.7057	0.09823 .
MO	2	0.4786	11.7313	0.07569 .
Prem	2	4.9330	1.0487	0.4135
Zn	2	1.9712	0.8191	0.46097
Fe	2	4.0995	1.3448	0.3659
Mn	2	2.4083	0.3950	0.5939
Cu	2	2.1519	0.0196	0.90140
N	2	6.699	0.3051	0.6362
C	2	0.4730	11.8715	0.07490 .
C/N	2	2.2609	1.1232	0.4003
Areia Grossa	2	5.6862	0.7340	0.4819
Arena Fina	2	6.8270	0.0073	0.9398
Silte	2	7.7090	0.0009	0.9790
Teor de Argila	2	7.3927	0.0003	0.9884
Atividade Argila	2	0.6365	15.907	0.05750 .
Profundidade Solo	2	1.2048	7.7798	0.10809
Capacidade de Campo	2	0.4669	5.7231	0.13917

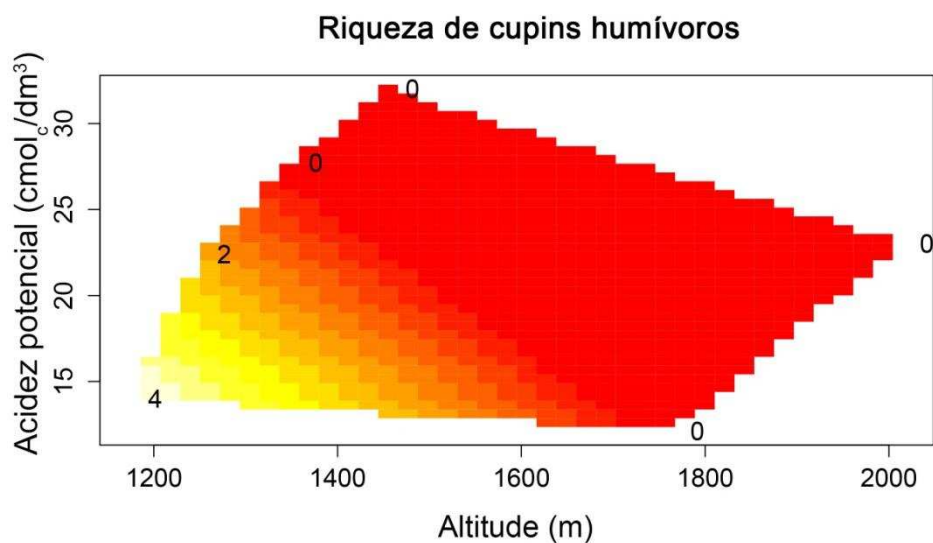


Figura13. Efeito da acidez potencial do horizonte superficial do solo, sobre a riqueza de cupins ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, Colômbia. A cor amarela, representa os valores mais altos de riqueza e em vermelho os valores mais baixos.

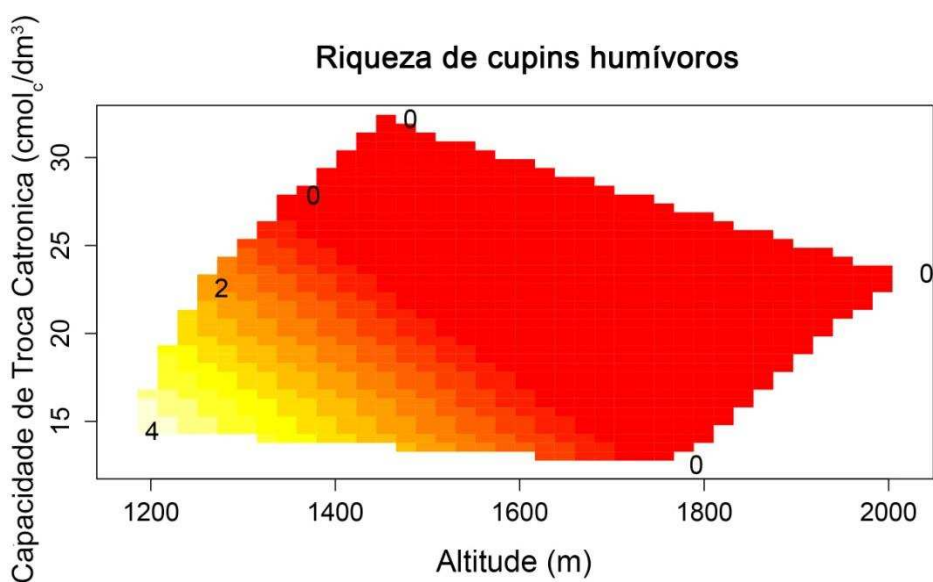


Figura14. Efeito da capacidade de troca catiônica potencial do horizonte superficial do solo, sobre a riqueza de cupins ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, Colômbia. A cor amarela, representa os valores mais altos de riqueza e em vermelho os valores mais baixos.

Referente aos atributos estudados da serapilheira, nenhum deles afetou a riqueza de espécies de cupins humívoros em interação com a altitude (Tabela 18).

Tabela 18. Análise de regressão linear com distribuição normal para testar a influencia dos atributos químicos da serapilheira em interação com a altitude sobre a riqueza de **cupins humívoros** no Parque Nacional Natural Serrania de los Yariques, Colômbia.

Modelo completo: *riqueza de cupins humívoros* ~ *atributo da serapilheira* * *altitude*. ns= P>0.05; s*=P<0.05 e ***= P<0.01.

Atributo da serapilheira	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	2	1.5404	4.5074	0.1677
P	2	1.2550	0.9751	0.42750
K	2	2.2664	0.0201	0.9003
Ca	2	1.6485	0.8482	0.4543
Mg	2	4.0943	0.0348	0.8693
C	2	2.3660	0.0028	0.9627
C/N	2	2.0013	0.2800	0.6496
Profundidade	2	0.6015	8.8748	0.09662

Marginalmente significativo= .P>0.05 e P<0.1.

É importante resaltar que a altitude não influenciou a abundancia de cupis xilófagos, ceifadores e intermediários, e só afetou negativamente a guilda de humívoros. Por tanto, no gradiente altitudinal estudado a diminuição da riqueza e abundancia de cupins no geral é explicada principalmente pela diminuição da guilda de humívoros.

Discussão

Observa-se uma diminuição da riqueza e abundância de cupins com o aumento da altitude, tanto em escala nacional, quanto no gradiente altitudinal do Parque Nacional Natural Serranía de los Yariques, o que concorda com os estudos prévios realizados sobre a riqueza de cupins em gradientes altitudinais de florestas tropicais (Gathorne-Hardy *et al*, 2001; Donovan *et al*, 2002; Palin *et al*, 2011). Por outro lado, as guildas responderam de forma diferente com a

altitude, com cupins humívoros, ceifadores e intermediários ocupando uma faixa altitudinal mais restrita que os xilófagos, o que concorda com os resultados encontrados por Donovan *et al.* (2002) e Palin *et al.* (2011). Mas como foi mencionado anteriormente, a diminuição de riqueza e abundância de cupins com a altitude no gradiente altitudinal estudado, é explicada principalmente pela guilda de humívoros. Segundo Palin e colaboradores (2011), os cupins humívoros poderiam ser mais afetados com o incremento da altitude devido à baixa energia que prove seu alimento. O recurso alimentar altamente transformado e humificado presente no solo, representa uma fonte energética de pior qualidade do que a madeira (Eggleton *et al.*, 1998) já que o solo possui em média apenas 5% de Carbono em peso seco, enquanto a madeira apresenta cerca de 50% de Carbono (Eggleton *et al.*, 2001). Adicionalmente, a estratégia alimentar dos humívoros envolve atividades de forrageamento energeticamente custosas, fazendo com que essa guilda seja menos tolerante ao incremento da altitude que as outras guildas (Gathorne-Hardy *et al.*, 2001; Palin *et al.*, 2011). Não obstante, os resultados das análises químicas dos solos estudados, mostram que a acidez do solo representou uma restrição para o estabelecimento das espécies humívoras.

Os resultados das análises químicas dos solos mostraram altos valores de Al^{3+} , assim como saturação por alumínio entre 78 e 98% e acidez potencial elevada possivelmente pela presença de minerais alíticos ou com caráter alítico material de origem. Adicionalmente, a alta precipitação da área é responsável pela lixiviação de Ca e Mg, com uma conseqüente substituição por Al, Mn e H na solução do solo, o que contribui para a acidificação do solo. A presença de rochas sedimentares previamente intemperizadas como arenitos, argilitos e siltitos na área de estudo (UAESPNN, 2008) explicam a baixa soma de bases e a baixa CTC efetiva já que solos desenvolvidos a partir de material sedimentar pobre retêm menos matéria orgânica. Com tudo, os valores maiores de soma de bases nas altitudes menores beneficiou a riqueza de cupins de todas as guildas.

Os valores médios de pH do solo foram baixos associados à alta saturação por alumínio, o que explica a pouca retenção de cátions como Mg, K, Na e Ca.

Com a diminuição do pH do solo, o alumínio fica mais solúvel ocupando mais da metade dos locais de intercâmbio iônico do solo (Casierra-Posada & Aguilar-Avedaño, 2007). Adicionalmente, a alta precipitação da área de estudo favorece a lixiviação de bases e reduzindo a disponibilidade de matéria orgânica para os cupins húmívoros no solo. Para a área de estudo em questão, as características climáticas especificamente a precipitação junto com o material de origem, explicam as características do solo que indicam um ambiente natural muito ácido e pobre, com influência direta na população de cupins húmívoros.

O incremento de Al^{3+} nos solos das porções mais elevadas aparentemente condiciona os cupins húmívoros a deixar de utilizar o solo como nicho com o aumento da altitude, permitindo supor que aspetos do solo afetam mais diretamente esses cupins. Neste sentido, estudos anteriores concluem que o pH do solo é o melhor preditor da riqueza de espécies de cupins húmívoros (Davies, 2002), enquanto que o pH somado a profundidade do horizonte A explica a abundância dessa guilda em ambiente tropical úmido da Guiana Francesa (Davies *et al.*, 2003).

Por outro lado, a acidez potencial ($H+Al$) se correlacionou com a altitude e afetou a distribuição dos cupins húmívoros. Segundo Lavelle, *et al.* (1995), nos solos tropicais, a fauna de invertebrados do solo apresentam uma tolerância a pH ácido, podendo existir em solos com pH entre 3.8 e 4.0, tendendo a se concentrar em micrositios mais favoráveis como por exemplo na serapilheira e na rizosfera. A abundância dos invertebrados que vivem no solo ou na superfície, tais como minhocas e cupins, tende a diminuir, enquanto predomina a microfauna e artrópodos comedores de serapilheira ou associados a rizosfera (Lavelle *et al.*, 1995), o que explica por que os cupins coletados deixam de utilizar o solo nas altitudes maiores e se concentraram no ambiente da rizosfera, serapilheira, e madeira.

Adicionalmente, solos ácidos apresentariam diminuição na quantidade de hifas, esporos de fungos, algas e restos de pequenos organismos que complementam a dieta dos húmívoros o que diminui a qualidade do solo possivelmente levando a exclusão local de especialistas. Estudos mais

aprofundados sobre a dieta dos humívoros são necessários para compreender melhor o papel desses pequenos organismos na dieta das diferentes espécies de humívoros.

Além das limitações ambientais, a acidez do solo inibe reações químicas importantes para o metabolismo dos microorganismos, induzindo relações simbióticas entre os microorganismos e invertebrados (Lavelle *et al.*, 1995), neste caso os cupins humívoros. O trato digestivo dos cupins humívoros é altamente especializado e compartimentalizado. No intestino posterior podem ser reconhecidas cinco regiões distintas, nomeadas como: Íleo, primeiro segmento proctodeal (P1), válvula entérica, ou segundo segmento proctodeal (P2), pança, terceiro segmento proctodeal (P3), cólon, ou quarto segmento proctodeal (P4), e o reto, o quinto segmento proctodeal (P5) (Noirot, 1995), sendo que cada um destes compartimentos mantém condições distintas de pH. O primeiro segmento normalmente apresenta condições alcalinas, especialmente em cupins humívoros (Bignell & Eggleton, 1995). Schmitt-Wagner *et al.* (2003) demonstraram para duas espécies de *Cubitermes*, gênero tipicamente de humívoros, que cada um dos segmentos abriga uma microbiota de simbioses bastante particular, que só sobrevive em condições muito específicas de pH. Embora isto ainda não tenha sido demonstrado para uma ampla variedade de espécies de Isoptera, é esperado que em todos os cupins essa condição se reflita.

Considerando os pontos levantados, sugere-se que a correlação entre o padrão altitudinal de distribuição de humívoros segue a qualidade do recurso alimentar, em medida que o solo torna-se muito ácido há queda de riqueza e abundância de humívoros por condições ambientais e fisiológicas.

Nenhum atributo da serapilheira no gradiente altitudinal estudado afetou a riqueza de cupins sendo a acidez do solo a principal fator que influenciou a riqueza de espécies afetando diretamente a guilda de humívoros e intermediários (que em parte também consomem solo direta ou indiretamente), enquanto xilófagos e ceifadores não foram afetados pela altitude.

Os xilófagos, compostos principalmente pela família Kalotermitidae, não apresentam atividade de forrageamento por nidificar dentro da mesma peça de

madeira na que se alimenta (Noirot & Darlington, 2000; Traniello & Leuthold, 2000; Inward *et al.*, 2007; Palin *et al.*, 2011), economizando energia nas atividades de forrageamento e tolerando melhor o incremento da altitude. Essa melhor tolerância foi evidenciada em que nem a riqueza nem a abundância de espécies de Kalotermitidae foram afetadas pela altitude. Adicionalmente ao efeito da temperatura sobre o metabolismo e atividade de forrageamento dos indivíduos, a vegetação característica do bosque subandino e andino da área ofereceram abundante oferta de madeira como recurso alimentar, beneficiando a abundância de cupins xilófagos. A guilda de ceifadores também não foi afetada pela altitude já que de maneira similar que os xilófagos, a vegetação densa ofereceu abundante recurso alimentar e não diminuiu ao longo do gradiente altitudinal. A guilda de intermediários mostrou uma distribuição altitudinal intermediária entre humívoros e xilófagos provavelmente porque essas duas guildas também são afetadas pelo solo, porém em menor medida do que os humívoros.

Contrário ao esperado, na faixa altitudinal estudada do Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes a guilda de cupins xilófagos e ceifadores não foram afetados pela altitude. Esse resultado permite supor que mesmo que os fatores climáticos sejam um fator importante para a faixa de 1000 a 2000 m, a disponibilidade de recursos tem impacto mais direto sobre a termitofauna, o que permite levantar as seguintes hipóteses para cada guilda por separado:

1. O teor de silte, argila, matéria orgânica e atividade da argila do solo, assim como o teor de matéria orgânica da serapilheira afetam a riqueza de espécies de cupins humívoros e intermediários.
2. A profundidade do solo afeta a riqueza de espécies de cupins xilófagos e intermediários porque define o porte da vegetação que será o recurso alimentar desses cupins.
3. A profundidade do solo e os macronutrientes da serapilheira afetam a riqueza de espécies de cupins ceifadores.

Conclusões

Os dados compilados para Colômbia indicam que a guilda de cupins humívoros foi mais afetada que a guilda de xilófagos pelo aumento da altitude.

Contrário ao esperado e ao trabalho prévio de Palin e colaboradores (2011), no gradiente altitudinal estudado do Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes unicamente a altitude afetou a riqueza e abundância de humívoros, com menor efeito sobre os intermediários, mas com efeito nulo sobre os xilófagos e ceifadores.

Atributos do solo como a acidez elevada teve um efeito negativo direto na riqueza e abundancia de humívoros. A acidez do solo representa uma redução da qualidade do recurso alimentar reduzindo a riqueza de espécies por restrição de recurso limitante. Altos teores de Al^{3+} e elevada saturação por alumínio, podem representar um ambiente negativo para a homeostase desses insetos. Por outro lado, o efeito negativo da acidez sobre a quantidade de hifas, esporos de fungos, algas e restos de pequenos organismos que complementam a dieta dos humívoros leva a diminuição da variedade do recurso alimentar o que poderia levar à exclusão local de especialistas.

Os resultados apontam a que as condições climáticas, são um importante fator que afeta a qualidade dos recursos alimentares e de nidificação para os cupins porque influencia os processos pedogenéticos e atributos do solo. Por todos os pontos anteriormente levantados, se sugere aprofundar nos atributos de solos com processos pedogenéticos diferentes aos analisados no presente estudo, para compreender melhor a influencia do solo sobre a riqueza de cupins.

Referências bibliográficas

Ali, I.; Sheridan, G.; French, J. & Ahmed, B. 2013. Ecological Benefits of Termite Soil Interaction and Microbial Symbiosis in the Soil Ecosystem. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* **3**: 63-85.

Begon, M., Townsen, D C., Harper, J. 2007. Ecology from Individuals to Ecosystems. Cuarta Edición. Blackwell Publishing. 752 p.

Bignell, D.; Eggleton, P. 1995. On the elevated intestinal pH of higher termites (Isoptera: Termitidae). *Insectes Sociaux* **42**: 57–69.

Brauman, A.; Bignell, D. & Tayasu, I. 2000. Soil-feeding termites: biology, microbial associations, and digestive mechanisms. In: Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology (eds Abe T, Bignell DE, Higashi M). Kluwer Academic Publishers.

Braga, J.M. & Defelipo, B.V. 1974. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extrato de solo e plantas. R. *Ceres*, **21**:73-85.

Bremner, J.M.; Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen Total. In: Page, A. L.; Miller, L. H.; Keeney, D.R. (Ed.).Methods of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. Madison: ASA, SSSA, p.595-624

Caballero, V.; Parra, M.; Mora, A. 2010. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena. *Boletín de Geología*. **32**(1): 45-77.

Cancello, E.; Silva, R; Vasconcellos, A.; Reis, Y.; Oliveira, L. 2014 Latitudinal Variation in Termite Species Richness and Abundance along the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. *Biotropica* **46**: 441–450.

Casierra-Posada, F; Aguilar-Avenidaño, O. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección: una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. **1**: 246-257.

Constantino, R. 1992. Abundance and diversity of termites (insecta: isoptera) in two sites of primary rain forest in Brazilian amazonia. *Biotropica*, **24**: 420-430.

Constantino, R. 1999. Clave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. *Papeis Avulsos de Zoologia*, **40** (25): 387-447.

Constantino, R. 2002. An illustrated key to Neotropical termite general (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers. *Zootaxa*, **67**: 1-40.

Davies, R. 2002. Feeding group responses of a Neotropical termite assemblage to rain forest fragmentation. *Oecologia* **133**: 233–242.

Davies, R.; Hernandez, L.; Eggleton, P.; Didham, R.; Fagan, L.; Winchester, N. 2003. Environmental and spatial influences upon species composition of a termite assemblage across neotropical forest islands. *Journal of Tropical Ecology* **19**: 509–524.

Desouza, O. & V. Brown.1994. Effects of habitat fragmentation on amazonian termite communities. *Journal of Tropical Ecology* **10**:197-206.

Donegan, T.; Avendaño, J.; Briceño-L.E.R.; Luna, J.; Roa, C.; Parra, R.; Turner, C.; Sharp, M.; Huertas, B. 2010. Aves de la Serranía de los Yarigués y tierras bajas circundantes, Santander, Colombia. *Cotinga* **32**: 72–89.

Donovan, S.; Eggleton, P. & Bignell, D. 2001. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites (Isoptera). *Ecological Entomology*, **26**: 356-366.

Donovan, S.; Eggleton, P. & Martin, A. 2002. Species composition of termites of the Nyika plateau forest, northern Malawi, over an altitudinal gradient. *African Journal of Ecology*, **40**: 379-385.

Eggleton, P; Davies, R.; Bignell, D.E.1998. Body size in energy use in termites (Isoptera): the responses of soil feeders differ in a tropical forest assemblage. *Oikos* **81**: 525-530.

Eggleton, P.; Tayasu, I. 2001. Feeding groups, lifetypes and the global ecology of termites. *Ecological Research* **16**: 941-960.

EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solo. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 pp.

EMBRAPA. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª Edição revista e ampliada. Brasília, D.F. 253

Fisher, B. 1996. Ant diversity patterns along an elevational gradient in the Réserve Naturelle Intégrale d'Andringitra, Madagascar. *Fieldiana Zoology* (n.s.), **85**: 93-108.

Fisher, B. 1998. Ant diversity patterns along an elevational gradient in the Réserve Naturelle Intégrale d'Andringitra, Madagascar. *Fieldiana Zoology* (n.s.), **94**: 129-147.

Fisher, B. 1999. Ant diversity patterns along an elevational gradient in the Réserve Spéciale d'Anjanaharibe-Sud and on the western Masoala Peninsula, Madagascar. *Fieldiana Zoology* (n.s.), **90**: 39-67.

Fisher, B. 2000. Ant inventories along elevational gradients in tropical wet forest in Eastern Madagascar. In: Agosti, D. Majer, J., Alonso, L., Schulds, T. (Eds.). Sampling ground-dwelling ants: case studies from the world's rain forest. Perth, Australia: Curtin University School of environmental Biology, Bulletin 18: 41-49.

Fontes, L. 1992. Key to the genera of New World Apicotermitinae (Isoptera: Termitidae). In: Insects of Panamá and Mesoamerica. Fourteen. Selected studies. Oxford University Press. Pp. 242-248.

Gathorne-Hardy, F.; Sayukani & Eggleton, P. 2001. The effects of altitude and rainfall on the composition of the termites (Isoptera) of the leuser ecosystem (Sumatra, Indonesia). *Journal of Tropical Ecology*, **17**: 379-393.

Gaston, K.J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, **405**: 220-227.

Gentry, A. H. 1993. Vistazo general a los bosques nublados andinos y la flora de Carpanta. Páginas 66-79. En: G. I. Andrade (Ed.), Carpanta, Selva Nublada y Páramo. Fundación Natura Colombia. Bogotá.

Holt, J. & Lepage, M. 2000. Termites and soil properties. In: Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology (T. Abe, D.E. Bignell and M. Higashi, Ed), Kluwer Academic Publishing, Dordrecht. pp. 389–407.

Hodkinson, I. 2005. Terrestrial insects along elevational gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, **80**: 489-513.

Hosoda, H. 1999. Altitudinal occurrence of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) on Mt. Kurobi, central Japan, with special reference to forest vegetation and soil characteristics. *Pedobiologia*, **43**: 364-371.

Inward, D., Vogler, A., Eggleton, P. 2007. A Comprehensive Phylogenetic Analysis of Termites (Isoptera) Illuminates Key Aspects of Their Evolutionary Biology. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **44**: 953–967.

Ji, R., Kappler, A., Brune, A. 2000. Transformation and mineralization of synthetic ¹⁴C-labeled humic model compounds by soil-feeding termites. *Soil Biology & Biochemistry* **32**: 1281-1291.

Kluge, J., Klessler, M., Dunn, R. 2006. What drives elevational patterns of diversity? A test of geometric constraints, climate and species pool effects for pteridophytes on an elevational gradient in Costa Rica. *Global Ecology and Biogeography* **15**: 358-371.

Lavelle, P.; Chauvel, A.; Fragoso, C. 1995. Faunal activity in acid soils. In Plant soil interaction at low pH. R.A. Date et al (eds). Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in ecological research*, **21**: 93-132.

Lee, K.E. & Wood, T.G. 1971. Termites and Soils, Academic Press, London, UK.

Lomolino, M. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* **10**: 3-13.

Monadjem, A. 1999. Geographic distribution patterns of small mammals in Swaziland in relation to abiotic factors and human land-use activity. *Biodiversity and Conservation*, **8**: 223-237.

Montaña, C. & Valiente-Banuet, A. 1998. Floristic and life-form diversity along an altitudinal gradient in an intertropical semiarid Mexican region. *Southwestern Naturalist*, **43**: 25-39.

Noirot, C. 1995. The gut of termites (Isoptera). Comparative anatomy, systematics, phylogeny. I. Lower termites. *Annales de la Société Entomologique de France* **31**: 197-226.

Noirot, C., Darlington, J. 2000. Termites nests: architecture, regulation and defence. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 121-139 pp.

Olson, D. 1994. The distribution of leaf litter invertebrates along a neotropical altitudinal gradient. *Journal of Tropical Ecology*, **10**: 129-150.

Palin, O.; Eggleton, P.; Malhi, Y.; Girardin, C.; Rozas-Dávila, A. & Parr, C. 2011. Termite diversity along an Amazon-Andes elevation gradient, Peru. *Biotropica*, **43** (1): 100-107.

R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing, 2012. The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0.

Rahbek, C. 1995. The elevational Gradient of Species Richness: A Uniform Pattern? *Ecography* **18**: 200-205.

Reis, Y. 2007. Comparação da riqueza de Isoptera entre as florestas ombrófilas densas, mesófilas de altitude e matas-de-cipó de altitude, no Domínio Atlântico do sul da Bahia. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 97 p.

Rezende, Pollyane Barbosa. 2012. Hábitos alimentares de cupins sul-americanos da família Termitidae (Insecta: Isoptera). Dissertação, Biologia Animal—Universidade de Brasília, Brasília. 46 p.

Ribeiro, S.; Carneiro, M. & Fernandes, G. 1994. Distribution of *Brachypnoea* (Coleóptera: Chrysomelidae) in an altitudinal gradient in a Brazilian savanna vegetation. *Phytophaga*, **6**: 29-33.

Richardson, B.; Richardson, M. & Soto-Adames, F. 2005. Separating the effects of forest type and elevation on the diversity of litter invertebrate communities in a humid tropical forest in Puerto Rico. *Journal of Animal Ecology* **74**: 926-936.

Ricklefs, R.E. 2004. A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology letters*, **7**: 1-15.

Sanders, N.; Moss, J.; Wagner, D. 2003. Patterns of ant species richness along elevational gradients in an arid ecosystem. *Global Ecology and Biogeography*, **11**: 93–102.

Sfenthourakis, S. 1992. Altitudinal effect on species richness of Oniscidea (Crustacea: Isopoda) on three mountains in Greece. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **2**: 157-195.

Schmitt-Wagner, D.; Friedrich, M.; Wagner, B.; Brune, A. 2003. Phylogenetic diversity, abundance, and axial distribution of bacteria in the intestinal tract of two soil-feeding termites (*Cubitermes* spp.). *69*: 6007–6017.

Soil Survey Staff. 1999. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2nd edition. Agricultural Handbook 436, Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington DC, USA, pp. 869.

Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy, 2014. 12 th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 360 pp..

Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

Traniello, J., Leuthold, R. 2000. In: Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology (Eds. Abe T., Bignell D.E., Higashi, M.). Kluwer Academic Publishers. 141-168 pp.

Unidad Administrativa Especial Del Sistema De Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) – Patrimonio Natural Fondo Biodiversidad y Areas Protegidas. 2008. Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes. San Vicente de Chucurí. 97 pp.

Vargas-Niño, A.; Sánchez-Muñoz, O.; Serna-Cardona, O. 2005. Lista de los géneros de Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia. *Biota Colombiana* **6** (2): 181 – 190.

Vásquez, V.H.; Serrano, M.A. 2009. Las áreas naturales protegidas de Colombia. Conservación Internacional-Colombia & Fundación Biocolombia. Bogotá, Colombia. 626 pp.

Vasconcellos, A. 2010. Biomass and abundance of termites in three remanent areas of Atlantic Forest in northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* **54**(3): 455–461.

ANEXOS

PERFIL 1 FITOFISIONOMIA - BOSQUE DE HIGUERÓN

ALTITUDE - 1175 m.

LITOLOGIA – Arenitos e rochas pelíticas.

MATERIAL ORIGINARIO – Colúvio.

PEDREGOSIDADE - Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE - Muito rochosa.

RELEVO LOCAL – Montanhoso.

RELEVO REGIONAL - Montanhoso – Escarpado.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMARIA - Bosque subandino. Dossel aberto e irregular com dominância de *Ficus* sp. (Moraceae)- Higuerón.

USO ATUAL – Conservação.

CLIMA - Af, da classificação de Köppen.

DATA DE DESCRIÇÃO - 16/08/2012.

LOCALIZAÇÃO - Colômbia, Santander, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, 6°33'30.22"N 73°33'03.76"W.

DESCRITO POR- Guilherme Resende Corrêa.

CLASSIFICAÇÃO - Cambisolo Háplico Tb; Typic Humaquepts.

OBSERVAÇÕES - Solo descrito muito úmido. Todos os horizontes são /R. Perfil todo rochoso e pedregoso na parte baixa de um escarpe.

Od–2-0 cm; A/R–19 cm; BA/R–36 cm; Bi/R–58 cm; BC/R–90 +

A/R– 0-19 cm; moderada pequena blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara; muitas raízes finas a médias.

BA/R– 19-36 cm; moderada pequena blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara; muitas raízes finas a médias.

Bi/R– 36-58 cm; moderada média e grande blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana gradual; raízes comuns finas e médias.



Figura 15. Perfil 1, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, sector La Belleza. A. Cambisolo Háplico Tb; Typic Humaquepts. B. Bosque de Higuerón.

PERFIL 2
FITOFISIONOMIA- BOSQUE DE CANELO

ALTITUDE- 1250 m.

LITOLOGIA- Siltitos/Argilitos.

MATERIAL ORIGINARIO- Pelitos.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Montanhoso.

RELEVO REGIONAL - Montanhoso – Escarpado.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMARIA - Bosque subandino. Dossel aberto e irregular com dominância de *Nectandra* sp. (Moraceae)- Canelo.

USO ATUAL – Conservação.

CLIMA - Af, da classificação de Köppen.

DATA DE DESCRIÇÃO - 16/08/2012.

LOCALIZAÇÃO - Colômbia, Santander, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, 6°33'29.17"N 73°33'01.55"W.

DESCRITO POR- Guilherme Resende Corrêa.

CLASSIFICAÇÃO- Cambisolo Háplico Tb distrófico latossólico; Oxic Dystrudetps.

OBSERVAÇÕES - Poucos fragmentos de CR dominantes em BCr de material pelítico.

Oo–8-0 cm; A-16 cm; BA-32 cm; Bi-57 cm; BCr-80 +

A– 0-16cm; forte e moderada, pequena e média, blocos subangulares e granular; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara; muitas raízes finas médias e grossas.

BA– 16-32 cm; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granular; friável, pegajosa e plástica; transição plana e clara; muitas raízes finas, médias e grossas.

Bi– 32-57 cm; forte, média e pequena, blocos subangulares; friável, pegajosa e plástica; transição plana e abrupta; raízes comuns finas e médias.

BCr– 57- 80+ cm; fraca, média, blocos subangulares; friável, pegajosa e plástica; poucas raízes finas e médias.

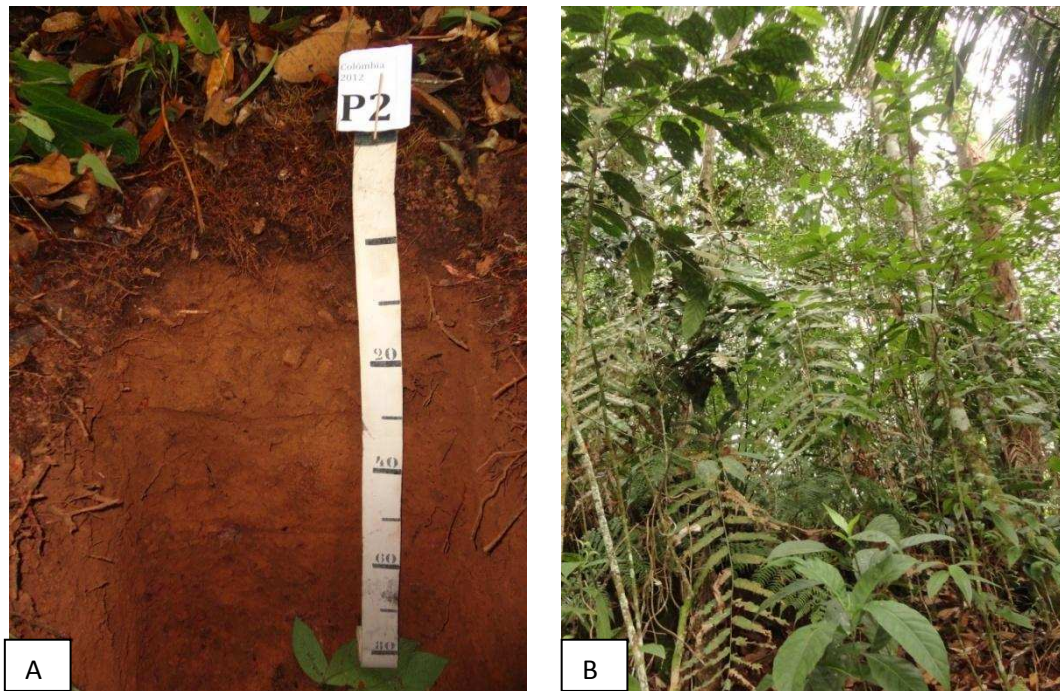


Figura 16. Perfil 2, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, sector La Belleza. A. Cambisolo Háplico Tb distrófico latossólico; Oxic Dystrudetps. B. Bosque de Canelo.

PERFIL 3
FITOFISIONOMIA- BOSQUE DE PINO ROMERÓN

ALTITUDE- 1352 m.

LITOLOGIA – Arenito.

MATERIAL ORIGINARIO- Siltitos/Argilitos.

PEDREGOSIDADE – Pedregosa.

ROCHOSIDADE – Rochosa.

RELEVO LOCAL – Montanhoso.

RELEVO REGIONAL - Montanhoso - Escarpado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM - Acentuadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMARIA - Bosque subandino. Dossel aberto e irregular com dominância de *Podocarpus cf. oleifolius* – Pino romerón e *Geonoma* sp. no sotobosque.

USO ATUAL – Conservação.

CLIMA - Af, da classificação de Köppen.

DATA DE DESCRIÇÃO - 17/08/2012.

LOCALIZAÇÃO - Colômbia, Santander, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, 6°33'21.36"N 73°33'03.59"W.

DESCRITO POR- Guilherme Resende Corrêa e Eduardo Senra.

CLASSIFICAÇÃO- Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico; Lithic Dystrudepts.

OBSERVAÇÕES – Solo descrito úmido. Bem estruturado.

Oo–23-14 cm; Od-14-0 cm; A/R-0-6 cm; Bi₁/R-6-38 cm; Bi₂/R-38-65 cm; C/R-65-85+cm

A/R– 0-6 cm; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granular; muito friável, pegajosa e plástica, transição ondulada e clara; abundantes raízes muitos finas, médias, grossas e muito grossas.

Bi₁/R6–38 cm; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granular; muito friável, pegajosa e plástica, transição ondulada e clara; abundantes raízes muitos finas, médias, grossas e muito grossas.

Bi₂/R 38-65 cm; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granular; muito friável, pegajosa e plástica, transição ondulada e clara; abundantes raízes muitos finas, médias, grossas e muito grossas.

C/R 65-85+ cm; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granular; muito friável, pegajosa e plástica; raízes comuns, médias, grossas e muito grossas.

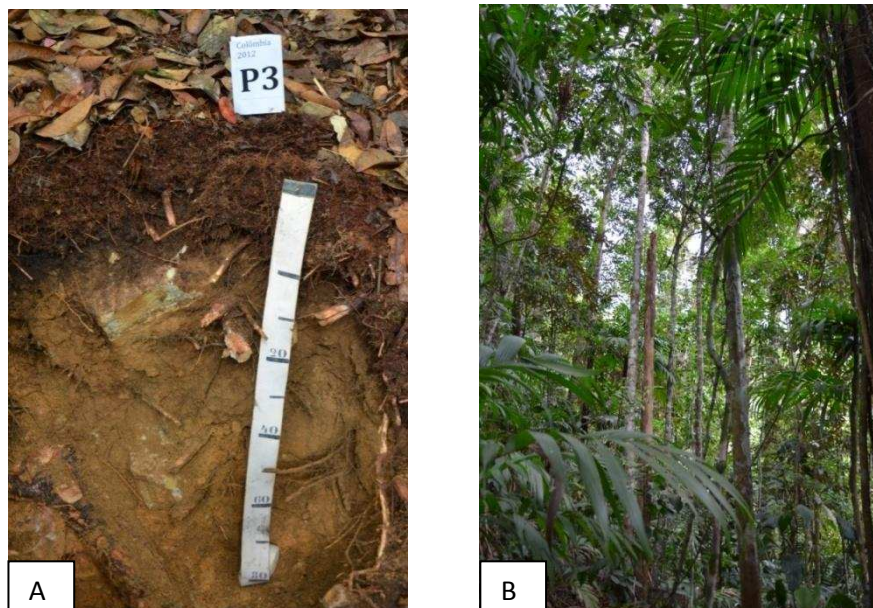


Figura 17. Perfil 3, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, setor La Belleza. A. Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico; Lithic Dystrudepts. B. Bosque de Pino romerón

PERFIL 4 FITOFISIONOMIA- BOSQUE DE PUNTE

ALTITUDE- 1455 m
LITOLOGIA- Siltitos e argilitos
MATERIAL ORIGINARIO- Rocha pelítica
PEDREGOSIDADE - Pedregosa
ROCHOSIDADE - Rochosa
RELEVO LOCAL - Montanhoso
RELEVO REGIONAL - Montanhoso - Escarpado
EROSÃO –Não aparente
DRENAGEM - Bem drenado
VEGETAÇÃO PRIMARIA - Bosque subandino. Dossel aberto e irregular com dominância de *Aniba* sp.-punte- e *Sloanea* sp.
USO ATUAL - Conservação
CLIMA - Af, da classificação de Köppen
DATA DE DESCRIÇÃO - 18/08/2012
LOCALIZAÇÃO - Colômbia, Santander, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, 6°33'23.79"N 73°32'56.58"W.
DESCRITO POR- Guilherme Resende Corrêa e Eduardo Senra
CLASSIFICAÇÃO – Cambissólo Háplico Ta Distrófico típico, Typic Humudepts
OBSERVAÇÕES: Perfil descrito úmido.

Oo–15-4 cm; Od-4-0 cm; A-0-18 cm; BA-18-27 cm; Bi-27-48 cm; Cr-48-80 +

A– 0–18cm; moderada pequena, blocos subangulares e granular; muito friável plástica e pegajosa; transição plana e clara; abundantes raízes muito finas, médias e grossas.

BA– 18–27cm.; moderada pequena, blocos subangulares e granular; muito friável plástica e pegajosa; transição plana e clara; muitas raízes finas, médias e grossas.

Bi– 27–48 cm; moderada pequena e media, blocos subangulares e granular; muito friável pegajosa e plástica; transição plana e clara; muitas raízes medias e grossas.

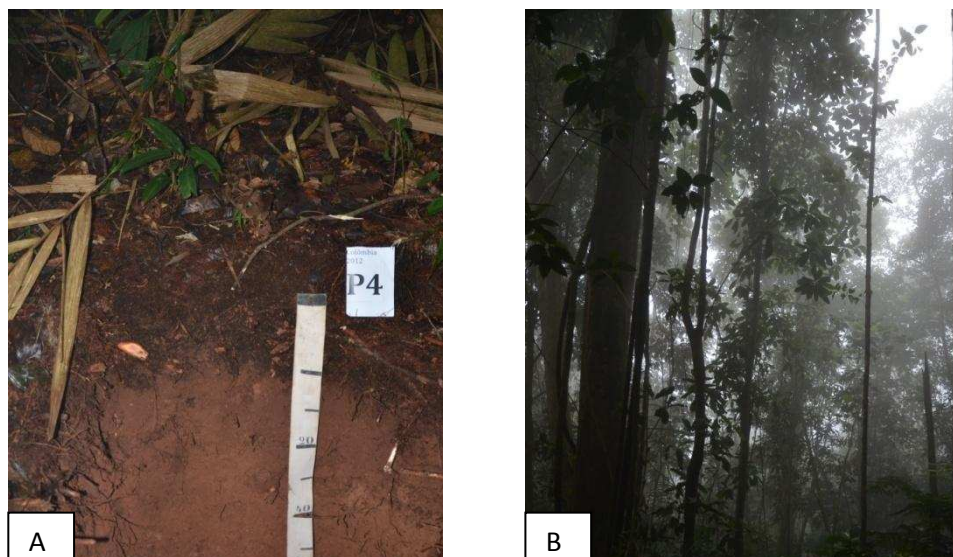


Figura 18. Perfil 4, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, setor La Belleza. A. Cambissólo Háplico Distrófico típico, Typic Humudepts B. Bosque de Punta (*Aniba* sp).

PERFIL 5
FITOFISIONOMIA- BOSQUE DE ROBLE

ALTITUDE – 1765 m.
LITOLOGIA – Arenitos.
MATERIAL ORIGINARIO- Rocha Psamítica.
PEDREGOSIDADE –Pedregosa.
ROCHOSIDADE –Rochosa.
RELEVO LOCAL –Forte ondulado.
RELEVO REGIONAL – Montanhoso.
EROSÃO –Não aparente.
DRENAGEM –Imperfeitamente drenado.
VEGETAÇÃO PRIMARIA - Bosque Subandino. Dossel aberto e irregular com dominância de *Quercus humboldtii* –Roble-.
USO ATUAL – Conservação.
CLIMA - Af, da classificação de Köppen.
DATA DE DESCRIÇÃO - 23/08/2012.
LOCALIZAÇÃO - Colômbia, Santander, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, 6°33'27.84"N 73°32'39.61"W.
DESCRITO POR- Guilherme Resende Corrêa e Eduardo Senra.
CLASSIFICAÇÃO- Neossolo litólico, Lithic Endoaquepts.
OBSERVAÇÕES: Merejando água, contato lítico.

O–8-0 cm; A/R-0-7 cm; C₁/R-7-34 cm; C₂/R-34-52; R-52 +

A/R – 0–7 cm; grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara; abundantes raízes grossas e muito grossas.

C₁/R – 7–34 cm; grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara; raízes comuns médias e grossas.

C₂/R– 34–52 cm; grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta; poucas raízes médias.



Figura 19. Perfil 5, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, sector Manchurrias.
A. Neossolo litólico, Lithic Endoaquepts. B. Bosque de Roble.

PERFIL 6
FITOFISIONOMIA- BOSQUE DE CEDRO NEGRO

ALTITUDE- 2015m
LITOLOGIA – Siltitos e Argilitos.
MATERIAL ORIGINARIO –Rocha Pelítica.
PEDREGOSIDADE –Ligeiramente pedregosa.
ROCHOSIDADE –Não rochosa.
RELEVO LOCAL –Forte ondulado.
RELEVO REGIONAL – Montanhoso.
EROSÃO –Não aparente.
DRENAGEM –Moderadamente drenado.
VEGETAÇÃO PRIMARIA - Bosque subandino. Dossel aberto e irregular com dominância de *Juglans neotropica*- Cedro Negro.
USO ATUAL – Conservação.
CLIMA - Af, da classificação de Köppen.
DATA DE DESCRIÇÃO - 24/08/2012.
LOCALIZAÇÃO - Colômbia, Santander, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, 6°41'01.20"N 73°26'01.98"W.
DESCRITO POR- Guilherme Resende Corrêa e Eduardo Senra.
CLASSIFICAÇÃO- Cambisolo Háplico Tb Distrófico, Lithic Dystrudepts.
OBSERVAÇÕES: Fragmentos pelíticos/psamíticos. Material de colúvio. Solo descrito úmido.

O–18-0 cm; A-0-10 cm; Bi₁-10-24 cm; Bi₂-24-48; C/R-48-70 +

A–0–10 cm; fraca pequena e média, blocos subangulares; friável plástica e pegajosa; transição ondulada e clara; abundantes raízes muito finas médias e grossas.
Bi₁– 10–24 cm; moderado pequena e média, blocos subangulares; friável plástica e pegajosa; transição plana e gradual; muitas raízes médias.
Bi₂– 24–48 cm; moderado pequena e média, blocos subangulares; friável plástica e pegajosa; transição irregular e clara; raízes comuns médias.

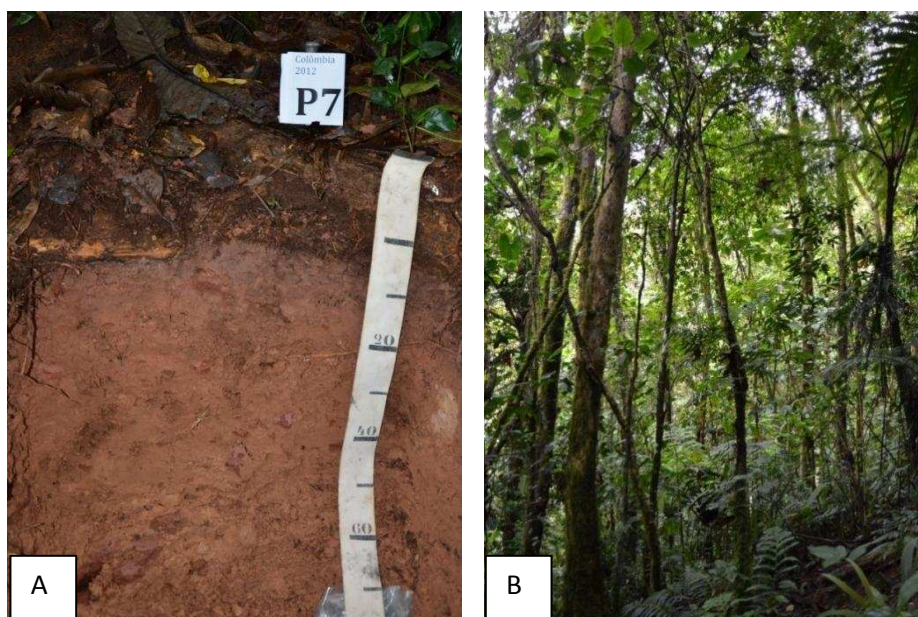


Figura 20. Perfil 6, Parque Nacional Natural Serranía de los Yariquíes, sector Manchurrias. A. Cambisolo Háplico Ta Distrófico típico. B. Bosque de Cedro Negro.

CAPITULO 2

Efeito dos atributos do solo sobre a riqueza de espécies e composição de guildas alimentares de cupins ao longo de dois gradientes altitudinais do Brasil.

Manuscrito original, apresentado em formato de submissão.

Efeito dos atributos do solo sobre a riqueza de espécies e composição de guildas alimentares de cupins ao longo de dois gradientes altitudinais no Brasil.

Resumo

Estudou-se a relação entre a riqueza de cupins e as características químicas e granulométricas do solo, em dois gradientes altitudinais e pedológicos, um deles localizado no Parque Estadual Serra do Brigadeiro (MG), e o outro localizado no Parque Nacional do Caparaó (MG-ES). Foram abertos no total 16 perfis de solo, e coletadas amostras de cada horizonte e determinadas suas propriedades físico-químicas. Ao redor de cada perfil foram definidas aleatoriamente 5 parcelas de 10 x 2 m e coletadas amostras compostas de serapilheira. Em cada parcela também foram coletados cupins com um esforço de captura de duas pessoas/hora. As análises estatísticas envolveram Modelagem Linear Generalizada (GLM) com respectiva análise de resíduo para analisar a riqueza e abundância de cupins humívoros com o incremento da altitude e sua relação com as propriedades físico-químicas do solo e da serapilheira. A riqueza de cupins xilófagos e intermediários diminuiu com a altitude, mas contrario ao reportado pela literatura, a guilda de humívoros não foi afetada e apresentou uma tendência positiva com altos teores de carbono do solo. A guilda de intermediários foi afetada negativamente pela atividade da argila e o teor de matéria orgânica do solo, e positivamente pelo teor de argila e profundidade do solo. A profundidade do solo também afetou positivamente a riqueza de xilófagos, o que permite concluir que a topografia local afetou a classe de solo e vegetação, e por tanto, a disponibilidade de nichos e guildas alimentares associados à oferta de recursos decorrentes as características próprias de cada pedoambiente.

Introdução

Dentro da fauna do solo, os cupins se destacam por afetar

significativamente muitas das propriedades do solo (Holt & Lepage, 2000; Eggleton, 1992; Lawton & Jones, 1995; Lavelle, 1995; Swift *et al.*, 1998; Palin *et al.*, 2011). Os cupins contribuem no solo nos processos de humificação, distribuição, proteção e estabilização da matéria orgânica, liberação de N e P imobilizado, assim como o incremento da capacidade da argila de absorver cátions (CTC), drenagem e aeração (Lavelle, 1997; Lee & Wood, 1971; Holt & Lepage, 2000; Ji *et al.*, 2000; Ali *et al.*, 2013). Constituem junto com formigas e minhocas, o grupo mais importante da pedofauna por afetar a estrutura física e função biológica do solo (Eschenbrenner, 1986; Jouquet *et al.*, 2002; Sarcinelli *et al.*, 2009; De Oliveira *et al.*, 2014) em três aspectos principais: i) translocação do solo de horizontes sub-superficiais, ii) microestrutura do solo, iii) construção de galerias nos horizontes sub-superficiais (Holt & Lepage, 2000).

Por outro lado, os cupins também são afetados pelas características químicas e físicas do solo, já que é um importante recurso alimentar para os cupins humívoros ou geófagos que utilizam matéria orgânica com alto grau de decomposição, junto com hifas e esporos de fungos, algas e restos de pequenos organismos (Brauman *et al.*, 2000). O solo também pode ser um recurso de nidificação para construir seus ninhos e galerias de forrageamento, que variam em tamanho de acordo com o tamanho da colônia e preferências de cada espécie. Considerando que mais de 60% das espécies de cupins sofrem um efeito direto das características do solo pelas suas atividades de forrageamento e construção de ninhos, faz-se indispensável caracterizar com mais detalhe o solo como recurso alimentar e de nidificação para explicar melhor a distribuição desses insetos.

Existe uma grande quantidade de trabalhos que estudam a influencia dos cupins sobre as características do solo (Lee & Wood, 1971; Lal, 1987, 1988; Jones, 1990; Martins, 2007; Sarcinelli *et al.*, 2009) porém não existe informação publicada sobre pesquisas puntuales que correlacionem a localização das colônias de cupins com as propriedades do solo ou disponibilidade de nutrientes (Brauman *et al.*, 2000). Geralmente os estudos sobre riqueza e abundancia de espécies correlacionam os cupins com o tipo de vegetação,

complexidade do hábitat que reflete microhábitats disponíveis e variáveis climáticas que restringem o metabolismo dos organismos.

Estudos anteriores sobre composição de espécies de cupins analisam poucos atributos do solo como parte da caracterização ambiental da área de estudo. Jones e colaboradores (2003) analisaram a assamléia de cupins ao longo de um gradiente de uso do solo em terras baixas de Sumatra, Indonésia, caracterizando a densidade do solo, pH, Carbono orgânico total (COT) e Nitrogênio orgânico total (NT), encontrando que só a densidade do solo afetava negativamente a abundância desses insetos em agroecossistemas que apresentavam compactação do solo. Resultado diferente foi obtido em ecossistemas conservados. Davies e colaboradores (2003) analisaram a composição de espécies na Guiana Francesa, encontrando que o pH, profundidade do horizonte A e umidade do solo afetam a guilda de humívoros. Araujo e colaboradores (2007) estudaram a riqueza de cupins em mata atlântica caracterizando só a granulometria do solo que não apresentou correlação com a riqueza. Finalmente o mais recente estudo de riqueza de cupins ao longo de um gradiente altitudinal no Peru caracterizou a temperatura e umidade do solo assim como a profundidade do horizonte O, encontrando uma correlação negativa entre umidade e profundidade do solo com a riqueza.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a variação na composição de guildas de cupins para ser correlacionadas com as propriedades físicas e químicas do solo em gradientes pedológicos de sistemas montanhosos do Brasil, na faixa altitudinal entre 1000 e 2000 m a onde a riqueza de espécies começa a diminuir e se tem presença de fatores que restringem os cupins.

Devido a que as diferentes guildas alimentares de cupins diferem em hábitos alimentares e de nidificação, é esperado que o efeito do solo sobre cada uma das guildas seja diferente, por tanto testamos as seguintes hipóteses: i) o teor de silte, argila, matéria orgânica e a atividade da argila do solo, assim como o teor matéria orgânica da serapilheira afetam a riqueza de espécies de cupins humívoros e em menor proporção, de cupins intermediários, ii) a profundidade do solo afeta a riqueza de espécies de cupins xilófagos e intermediários porque define o porte da vegetação que será o

recurso alimentar desses cupins. No presente estudo não foi possível testar hipóteses referentes a guilda de ceifadores, devido à ausência dessa guilda na área de estudo.

Materiais e Métodos

Foram estudados dois gradientes altitudinais entre 1100 e 2100 m cada um, com esforço de coleta padronizado, sendo um dentro do Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil, e outro dentro do Parque Nacional do Caparaó, na divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Figura 21).



Figura 21. Localização geográfica das duas áreas de estudo, Parque Estadual Serra do Brigadeiro e Parque Nacional do Caparaó.

Características da área de estudo

Parque Nacional do Caparaó

O Parque Nacional do Caparaó (PNC) pertence ao estado de Minas Gerais e abrange os municípios de Alto Caparaó, Caparaó, Alto Jequitibá e Espera Feliz entre as coordenadas geográficas 41°28' e 41°37' oeste e 20° 46' S e

20°55' sul. Possui área total de 26467,22 há. Predomina o clima mesotérmico de Koppen (Cwb), com temperatura média anual entre 19 e 22°C, porém em cotas acima de 2000 m podem registrar temperaturas de -4°C (IBAMA, 1997). A região apresenta uma cadeia de montanhas que se elevam abruptamente formando o Maciço do Caparaó com uma altitude máxima de 2890 m. O maciço é conformado por rochas de 2 bilhões de anos de antiguidade, rejuvenecidas durante o Ciclo Brasileiro (cerca de 630-550 Ma). Quanto à geologia, a área apresenta uma complexidade geológica envolvendo migmatitos e gnaisses granitizados, com presença de diques de anfibólitos, dioritos e gabros (RADAMBRASIL, 1983). O parque apresenta uma grande variedade de solos, entre eles Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Cambissolos Húmicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Organossolos Hísticos (Rodríguez, 2011).

A área apresenta quatro tipos de vegetação: Floresta Montana, Floresta Alto-montana, Escrubes e campos de altitude (Rodríguez, 2011). A vegetação arbórea está condicionada principalmente pela profundidade do solo e disponibilidade de água, e por cima dos 1500 m de altitude, dominam os campos de altitude desenvolvidos sobre solos rasos, quimicamente pobres mas com alto teor de matéria orgânica tais como Neossolos itólicos húmicos ou Organossolos (Dias *et al.*, 2002; Shaefer & Simas, 2007). Os Complexos Rupestres de Altitude apresentam uma ampla variação tanto na sua composição florística quanto na estrutura das comunidades vegetacionais nos diversos microhabitats (Vitta, 1995; Conceição & Giulietti, 2002; Conceição & Pirani, 2005; Conceição, Giulietti & Meirelles, 2007; Conceição, Pirani & Meirelles, 2007).

Parque Estadual da Serra do Brigadeiro

O Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB) está localizado na Zona da Mata mineira, entre as coordenadas 42°40' e 40°20' oeste e 20°33' e 21°00' sul. Abrange áreas dos municípios de Araponga, Ervália, Fervedouro, Miradouro, Divino, Pedra Bonita, Sericita e Muriaé (Soares, 2006). O PESB é uma continuação da Serra da Mantiqueira ao sul e a do Caparaó ao nordeste

(Soares, 2006), abrigando um dos maiores fragmentos do bioma Mata Atlântica e espécies da flora e fauna em risco de extinção. Com predomínio de Floresta Estacional Semidecidual (Veloso, 1991), os vales interiores do PESB apresenta vegetação ombrófila (Soares, 2006), e acima de 1.600 m de altitude ocorrem Complexos Rupestres de altitude (Benites, 2002) associados aos afloramentos de substrato rochoso constituindo um ambiente de exceção (Schaefer *et al.*, 2006), com ampla variação florística e de comunidades vegetacionais nos diversos microhabitats (Vitta, 1995; Conceição & Giuliatti, 2002; Conceição & Pirani, 2005; Conceição, Giuliatti & Meirelles, 2007; Conceição, Pirani & Meirelles, 2007).

Predomina o clima mesotérmico de Koppen (Cwb) com temperatura média anual de 18°C. A média do mês mais frio é inferior a 10°C e a média do mês mais quente é inferior a 23°C, chegando aos 0°C nas noites mais frias. O regime pluviométrico é caracterizado por um período quente e chuvoso, durante os meses de novembro a março, e por um período seco, entre os meses de abril e outubro, a precipitação média anual varia em torno de 1300 mm. A região apresenta altitude variando entre 980 e 1980 m sendo observado um forte controle estrutural sobre as formas de modelado, influenciando a distribuição dos solos e da vegetação. Os solos da região são em geral distróficos e com altos teores de alumínio, podendo apresentar elevados teores de matéria orgânica, com formação de horizontes A húmicos (Ambiente Brasil, 2006).

Coleta de solos, serapilheira e cupins

Considerando que a riqueza de cupins não é afetada significativamente pela sazonalidade (Davies *et al.*, 2002), foi realizada só uma coleta em cada parque. No PNC foi realizada no fim da época seca em novembro de 2012 e no PESB foi realizada a coleta na época seca em julho de 2012. Foram selecionadas sete altitudes no PNC (Figura 22) e nove altitudes no PESB (Figura 23) e, somando um total de 16 altitudes, cada uma com uma classe de solo diferente (Tabela 19 e 20).

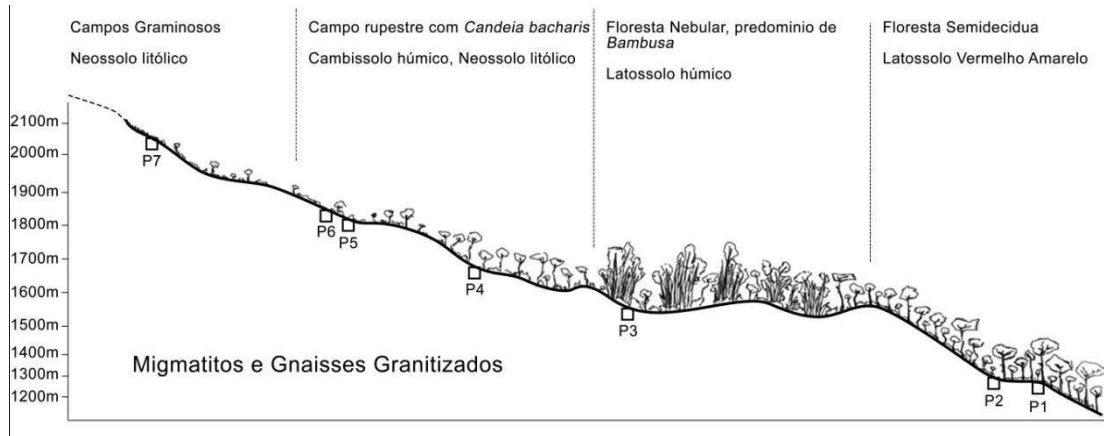


Figura 22. Corte pedogeomofológico e vegetacional na topossequência de solos estudados ao longo de um gradientes altitudinal no Parque Nacional do Caparaó, MG-ES, Brasil

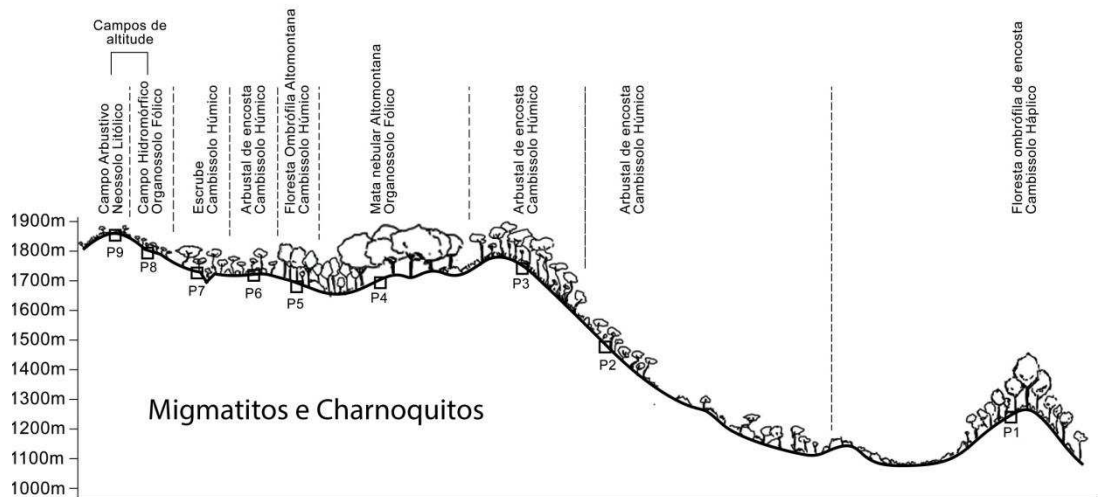


Figura 23. Corte pedogeomofológico e vegetacional na topossequência de solos estudados ao longo de um gradientes altitudinal no Parque Estadual Serra do Brigadeiro, MG, Brasil.

Em cada altitude, foi aberta uma trincheira de 1x1 m para realizar a descrição do perfil do solo e coleta de amostras de solo e para sua posterior caracterização química e física. Em volta de cada perfil foram lançadas cinco parcelas de 2 x10 m cada uma, distanciadas entre si aproximadamente a cada 10 m, onde foram realizadas manualmente as coletas de cupins, com um esforço amostral de duas pessoas/hora. A busca era realizada principalmente em microambientes onde são comumente encontrados como ninhos, troncos em decomposição, serapilheira e mesmo no horizonte superficial do solo. Além disso, também foram registradas as informações sobre em qual substrato eles

foram coletados para caracterizar quais nichos estavam sendo ocupados em cada altitude.

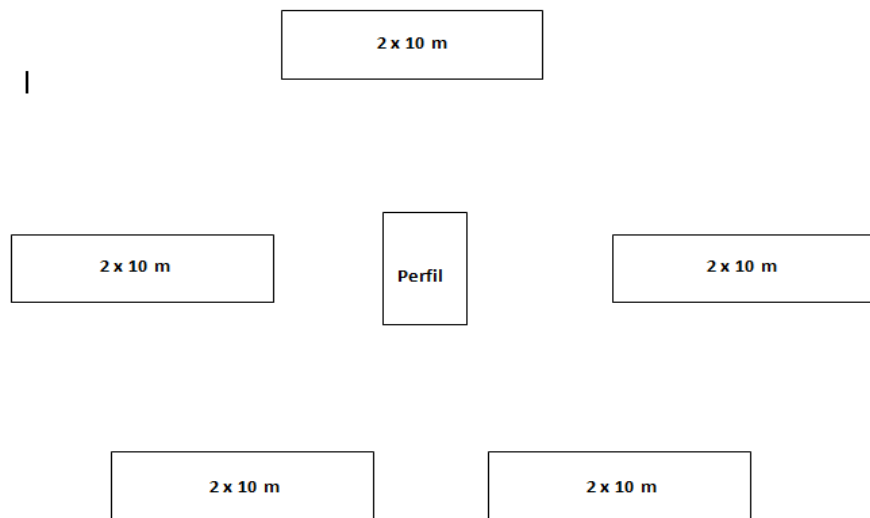


Figura 24. Distribuição da trincheira e as 5 parcelas em cada uma das altitudes estudadas no Parque Estadual Serra do Brigadeiro e Parque Nacional do Caparaó, MG-ES, Brasil.



Figura 25. Descrição de perfil de solo no Parque Nacional do Caparaó, Minas Gerais-Espírito Santo, Brasil. Secagem e preparação de amostras para análises físicos e químicos.

Para cada altitude, a riqueza de cupins foi determinada utilizando o número

de espécies, enquanto a abundancia pelo número de amostras coletadas. Adicionalmente, em cada parcela foram tomadas cinco medidas da profundidade da serapilheira e coletadas cinco amostras de serapilheira, cada uma com um volume de 15 x15 x15 cm, que foram homogeneizadas para originar uma amostra composta correspondente a cada parcela, totalizando cinco amostras compostas por cada altitude, para posterior caracterização química em laboratório.

Tabela 19. Descrição das áreas de estudo no Parque Nacional do Caparaó, divisa Minas Gerais-Espiritu Santo, Brasil.

Perfil	Coordenadas	Altitude (m)	Classe de solo	Fitofisionomia	Descrição da vegetação
1	20°24'41.50"S, 41°51'00.65"W	1244	Latossolo vermelho amarelo	Floresta montana	Floresta secundaria com subbosque pouco denso com altura de copas até 30-40 m.
2	20°24'35.64"S, 41°51'03.47"W	1325	Latossolo vermelho amarelo	Floresta Montana	Floresta secundaria com subbosque pouco denso com altura de copas até 30-40 m.
3	20°23'58.81"S, 41°50'34.87"W	1695	Cambissolo húmico	Floresta alto-montana	Floresta secundaria com predomínio de <i>Bambus.</i>
4	20°23'53.83"S, 41°50'15.48"W	1887	Cambissolo húmico	Floresta alto-montana	Escrube e campos com arbustos, <i>Candeia bacharis.</i>
5	20°24'07.35"S, 41°50'09.04"W	1967	Neossolo litólico	Campo de altitude	Escrube e Campo rupestre com arbustos <i>Candeia bacharis.</i>
6	20°24'09.27"S, 41°50'07.18"W	2003	Cambissolo húmico	Campo de altitude	Escrube e Campo rupestre com arbustos <i>Candeia bacharis.</i>
7	20°24'17.20"S, 41°50'00.67"W	2080	Organossolo litólico	Campo de altitude	Campo gramíneo.

Tabela 20. Descrição das áreas de estudo no Parque Estadual Serra do Brigadeiro, MG.

Perfil	Coordenadas	Altitude (m)	Classe de solo	Fitofisionomia	Descrição da vegetação
1	20°44'42.73"S, 42°27'24.14"W	1244	Cambissolo háplico	Floresta Ombrófila Densa Montana	Vegetação arbórea com dominância de <i>Myrcia splendens</i> , <i>Clethra scabra</i> , <i>Myrsine umbelata</i> , <i>Myrciaria delicatula</i>
2	20°44'18"S, 42°28'14"W	1477	Cambissolo húmico distrófico raso	Arbustal de encosta	Composta por indivíduos arbóreos entre 2 e 4 m, e alguns poucos até 6 m, com dominancia de <i>Eremanthus erythropappus</i> , <i>Myrcia splendens</i> , <i>Trembleya parviflora</i> e <i>Huberia semiserrata</i> .
3	20°44'29.71"S, 42°28'24.42" W	1650	Cambissolo húmico	Mata Semidecídua Aberta de encosta	Vegetação arbórea com presença de <i>Roupala Montana</i> , <i>Dalbergia foliolosa</i> , <i>Myrsine ferruginea</i> e <i>Miconia affinis</i> .
4	20°44'51.42"S 42°27'59.63"W	1695	Organossolo Fólico	Mata Nebular Altamontana	Composta por indivíduos arbóreos de 3 a 5 metros, com dominância de <i>Myrcia splendens</i> , <i>Clethra scabra Pers.</i> , <i>Myrsine umbelata</i> , <i>Myrciaria delicatula</i> .
5	20°44'38"S, 42°28'05"W	1680	Cambissolo húmico tb distrófico	Floresta ombrofila	Vegetação arbórea com dominancia de <i>Myrcia splendens</i> , <i>Clethra scabra Pers.</i> , <i>Myrsine umbelata</i> , <i>Myrciaria delicatula</i> .
6	20°44'45"S, 42°28'14"W	1725	Organossolo Sáprico espodico	Campo graminoso brejoso	Composta por herbáceas e arbustos associados a hidromorfismo temporário, com dominância de <i>Panicum euprepes</i> , <i>Vellozia variegata</i> , <i>Hesperozygis nitida</i> e <i>Baccharis platypoda</i> .

Continuação Tabela 20. Descrição das áreas de estudo no Parque Estadual Serra do

Perfil	Coordenadas	Altitude	Classe de solo	Fitofisionomia	Descrição da vegetação
7	20°44'51.57"S, 42°27'59.00"W	1755 m	Cambissolo húmico profundo	Escrube	Vegetação herbácea e arbustiva com dominância de <i>Nanuza plicata</i> e <i>Dyckia weddelliana</i> .
8	20°44'52.62"S, 42°28'13.19"W	1827 m	Organossolo Fólico	Campo arbustivo hidromorfo	Vegetação de ilhas de arbustos com dominância de certas espécies como <i>Lavoziara pectinata</i> .
9	20°45'0.09"S, 42°28'14.76"W	1894 m	Neossolo lítolico húmico	Campo arbustivo de altitude	Vegetação herbácea, com subarbustos esparsos de até 50 cm de altura e bromélias, e dominância de <i>Hesperozygis nitida</i> e <i>Baccharis platypoda</i> .

Análises químicas e granulométricas

As amostras de solos secas ao ar foram destorroadas e peneiradas, obtendo-se a fração com diâmetro menor que 2 mm (TFSA). Após a secagem, as amostras, tiveram suas propriedades físicas e químicas determinadas conforme métodos reunidos por EMBRAPA (1997). As amostras de serapilheira foram secas durante 72 horas em estufa a 50°C, moídas e submetidas a análises químicas para determinar os teores de N pelo método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), P por colorimetria pelo método do ácido ascórbico (Braga & Defelipo, 1974), determinação de C na mufla, K por fotometria de chama, e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, seguindo metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Posteriormente os solos foram identificados pelo sistema de classificação brasileiro e também pela classificação da Soil Taxonomy (SSS, 2014) baseado na caracterização em campo, e os resultados das análises químicas e físicas das amostras.

Identificação de espécies e guildas alimentares de cupins

Os espécimes de cupins foram identificados ao nível de gênero com o auxílio de chaves taxonômicas (Fontes, 1992; Constantino, 1999, 2002) e ao de espécie por comparação com a coleção de Isoptera do Museu de Zoologia

de São Paulo. A preferência alimentar das espécies foi definida através de revisão de literatura (Constantino, 1992; DeSouza & Brown, 1994; Donovan et al., 2001; Vasconcellos, 2010; Canello *et al.*, 2014). Nos casos de divergência entre os autores, adotou-se o critério escolhido pela maioria dos autores. Os exemplares foram depositados na coleção de Termitologia do Museu Regional de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa (UFVB) e uma cópia foi depositada na coleção de Isoptera do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP). Foi empregada a classificação de guildas ou grupos funcionais alimentares (xilófagos, comedores de serapilheira, intermediários e humívoros) proposta por Rezende (2012).

Análises estatísticas

Foram analisadas a riqueza de espécies de cupins e características químicas e físicas do solo e da serapilheira dos dois parques (PESB e PNC) em conjunto para um total de 16 perfis, devido a similitude regional entre os dois parques e a que compartilharam o 70% das espécies de cupins. Para analisar a variação da riqueza e abundância de todas as guildas de cupins com o incremento da altitude, foi utilizada regressão lineal com distribuição de Poisson corrigida para quasipoisson para cada guilda por separado. Para analisar a variação dos macronutrientes da serapilheira, foi feita uma média entre as 5 parcelas por cada altitude, para obter um valor único de cada macronutriente por altitude. Referente aos atributos do solo, para cada atributo químico e físico foi feita uma média entre todos os horizontes presentes em cada perfil obtendo um único valor por perfil. Esse valor médio foi correlacionado com os cupins que consideramos empregariam direta ou indiretamente todos os horizontes do perfil que foi no caso das guildas de xilófagos, ceifadores e intermediários. Já para a guilda de humívoros, foi feita a correlação com os valores correspondentes unicamente ao horizonte A, devido a que esta guilda alimentar emprega principalmente os 15 primeiros cm do solo. Foram realizados modelos lineares individuais de regressão lineal com distribuição normal e distribuição de Poisson corrigido para quasipoisson, para estudar a relação entre atributos do solo e serapilheira com a riqueza de

cupins. Cada modelo independente ficou da seguinte maneira: *riqueza~atributo*. As análises estatísticas foram realizadas no programa R (R Development Core Team, 2012), envolveram Modelagem Linear Generalizada (GLM), com respectiva análise de resíduos a fim de verificar a aceitabilidade dos modelos utilizados e ocorrência de sobredispersão.

Resultados

Riqueza de cupins e composição de guildas alimentares

Nos dois gradientes altitudinais estudados localizados no bioma de Mata Atlântica dentro das áreas protegidas PESB e CAP, foram coletadas 13 espécies de cupins no total. Foram encontradas 5 espécies de xilófagos, 6 de humívoros e 2 de intermediários. Não foram achadas espécies de ceifadores, já que o gênero novo próximo a *Diversitermes* sp. a pesar de que a literatura reporta que é ceifador, em campo foi coletado sempre forrageando e nidificando dentro de troncos em decomposição, por tanto foi classificado como xilófago no presente trabalho (Figura 26, Tabela 22).

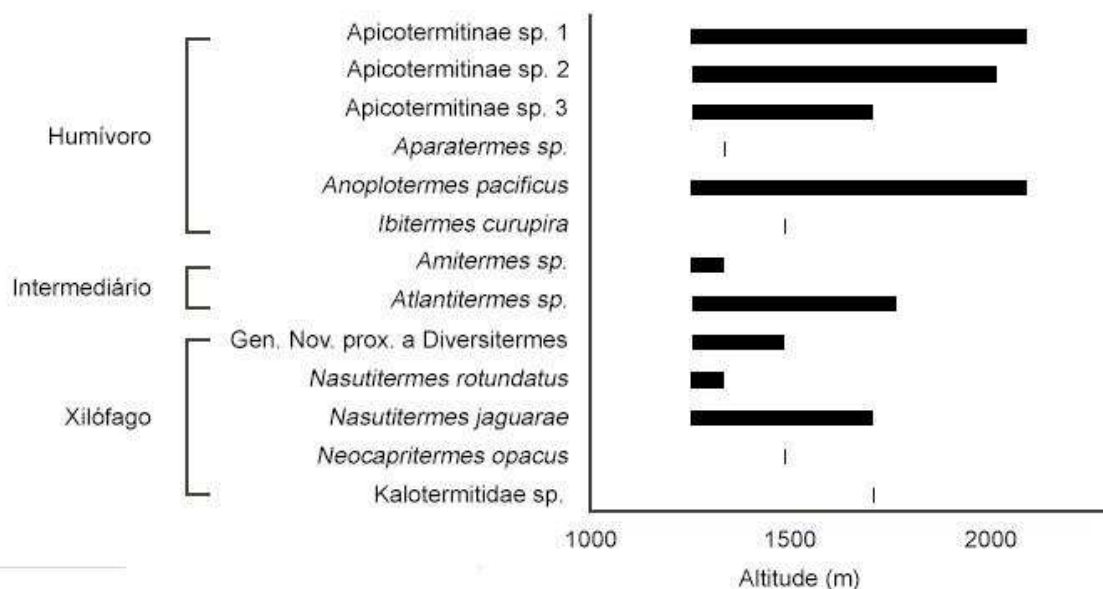


Figura 26. Distribuição altitudinal dos gêneros e guildas alimentares de cupins nos dois gradientes altitudinais do Parque Nacional do Caparaó e Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

Tabela 21. Distribuição altitudinal dos gêneros e guildas alimentares de cupins no Parque Nacional do Caparaó.

Espécie	Guilda Alimentar	Altitude (m)						
		1240	1325	1710	1887	1967	2003	2080
Termitidae								
Apicotermatinae								
<i>Anoplotermes pacificus</i>	Humívoro	4	6		2	15	12	8
Apicotermatinae sp.1	Humívoro	7	9	6	23	10	24	1
Apicotermatinae sp.2	Humívoro				3		2	
Apicotermatinae sp.3	Humívoro		1					
<i>Aparatermes</i> sp.	Humívoro		1					
Nasutitermitinae								
<i>Atlantitermes</i> sp.	Intermediário			9				
<i>Nasutitermes jaguarae</i>	Xilófago	8	3					
<i>Nasutitermes rotundatus</i>	Xilófago	2	1					
Syntermitinae								
<i>Armitermes</i> sp.	Intermediário	1	1					
Total Riqueza		5	7	2	3	2	3	2
Total Abundancia		27	29	17	31	27	41	11

Tabela 22. Distribuição altitudinal dos gêneros e guildas alimentares de cupins no Parque Estadual Serra do Brigadeiro.

Espécie	Guilda Alimentar	Altitude (m)								
		1247	1477	1650	1695	1680	1725	1755	1827	1894
Kalotermitidae										
Kalotermitidae sp.	Xilófago				1					
Termitidae										
Apicotermatinae										
<i>Anoplotermes pacificus</i>	Humívoro	15	7	11	9	5	11	9	19	13
Apicotermatinae sp.1	Humívoro	12	12	16	2	1	3	6	1	1
Apicotermatinae sp.2	Humívoro	2		1	1					
Apicotermatinae sp.3	Humívoro	1		1	2					
Nasutitermitinae										
<i>Atlantitermes</i> sp1	Intermediário	6	1	4		1		1		
<i>Nasutitermes jaguarae</i>	Xilófago	1	1		1					
<i>Nasutitermes rotundatus</i>	Xilófago	3								
<i>Diversitermes</i> sp. nova	Ceifador	1	1							
Syntermitinae										
<i>Ibitermes</i> sp1	Humívoro		1							
Termitinae										
<i>Neocapritermes opacus</i>	Xilófago		9							
Total Riqueza		8	7	5	6	3	2	3	2	2
Total Abundancia		49	39	38	22	10	16	19	22	16

Os resultados mostraram que a riqueza de espécies foi afetada de forma diferente entre as guildas, sendo afetados negativamente pela altitude os cupins intermediários e xilófagos ($P= 0.008685$ e $P=0.001295$ respectivamente), enquanto humívoros não foram influenciados ($P=0.1983$).

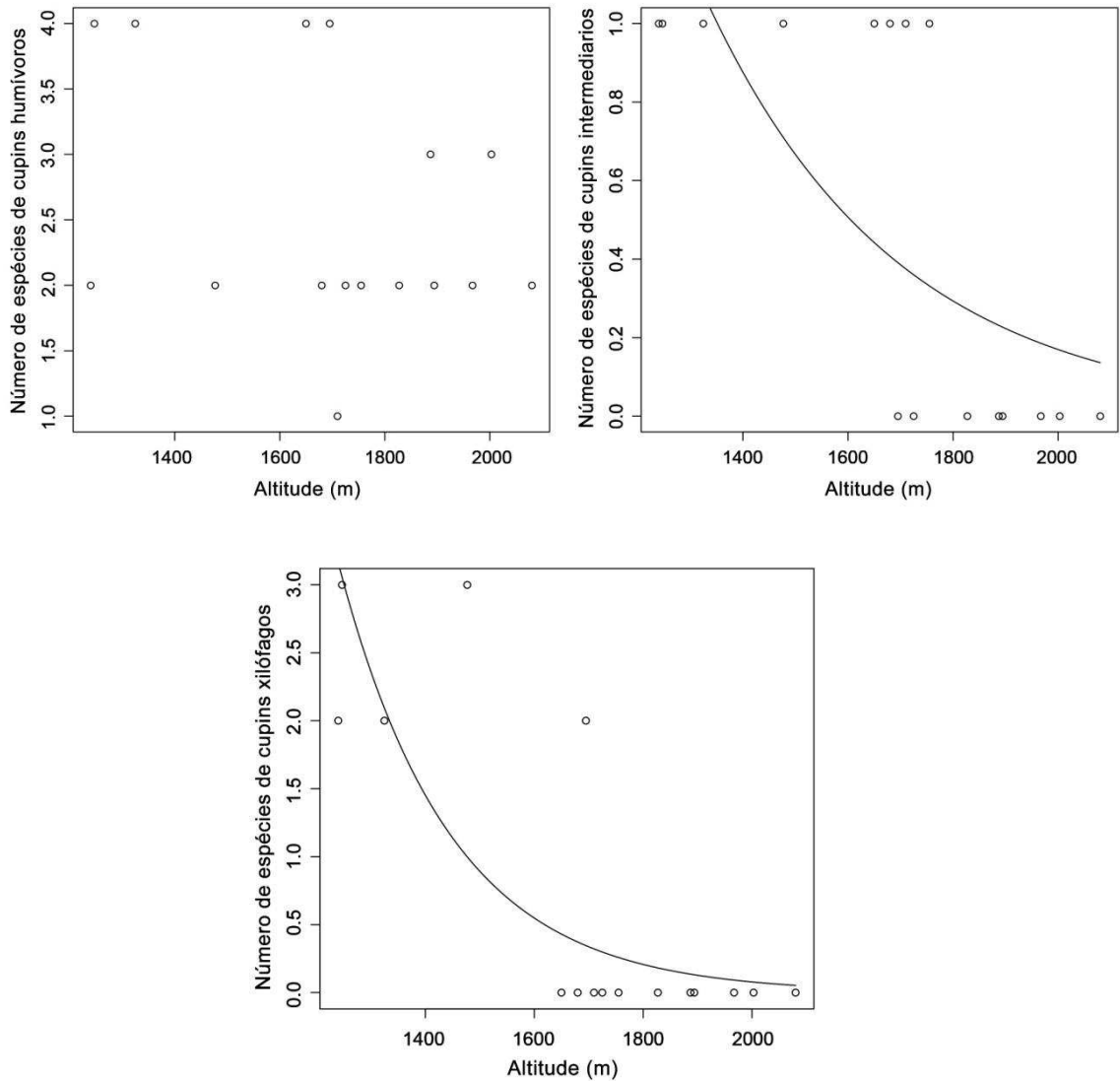


Figura 27. Efeito da altitude na riqueza de cupins para a guilda de humívoros, intermediários e xilófagos ao longo de dois gradientes altitudinais no Parque Nacional do Caparaó e Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

A abundância de cupins xilófagos foi afetada negativamente com o incremento da altitude ($P= 0.002929$, Figura 11), porém os humívoros e intermediários não foram influenciados ($P=0.699$ e $P= 0.1513$).

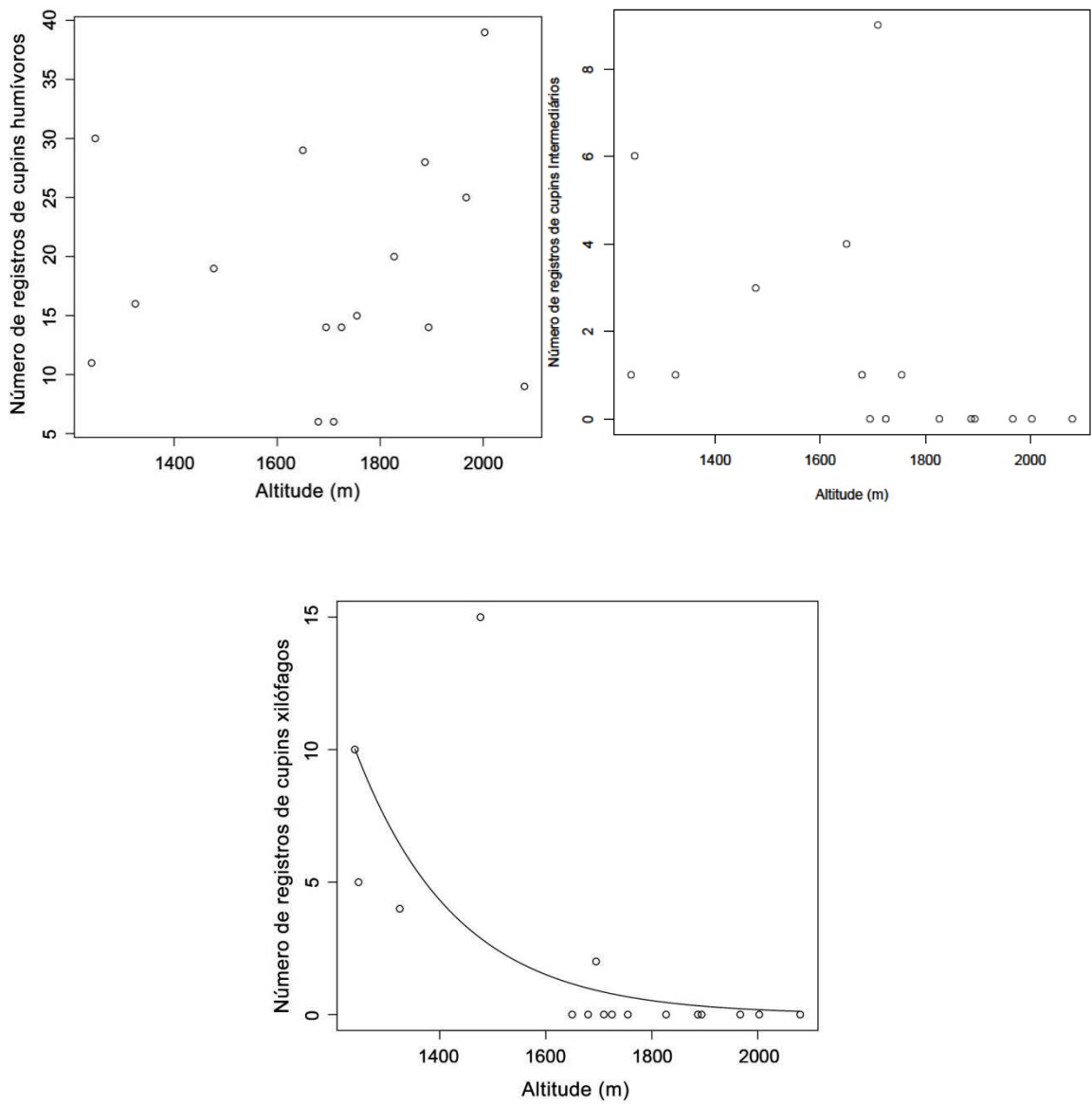


Figura 28. Efeito da altitude na abundância de cupins para a guilda de humívoros, intermediários e xilófagos ao longo de dois gradientes altitudinais no Parque Nacional do Caparaó e Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

Nichos ocupados

Para a ocupação de nichos pelos cupins (Tabela 23) nos dois gradientes altitudinais estudados, foi observado que os cupins não ocuparam os troncos nas seis últimas altitudes que corresponderam a escrubes e campos de altitude, por tanto a classe de fitofisionomia não oferecia o recurso madeira para os cupins. A ocupação dos galhos foi observada até os 1827 m de altitude, em quanto a rizosfera, serapilheira e solo foram nichos ocupados ao longo dos dois gradientes altitudinais.

Tabela 23– Nichos ocupados pelos cupins ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Estadual Serra do Brigadeiro e Parque Nacional do Caparaó, MG- Espírito Santo.

Altitude (m)	Nichos ocupados				
	Troncos	Galhos	Rizosfera	Serapilheira	Solo
1244	X	X	X	X	X
1247	X	X	X	X	X
1325	X	X	X	X	X
1477	X	X	X	X	X
1650		X		X	X
1680			X	X	X
1695	X			X	X
1710			X	X	X
1725	X	X			X
1755					X
1827		X	X	X	X
1887			X	X	X
1894				X	X
1967			X	X	X
2003			X	X	X

Serapilheira

Nas Tabelas 24 e 25 são apresentados os dados referentes às concentrações dos macronutrientes ao longo do gradiente altitudinal. O conteúdo total de macronutrientes na serapilheira acumulada em ordem decrescente foram: N > Ca > K > Mg > P. Os valores de C foram os mais altos entre os elementos da serapilheira analisados, variando entre 27 a 53 dag/kg. A relação C/N foi alta, variando entre 16.80 e 57.81.

Tabela 24 - Atributos químicos da serapilheira. Parque Nacional do Caparaó, Minas Gerais - Espírito Santo, Brasil.

Perfil	Parcela	N	P	K	Ca dag/kg	Mg	C	C/N	
1	1	2,04	0,10	0,16	1,62	0,28	48,09	23,57	
	2	1,50	0,08	0,13	0,85	0,16	39,83	26,57	
	1244 m	3	1,59	0,09	0,19	1,14	0,27	48,68	30,58
		4	1,96	0,10	0,18	1,39	0,29	48,02	24,46
		5	1,81	0,09	0,19	1,68	0,20	41,27	22,83
	Média	1,78	0,09	0,17	1,33	0,24	45,18	25,60	
2	1	2,18	0,10	0,16	1,13	0,23	47,79	21,93	
	2	2,27	0,11	0,18	1,59	0,25	44,44	19,56	
	1325 m	3	2,20	0,10	0,16	1,42	0,21	40,64	18,51
		4	1,81	0,09	0,15	1,20	0,18	42,98	23,77
		5	2,13	0,11	0,18	1,41	0,22	45,11	21,15
	Média	2,12	0,10	0,16	1,35	0,22	44,19	20,98	
3	1	1,89	0,09	0,18	0,30	0,07	51,65	27,39	
	2	1,96	0,08	0,15	0,37	0,09	51,25	26,11	
	1695 m	3	2,29	0,10	0,18	0,41	0,08	46,94	20,53
		4	2,16	0,10	0,15	0,32	0,05	34,84	16,10
		5	1,50	0,09	0,16	0,95	0,12	53,00	35,35
	Média	1,96	0,09	0,16	0,47	0,08	47,54	25,09	
4	1	1,58	0,08	0,13	0,43	0,10	53,65	34,02	
	2	1,42	0,08	0,15	0,46	0,12	49,83	35,04	
	1887 m	3	1,58	0,07	0,15	0,98	0,11	52,72	33,43
		4	1,50	0,09	0,15	0,42	0,07	46,68	31,14
		5	1,42	0,09	0,16	0,49	0,05	47,51	33,41
	Média	1,50	0,08	0,15	0,56	0,09	50,08	33,41	
5	1	1,11	0,08	0,15	0,99	0,08	43,56	39,14	
	2	1,59	0,09	0,13	0,40	0,08	38,23	24,01	
	1967 m	3	1,35	0,10	0,11	0,21	0,08	28,94	21,52
		4	0,97	0,13	0,13	0,19	0,05	29,26	30,04
		5	1,50	0,09	0,13	0,38	0,10	44,68	29,81
	Média	2,12	0,10	0,13	0,43	0,08	36,93	28,90	
6	1	1,65	0,08	0,15	0,78	0,09	52,76	31,90	
	2	1,96	0,08	0,13	1,25	0,12	52,08	26,53	
	2003 m	3	0,93	0,07	0,15	1,12	0,14	52,99	57,16
		4	1,81	0,09	0,15	1,27	0,20	53,65	29,67
		5	1,05	0,07	0,16	0,90	0,16	51,07	48,59
	Média	1,48	0,08	0,15	1,06	0,14	52,51	38,77	
7	1	1,81	0,08	0,15	0,29	0,07	43,65	24,14	
	2	1,65	0,08	0,16	0,18	0,07	37,74	22,82	
	2080 m	3	1,58	0,07	0,13	0,18	0,10	34,68	21,99
		4	1,65	0,07	0,13	0,09	0,07	27,43	16,58
		5	1,53	0,08	0,12	0,12	0,07	29,81	19,49
	Média	1,64	0,08	0,14	0,17	0,08	34,66	21,00	

Tabela 25 - Atributos químicos da serapilheira. Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

Perfil	Parcela	N	P	K	Ca dag/kg	Mg	C	C/N	
1	1	2,33	0,07	0,09	0,12	0,09	40,20	17,22	
	2	1,27	0,05	0,04	0,09	0,05	28,59	22,57	
	1244 m	3	1,42	0,07	0,07	0,09	0,07	36,22	25,47
		4	1,89	0,07	0,06	0,12	0,07	41,38	21,94
		5	2,03	0,06	0,08	0,12	0,09	41,56	20,52
	Média	1,79	0,06	0,07	0,11	0,07	37,59	21,04	
2	1	0,88	0,06	0,03	0,14	0,07	30,42	34,53	
	2	0,73	0,04	0,06	0,14	0,13	30,31	41,75	
	1477 m	3	0,65	0,03	0,05	0,14	0,12	22,70	34,98
		4	0,73	0,03	0,07	0,15	0,11	29,18	40,19
		5	0,57	0,03	0,06	0,11	0,12	33,07	57,81
	Média	0,71	0,04	0,05	0,14	0,11	29,14	40,99	
3	1	1,81	0,05	0,07	0,24	0,08	43,68	24,16	
	2	1,73	0,07	0,08	0,17	0,08	40,76	23,55	
	1650 m	3	1,35	0,06	0,07	0,23	0,09	43,64	32,45
		4	1,35	0,05	0,08	0,08	0,03	32,97	24,51
		5	1,65	0,05	0,09	0,14	0,11	46,38	28,04
	Média	1,58	0,06	0,08	0,17	0,08	41,49	26,31	
4	1	1,42	0,06	0,06	0,18	0,05	43,71	30,74	
	2	2,04	0,07	0,07	0,34	0,07	45,03	22,07	
	1695 m	3	2,20	0,07	0,09	0,62	0,09	47,80	21,78
		4	1,96	0,07	0,06	0,27	0,07	44,50	22,67
		5	1,58	0,06	0,08	0,24	0,09	44,24	28,05
	Média	1,84	0,07	0,07	0,33	0,07	45,06	24,49	
5	1	1,42	0,06	0,06	0,62	0,21	45,51	32,00	
	2	1,11	0,06	0,09	0,61	0,20	41,47	37,26	
	1680 m	3	1,10	0,07	0,06	0,36	0,16	36,72	33,47
		4	1,35	0,07	0,05	0,44	0,15	35,05	26,06
		5	1,27	0,06	0,05	0,67	0,18	41,84	33,02
	Média	1,25	0,06	0,06	0,54	0,18	40,12	32,13	
6	1	1,04	0,04	0,04	0,09	0,04	44,18	42,64	
	2	1,05	0,03	0,03	0,06	0,03	38,88	36,99	
	1725 m	3	1,19	0,04	0,03	0,06	0,02	34,40	28,91
		4	0,96	0,03	0,03	0,04	0,02	41,56	43,38
		5	0,94	0,03	0,05	0,06	0,03	41,75	44,27
	Média	1,04	0,04	0,03	0,06	0,03	40,15	38,77	

Continuação Tabela 25 - Atributos químicos da serapilheira. Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

Perfil	Parcela	N	P	K	Ca	Mg	C	C/N	
dag/kg									
7	1	1,81	0,06	0,08	0,09	0,06	44,49	24,61	
	2	1,11	0,05	0,05	0,08	0,06	23,12	20,77	
	1755 m	3	1,52	0,06	0,05	0,07	0,05	43,49	28,71
		4	1,73	0,06	0,07	0,11	0,06	45,49	26,28
		5	2,27	0,07	0,04	0,07	0,06	44,05	19,39
	Média	1,69	0,06	0,06	0,08	0,06	40,13	23,78	
8	1	1,42	0,06	0,03	0,45	0,06	32,92	23,15	
	2	1,35	0,05	0,03	0,53	0,06	38,91	28,93	
	1827 m	3	1,59	0,06	0,38	0,72	0,24	43,01	27,02
		4	1,27	0,07	0,17	0,62	0,13	39,92	31,51
		5	1,19	0,05	0,04	0,36	0,06	40,41	33,96
	Média	1,36	0,06	0,13	0,53	0,11	39,03	28,63	
9	1	1,50	0,06	0,17	0,28	0,07	45,41	30,29	
	2	1,04	0,07	0,04	0,09	0,08	23,13	22,33	
	1894 m	3	1,27	0,07	0,09	0,26	0,13	30,17	23,81
		4	1,58	0,07	0,10	0,43	0,15	42,47	26,93
		5	1,04	0,06	0,08	0,15	0,07	34,83	33,62
	Média	1,28	0,06	0,10	0,24	0,10	35,20	27,44	

Em quanto ao efeito da serapilheira sobre as guildas de cupins, as análises estatísticas mostraram que nenhum atributo da serapilheira dos parques afetou a riqueza de cupins humívoros, xilófagos e intermediários (Tabelas 26, 27, 28). Desafortunadamente as áreas estudadas não apresentaram cupins ceifadores que pudessem ser correlacionados com os atributos da serapilheira.

Tabela 26. Análise de regressão linear para testar a influencia dos atributos químicos da serapilheira sobre a **riqueza de cupins humívoros**, ao longo de gradientes altitudinais no Parque Nacional do Caparaó e Parque Estadual Serra do Brigadeiro, MG, Brasil.

Modelo completo: *riqueza de cupins humívoro*~*atributo*. ns= P>0.05; s*=P<0.05 e ***= P<0.01.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	14	4.9109	1.3922	0.2609
P	14	5.3222	0.0420	0.8411
K	14	5.2916	0.1037	0.7530
Ca	14	5.2435	0.2532	0.6240
Mg	14	5.3175	0.0539	0.8204
C	14	5.0245	0.8536	0.3738
C/N	14	4.9610	1.1083	0.3132

Tabela 27. Análise de regressão linear para testar a influencia dos atributos químicos da serapilheira sobre a **riqueza de cupins intermediários**, ao longo de gradientes altitudinais no Parque Nacional do Caparaó e Parque Estadual Serra do Brigadeiro, MG, Brasil.
Modelo completo: *riquezadecupinsintermediarios~atributo*. ns= $P>0.05$; s*= $P<0.05$ e ***= $P<0.01$.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	14	11.002	0.1485	0.7067
P	14	11.0809	0.0157	0.9025
K	14	10.9663	0.2890	0.60071
Ca	14	10.9735	0.1730	0.6848
Mg	14	10.0784	1.4672	0.2491
C	14	11.029	0.0945	0.7638
C/N	14	10.5461	0.9663	0.3450

Tabela 28. Análise de regressão linear para testar a influencia dos atributos químicos da serapilheira sobre a **riqueza de cupins xilófagos**, ao longo de gradientes altitudinais no Parque Nacional do Caparaó e Parque Estadual Serra do Brigadeiro, MG, Brasil.
Modelo completo: *riqueza de cupins xilófagos~atributo*. ns= $P>0.05$; s*= $P<0.05$ e ***= $P<0.01$.

Atributo	Df	Desvio	F	Pr(>F)
N	14	28.396	0.0045	0.9479
P	14	28.215	0.0956	0.7625
K	14	27.793	0.3809	0.54863
Ca	14	27.855	0.4542	0.51311
Mg	14	26.402	1.3843	0.2622
C	14	26.851	0.7041	0.4178
C/N	14	27.927	0.2428	0.6311

Solos e Pedoambientes

As características pedológicas e o tipo de vegetação foram muito heterogêneos ao longo dos dois gradientes altitudinais estudados (Figuras 22 e 23). O relevo pode ser caracterizado de suave ondulado a montanhoso com declividade entre 3 e 75% (Rodrigues, 2011). As duas áreas de estudo apresentaram Complexo Rupestre de Altitude que possui ampla diversidade florística de acordo com a litologia (Semir, 1991), apresentando altas taxas de diversidade e endemismo (Benites *et al.*, 2003). O complexo é um mosaico de formações vegetais entremeadas, tais como Escrube, Afloramento Rochoso, Campo Graminóide (Caiafa & Da Silva, 2005) e Matas Nebulares (Velooso *et al.*, 1991). Os solos do PNC apresentaram textura variando de argilosa nos Latossolos, a franco-arenosa e franco-argilosa nos Neossolos, Organossolos e

Cambissolos (Tabela 29). No PESB em sua grande maioria foram Cambissolos, Neossolos e Organossolos, que apresentaram textura franco-argilo-arenosa (Tabela 30). Nos dois parques os solos apresentaram saturação por bases baixa, herdada do saprolito quimicamente pobre, soma de bases inferior a $1.85 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e CTC efetiva baixa, variando de 0.08 até $4.51 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ nos horizontes superficiais e diminuindo nos horizontes subsuperficiais (Tabelas 31 e 32). Quanto à acidez do solo, as análises químicas mostraram uma acidez trocável (Al^{3+}) de média a alta variando de 0.59 a $3.8 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, saturação por alumínio entre 41 e 87% nos horizontes superficiais e pH em água variando entre 3.83 a 5.56. A Matéria orgânica nos horizontes superficiais foi de alta a muito alta variando entre 4.13 e 42.06 dag/kg (Tabelas 31 e 32).

Tabela 29 - Atributos físicos do solo. Parque Nacional do Caparaó.

Horizontes	Profundidade (cm)	dag/kg				Classe Textural
		Areia Grossa	Areia fina	Silte	Argila	
Perfil 1 Latossolo Vermelho Amarelo						
A	0-45	13	15	26	46	Argila
BA	45-135	9	16	22	53	Argila
Bw	135-220+	10	14	20	56	Argila
Perfil 2 Latossolo Vermelho Amarelo						
A	0-70	6	11	28	55	Argila
AB	70-100	2	13	23	59	Argila
Bw	100-215+	7	10	23	60	Muito Argilosa
Perfil 3 Cambissolo Húmico						
A1	0-50	31	20	28	21	Franco
A2	50-105	27	23	32	18	Franco
Bi	105-170+	19	11	34	36	Franco-Argilosa
Perfil 4 Cambissolo Húmico						
A	0-20	30	10	30	30	Fraco-Argilosa
Bi1	20-40	21	13	33	33	Fraco-Argilosa
Bi2	40-95+	28	14	36	22	Franco
Perfil 5 Neossolo Litólico						
A	0-15	37	14	27	22	Franco-Argilosa-Arenosa
AC	15-30	39	15	25	21	Franco-Argilosa-Arenosa
Perfil 6 Cambissolo Húmico						
A	0-30	63	10	10	17	Franco-Arenosa
Bi	30-70+	40	15	27	18	Franco-Arenosa
Perfil 7 Neossolo Litólico						
H	0-20	42	27	19	12	Franco-Arenosa

Tabela 30- Atributos físicos do solo. Parque Nacional do Brigadeiro.

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia fina dag/kg	Silte	Argila	Classe Textural
Perfil 1 Floresta Ombrófila de Encosta (1247 m): Cambissolo Háptico						
A	0-30	33	22	15	30	Franco-Argilo-Arenosa
B	30-105+	29	23	14	34	Argilo-Arenosa
Perfil 2 Arbustal de encosta (1477 m): Cambissolo Húmico						
A	0-15	19	46	16	19	Franco-Arenosa
AB	15-20	17	40	19	24	Franco-Argilo-Arenosa
Bi ₁	20-40	48	19	14	19	Franco-Arenosa
Bi ₂	40-60	14	42	18	26	Franco-Argilo-Arenosa
BC	60-80	13	40	21	26	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 3 Floresta semidecídua aberta de encosta (1650 m): Cambissolo Húmico						
O	0-12	35	19	22	24	Franco-Argilo-Arenosa
A hum	12-30/35	29	28	20	23	Franco-Argilo-Arenosa
AB	30-40	30	23	23	24	Franco-Argilo-Arenosa
Bi	40-60	26	23	19	32	Franco-Argilo-Arenosa
BC	60-90	29	20	20	31	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 4 Mata Nebular Altamontana 1695 m): Organossolo Fólico						
O	0-5	29	12	27	32	Franco-Argilosa
A1	5--20	35	19	27	19	Franco-Arenosa
A2	20-45	42	18	22	18	Franco-Arenosa
C	45-80	43	20	20	17	Franco-Arenosa
Perfil 5 Floresta Ombrófila Altomontana (1680 m): Cambissolo Húmico						
A	0-12	18	37	22	23	Franco-Argilo-Arenosa
AB	12--22	38	19	19	24	Franco-Argilo-Arenosa
BA	22-30	34	19	22	25	Franco-Argilo-Arenosa
Bi ₁	30-40/45	27	20	23	30	Franco-Argilo-Arenosa
Bi ₂	40/45-60	31	19	15	35	Argilo-Arenosa
BC	60-90+	30	17	18	35	Argilo-Arenosa
Perfil 6 Campo Graminoso Brejoso (1725 m): Organossolo Sáprico espedico						
P3 O ₁	0-10	38	22	18	22	Franco-Argilo-Arenosa
P3 O ₂	10--20	37	30	15	18	Franco-Arenosa
E/C	20-40	68	22	6	4	Areia
Perfil 7 Mata baixa/Escrube (1755 m): Cambissolo Húmico						
O	0-13	36	14	21	29	Franco-Argilo-Arenosa
Ahum	33-55	40	16	17	27	Franco-Argilo-Arenosa
Bi	33-55	36	15	16	33	Franco-Argilo-Arenosa
Cr	55-80	37	15	21	27	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 8 Campo hidromórfico de Lavoziara (1827 m): Organossolo Fólico						
O	0-5	32	19	24	25	Franco-Argilo-Arenosa
Ahist	5--40	49	22	15	14	Franco-Arenosa
Cr	30-40	46	23	16	15	Franco-Arenosa
Perfil 9 Campo arbustivo de altitude (1894 m): Neossolo Litólico Húmico						
O	0-15	34	16	25	25	Franco-Argilo-Arenosa
Ahum	15-40	37	17	23	23	Franco-Argilo-Arenosa
Cr	40-60	33	20	25	22	Franco-Argilo-Arenosa

Tabela 31 - Atributos químicos do solo. Parque Nacional do Caparaó.

Horizonte Símbolo	Prof. (cm)	pH H ₂ O	P mg/dm ³	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	AL ³⁺	H+AL cmol _c /dm ³	SB	(t)	(T)	V %	M	MO	N dag/kg	C	C/N
Latossolo Vermelho Amarelo																	
A	0-45	4,72	2,40	58,00	0,24	0,07	2,05	13,50	0,46	2,51	13,96	3,30	81,70	5,52	0,28	3,20	11,44
AB	45-135	4,95	1,00	4,00	0,21	0,01	1,37	8,20	0,32	1,69	8,52	3,80	81,10	2,26	0,16	1,31	8,19
BW	135-220+	4,93	1,10	80,00	0,22	0,03	0,88	6,00	0,45	1,33	6,45	7,00	66,20	1,51	0,18	0,88	4,87
Desvio Padrão		0,13	0,13	0,78	39,11	0,02	0,03	0,59	3,86	0,08	0,60	3,88	2,01	8,78	2,13	0,06	1,24
Media		4,87	4,87	1,50	47,33	0,22	0,04	1,43	9,23	0,41	1,84	9,64	4,70	76,33	3,10	0,21	1,80
Latossolo Vermelho Amarelo																	
A	0-70	4,78	2,30	38,00	0,23	0,82	1,46	16,10	0,39	1,85	16,49	2,40	78,90	7,22	0,09	4,19	46,53
AB	70-100	4,60	1,20	20,00	0,18	0,02	0,98	8,50	0,25	1,23	8,75	2,90	79,70	3,14	0,18	1,82	10,12
BW	100-215+	4,65	1,10	30,00	0,17	0,02	0,00	3,10	0,27	0,27	3,37	8,00	0,00	0,88	0,19	0,51	2,69
Desvio Padrão		0,09	0,67	9,02	0,03	0,46	0,74	6,53	0,08	0,80	6,60	3,10	45,79	3,21	0,06	1,86	23,47
Media		4,68	1,53	29,33	0,19	0,29	0,81	9,23	0,30	1,12	9,54	4,43	52,87	3,75	0,15	2,17	19,78
Cambissolo Húmico																	
A1	0-50	4,79	7,00	52,00	0,33	0,10	1,37	22,40	0,56	1,93	22,96	2,40	71,00	15,38	0,16	8,92	55,76
A2	50-105	4,98	3,90	28,00	0,18	0,03	0,88	19,00	0,28	1,16	19,28	1,50	75,90	14,12	0,59	8,19	13,88
Bi	105-170+	4,87	0,70	3,00	0,17	0,01	0,10	4,30	0,19	0,29	4,49	4,20	34,50	2,01	0,11	1,17	10,60
Desvio Padrão		0,10	3,15	24,50	0,09	0,05	0,64	9,62	0,19	0,82	9,78	1,37	22,62	7,38	0,26	4,28	25,18
Media		4,88	3,87	27,67	0,23	0,05	0,78	15,23	0,34	1,13	15,58	2,70	60,47	10,50	0,29	6,09	26,75

Continuação Tabela 31 - Atributos químicos do solo. Parque Nacional do Caparaó.

Horizonte Símbolo	Prof. (cm)	pH H ₂ O	P mg/dm ³	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	AL ³⁺	H+AL cmol _c /dm ³	SB	(t)	(T)	V %	M	MO	N dag/kg	C	C/N
Cambissolo Húmico																	
A	0-45	5,15	5,60	143,00	0,66	0,17	1,37	20,30	1,20	2,57	21,50	5,60	53,30	16,01	0,52	9,29	17,86
Bi	45-135	5,47	1,30	39,00	0,18	0,05	0,20	8,20	0,33	0,53	8,53	3,90	37,70	4,65	0,14	2,70	19,27
Bi2	135-220+	5,30	0,60	7,00	0,15	0,00	0,20	1,90	0,17	9,37	2,07	8,20	54,10	1,00	0,06	0,58	9,67
Desvio Padrão		0,16	2,71	71,11	0,29	0,09	0,68	9,35	0,55	4,63	9,90	2,17	9,25	7,83	0,25	4,54	5,18
Media		5,31	2,50	63,00	0,33	0,07	0,59	10,13	0,57	4,16	10,70	5,90	48,37	7,22	0,24	4,19	15,60
Neossolo Litólico																	
A	0-15	5,16	5,90	68,00	0,47	0,13	1,85	25,60	0,77	2,62	26,37	2,90	70,60	26,37	0,86	15,30	17,79
AC	15-30	5,01	8,00	71,00	0,33	0,09	1,56	25,30	0,60	2,16	25,90	2,30	72,20	23,23	0,90	13,47	14,97
Desvio Padrão		0,11	1,48	2,12	0,10	0,03	0,21	0,21	0,12	0,33	0,33	0,42	1,13	2,22	0,03	1,29	1,99
Media		5,09	6,95	69,50	0,40	0,11	1,71	25,45	0,69	2,39	26,14	2,60	71,40	24,80	0,88	14,39	16,38
Cambissolo Húmico																	
A	0-30	5,17	6,90	83,00	0,39	0,15	1,85	33,80	0,75	2,60	34,55	2,20	71,20	26,05	0,93	15,11	16,25
Bi	30-70+	5,38	3,50	4,00	0,17	0,01	0,10	9,50	0,19	0,29	9,69	2,00	34,50	2,01	0,14	1,17	8,33
Desvio Padrão		0,15	2,40	55,86	0,16	0,10	1,24	17,18	0,40	1,63	17,58	0,14	25,95	17,00	0,56	9,86	5,60
Media		5,28	5,20	43,50	0,28	0,08	0,98	21,65	0,47	1,45	22,12	2,10	52,85	14,03	0,54	8,14	12,29
Neossolo Litólico																	
H	30-20	5,22	3,30	62,00	0,42	0,06	1,66	22,40	0,64	2,30	23,04	2,80	72,20	32,02	1,17	18,57	15,87

Tabela 32 - Atributos químicos do solo. Parque Estadual Serra do Brigadeiro.

Horizonte Símbolo	Prof. (cm)	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	AL ³⁺	H+AL	SB	(t)	(T)	V	M	MO	N	C	C/N
		H ₂ O		mg/dm ³						cmol _c /dm ³				%			dag/kg	
Floresta Ombrófila de Encosta (1247 m): Cambissolo Háplico																		
A	0-30	3,83	2,4	19	5,1	0,02	0	0,59	10,9	0,09	0,08	10,99	0,8	86,93	4,13	0,105	2,40	22,82
Bi	30-105+	4,1	2,3	13	4,1	0,01	0	0,88	6,9	0,06	0,94	6,96	0,9	93,6	2,58	0,071	1,50	21,08
Desvio Padrão		0,19	0,07	4,24	0,71	0,01	0,00	0,21	2,83	0,02	0,61	2,85	0,07	4,72	1,10	0,02	0,64	1,23
Média		3,97	2,35	16,00	4,60	0,02	0,00	0,74	8,90	0,08	0,51	8,98	0,85	90,27	3,36	0,09	1,95	21,95
Arbustal de encosta (1477 m): Cambissolo Húmico																		
A	0-15	5,25	4,6	41	17,3	0,08	0,11	1,4	14,4	0,37	1,77	14,77	2,5	79,1	13,81	0,032	8,01	250,33
AB	15-20	5,33	4,7	29	11,3	0	0,07	0,9	11,9	0,19	1,09	12,09	1,6	82,6	9,73	0,105	5,64	53,75
Bi ₁	20-40	5,42	2,6	15	5,3	0	0,05	0,7	7,3	0,11	0,81	7,41	1,5	86,4	5,96	0,106	3,46	32,61
Bi ₂	40-60	5,38	1,5	11	3,3	0	0,04	0,6	5,8	0,08	0,68	5,88	1,4	88,2	3,77	0,141	2,19	15,51
BC	60-80	5,25	1,4	11	2,3	0	0,04	0,7	5,6	0,08	0,78	5,68	1,4	89,7	3,14	0,038	1,82	47,93
Desvio Padrão		0,08	1,61	13,22	6,31	0,04	0,03	0,32	3,95	0,12	0,44	4,06	0,47	4,32	4,47	0,05	2,59	96,35
Média		5,33	2,96	21,40	7,90	0,02	0,06	0,86	9,00	0,17	1,03	9,17	1,68	85,20	7,28	0,08	4,22	80,03
Floresta semidecídua aberta de encosta (1650 m): Cambissolo Húmico																		
O	0-12	5,21	3,8	58	1,3	0,68	0,39	2,4	19,1	1,23	3,63	20,33	6,1	66,1	42,06	0,112	24,40	217,83
A hum	12-30/35	5,23	7,1	46	0,3	0,25	0,2	1,1	17,3	0,57	1,67	17,87	3,2	65,9	13,81	0,140	8,01	57,22
AB	30-40	5,56	6,9	53	0,3	0,25	0,19	0,9	16,5	0,58	1,48	17,08	3,4	60,8	10,17	0,070	5,90	84,27
Bi	40-60	5,47	2,9	14	0	0	0,06	0,4	11,2	0,1	0,5	11,3	0,9	80	7,28	0,071	4,22	59,48
BC	60-90	5,49	2,3	10	0	0	0,08	0,4	6,9	0,11	0,51	7,01	1,6	78,4	4,27	0,042	2,48	58,97
Desvio Padrão		0,16	2,26	22,54	0,54	0,28	0,13	0,82	5,03	0,46	1,28	5,43	2,01	8,47	15,25	0,04	8,85	69,26
Média		5,39	4,60	36,20	0,38	0,24	0,18	1,04	14,20	0,52	1,56	14,72	3,04	70,24	15,52	0,09	9,00	95,55

* pH em H₂O e KCL – Relação 1:2,5 ; ΔpH=(pH KCL - pH H₂O); P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente. 1Classificação pela SoilTaxonomy

Continuação Tabela 32 - Atributos químicos do solo. Parque Estadual Serra do Brigadeiro.

Horizonte Símbolo	Prof, (cm)	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	AL ³⁺	H+AL	SB	(t)	(T)	V	M	MO	N	C	C/N
		H ₂ O		mg/dm ³					cmol _c /dm ³					%			dag/kg	
Mata Nebular Altamontana sensor 2 (1695 m): Organossolo Fólico																		
O	0-5	3,96	3,1	29	0	0,42	0,19	3,8	24,8	0,68	4,48	25,48	2,7	84,8	34,53	0,140	20,03	143,06
A1	5--20	4,06	5,1	13	0	0,01	0,06	1,9	19,8	0,1	2	19,9	0,5	95	10,04	0,052	5,82	111,99
A2	20-45	5,07	4,7	11	0	0,02	0,07	0,9	16,5	0,12	1,02	16,62	0,7	88,2	10,67	0,175	6,19	35,37
C/R	45-80	5,12	6,7	15	0,3	0,03	0,09	0,9	15	0,16	1,06	15,16	1,1	84,9	6,28	0,036	3,64	101,19
Desvio Padrão		0,63	1,48	8,16	0,15	0,20	0,06	1,37	4,34	0,28	1,62	4,58	1,00	4,78	12,91	0,07	7,49	45,31
Média		4,55	4,90	17,00	0,08	0,12	0,10	1,88	19,03	0,27	2,14	19,29	1,25	88,23	15,38	0,10	8,92	97,90
Floresta Ombrófila Altomontana Sensor 1 (1680 m): Cambissolo Húmico																		
A	0-12	5,13	7,5	65	20,3	0,24	0,19	2,4	23,3	0,69	3,09	23,99	2,9	77,7	26,37	0,105	15,30	145,67
AB	12--22	5,32	5	36	7,3	0,03	0,1	0,9	16	0,25	1,15	16,25	1,5	78,3	15,69	0,052	9,10	175,02
BA	22-30	5,35	4,8	27	3,3	0,01	0,1	0,6	12,9	0,19	0,79	13,09	1,5	75,9	8,79	0,070	5,10	72,84
Bi ₁	30-40/45	5,55	2,6	13	0,3	0	0,04	0,3	7,6	0,07	0,37	7,67	0,9	81,1	5,15	0,042	2,99	71,12
Bi ₂	40/45-60	5,54	1,9	11	0	0	0,04	0,4	5,9	0,07	0,47	5,97	1,2	85,1	3,64	0,175	2,11	12,06
BC	60-90+	5,62	1,8	8	0	0,06	0,03	0	2,8	0,11	0,11	2,91	3,8	0	1,26	0,110	0,73	6,64
Desvio Padrão		0,18	2,24	21,62	7,93	0,09	0,06	0,85	7,53	0,24	1,09	7,75	1,13	32,66	9,40	0,05	5,45	68,51
Média		5,42	3,93	26,67	5,20	0,06	0,08	0,77	11,42	0,23	1,00	11,65	1,97	66,35	10,15	0,09	5,89	80,56
Campo Graminoso Brejoso (1725 m): Organossolo Sáprico espodico																		
O ₁	0-10	5,36	7,6	54	5,3	0,31	0,13	1,4	13	0,6	2	13,6	4,4	70	18,83	0,036	10,92	303,40
O ₂	10--20	5,18	6,2	35	4,3	0,2	0,11	1,8	19,8	0,42	2,22	20,22	2,1	81,1	14,44	0,073	8,38	114,74
E/C	20-40	5,3	12,6	36	0,3	0,08	0,08	0,7	4,9	0,25	0,95	5,15	4,9	73,7	1,63	0,040	0,95	23,64
Desvio Padrão		0,09	3,36	10,69	2,65	0,12	0,03	0,56	7,46	0,18	0,68	7,55	1,49	5,65	8,94	0,02	5,18	142,69
Média		5,28	8,80	41,67	3,30	0,20	0,11	1,30	12,57	0,42	1,72	12,99	3,80	74,93	11,63	0,05	6,75	147,26

Continuação Tabela 32 - Atributos químicos do solo. Parque Estadual Serra do Brigadeiro.

Horizonte Símbolo	Prof, (cm)	pH	P	K	Na	Ca2+	Mg2+	AL3+	H+AL	SB	(t)	(T)	V	M	MO	N	C	C/N
		H ₂ O	mg/dm ³							cmol _c /dm ³				%			dag/kg	
Mata baixa/Escrebe (1755 m): Cambissolo Húmico																		
O	0-13	4,32	5,7	78	7,3	0,29	0,29	3,7	30,9	0,81	4,51	31,71	2,6	82	25,11	0,105	14,56	138,71
Ahum	13-33	4,82	2,8	30	0	0,07	0,1	0,4	16,8	0,25	0,65	17,05	1,5	61,5	12,87	0,145	7,47	51,48
Bi	33-55	5,02	1,2	2	0	0	0,04	0	5,3	0,05	0,05	5,35	0,9	0	2,76	0,038	1,60	42,13
C	55-80	4,95	1,80	0,00	0,00	0,00	0,02	0,30	2,80	0,02	0,32	2,82	0,70	93,80	1,13	0,18	0,66	3,64
Desvio Padrão		0,32	2,00	36,35	3,65	0,14	0,12	1,74	12,84	0,37	2,10	13,20	0,85	41,74	11,06	0,06	6,41	57,04
Média		4,78	2,88	27,50	1,83	0,09	0,11	1,10	13,95	0,28	1,38	14,23	1,43	59,33	10,47	0,12	6,07	58,99
Campo hidromórfico de Lavoziara (1827 m): Organossolo Fólico																		
O	0-5	5,56	6,8	49	2,3	1,02	0,69	1,3	12,5	1,85	3,15	14,35	12,9	41,3	33,9	0,071	19,66	276,95
Ahist	5-40	4,55	8,2	47	8,3	0,09	0,47	2,4	13,2	0,72	3,12	13,92	5,2	76,9	10,36	0,105	6,01	57,23
Cr	30-40	4,94	5,40	0,00	0,00	0,04	0,06	1,10	12,50	0,10	1,20	12,60	0,80	91,70	5,02	0,11	2,91	26,96
Desvio Padrão		0,51	1,40	27,73	4,29	0,55	0,32	0,70	0,40	0,89	1,12	0,91	6,12	25,91	15,37	0,02	8,91	136,44
Média		5,02	6,80	32,00	3,53	0,38	0,41	1,60	12,73	0,89	2,49	13,62	6,30	69,97	16,43	0,09	9,53	120,38
Campo arbustivo de altitude (1894 m): Neossolo Litólico Húmico																		
O	0-15	4,63	7,2	34	12,3	0,27	0,1	1,4	18,5	0,51	1,91	19,01	2,7	73,3	16,64	0,145	9,65	66,57
Ahum	15-40	4,49	5,3	17	4,3	0,12	0,06	0,9	16,3	0,24	1,14	16,54	1,5	78,9	14,44	0,175	8,38	47,86
Cr	40-60	5,11	3,00	7,00	0,00	0,05	0,04	0,50	10,70	0,11	0,61	10,81	1,00	82,00	6,91	0,11	4,01	35,79
Desvio Padrão		0,33	2,10	13,65	6,24	0,11	0,03	0,45	4,02	0,20	0,65	4,21	0,87	4,41	5,10	0,03	2,96	15,51
Média		4,74	5,17	19,33	5,53	0,15	0,07	0,93	15,17	0,29	1,22	15,45	1,73	78,07	12,66	0,14	7,35	50,07

Tabela 33—Pedoambientes ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Estadual Serra do Brigadeiro (PESB) e Parque Nacional do Caparaó (PNC), MG-Espírito Santo. Número de registros de cupins= número de amostras coletadas. Humi=humívoro, Inter=intermediário; Xilo=xilófago.

Altitude (m)	Parque	Relevo e declividade	Pedoambiente	Fitofisionomia	Número de registros de cupins		
					Humi	Inter	Xilo
1247	PESB	Montanhoso (45-75%)	Cambissolo Háptico	Floresta ombrófila densa Montana	30	6	5
1244	PNC	Ondulado (8-20%)	Latossolo Vermelho Amarelo	Floresta montana	11	1	10
1325	PNC	Ondulado (8-20%)	Latossolo Vermelho Amarelo	Floresta montana	16	1	4
1477	PESB	Escarpado (>75%)	Cambissolo Húmico	Arbustal de encosta	21	3	15
1650	PESB	Montanhoso (45-75%)	Cambissolo Húmico	Mata semidecídua aberta de encosta	29	4	0
1680	PESB	Ondulado (8-20%)	Cambissolo Húmico	Floresta ombrófila	6	1	0
1695	PESB	Ondulado (8-20%)	Organossolo Fólico	Mata nebulosa altomontana	14	0	2
1695	PNC	Montanhoso (45-75%)	Cambissolo Húmico	Floresta alto-montana	6	9	0
1725	PESB	Ondulado (8-20%)	Organossolo Sáprico Espódico	Campo gramíneo brejoso	12	0	0
1755	PESB	Ondulado (8-20%)	Cambissolo Húmico	Escruba	15	1	0
1827	PESB	Ondulado (8-20%)	Organossolo Fólico	Campo arbustivo hidromórfico	20	0	0
1887	PNC	Ondulado (8-20%)	Cambissolo Húmico	Floresta alto-montana	28	0	0
1894	PESB	Ondulado (8-20%)	Neossolo Litólico Húmico	Campo arbustivo de altitude	12	0	0
1967	PNC	Ondulado (8-20%)	Neossolo Litólico	Campo de altitude	25	0	0
2003	PNC	Ondulado (8-20%)	Cambissolo Húmico	Campo de altitude	39	0	0
2080	PNC	Ondulado (8-20%)	Organossolo Litólico	Campo de altitude	9	0	0

A vegetação nos dois parques variou de Florestas montanas e alto montanas associadas aos solos mais profundos, escrubes e arbustais associados a solos com profundidade intermediária, até campos de altitude associados aos solos mais rasos. Segundo Veloso *et al.* (1991), os campos de altitude constituem relíquias de vegetação em ambientes altomontanos sobre solos rasos com forte estresse hídrico e oligotrofismo em um contexto de vegetação regional diferente, que no caso foi mata atlântica. O PNC apresentou a maior variabilidade de solos desde os muito rasos como Neossolos Litólicos até os muito profundos e intemperizados como Latossolos.

Relação da riqueza de cupins com os pedoambientes

Como observado nas tabelas 21 e 22, os cupins humívoros foram dominantes em todos os pedoambientes e todas as altitudes, enquanto intermediários e xilófagos estiveram associados as fitofissionomias de florestas, arbustais e em menor grau escrubes que favoreciam a oferta de recurso de madeira.

Referente às hipóteses planteadas no início do trabalho, contrário ao esperado os cupins humívoros não foram afetados pelo teor de silte ($P= 0.9541$), argila ($P= 0.1838$), matéria orgânica ($P= 0.7741$), atividade da argila do solo ($P= 0.3380$), nem por nenhum atributo da serapilheira. Os cupins intermediários não foram afetados pelo teor de silte ($P= 0.8038$), mas foram afetados negativamente pelo teor de matéria orgânica ($P= 0.01648$) e atividade da argila ($P= 0.007658$) e foram afetados positivamente pelo teor de argila ($P= 0.04931$) e profundidade do solo ($P= 0.003508$) (Figura 29). Finalmente os cupins xilófagos foram afetados positivamente pela profundidade do solo ($P= 0.02092$) (Figura 29).

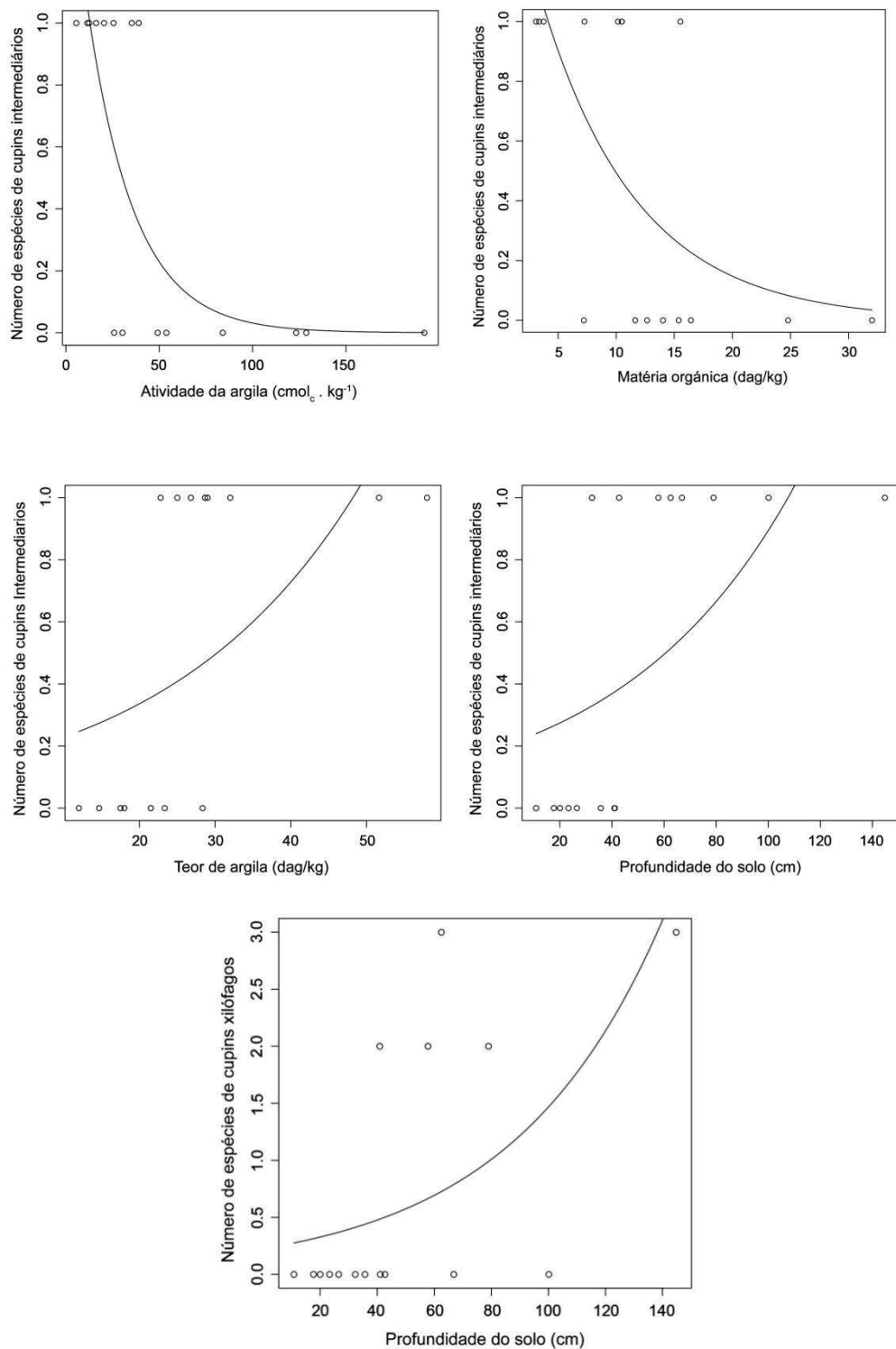


Figura 29. Efeito dos atributos do solo sobre riqueza de cupins para a guilda de humívoros, intermediários e xilófagos ao longo de dois gradientes altitudinais no Parque Nacional do Caparaó e Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

Discussão

O PESB apresentou uma maior riqueza de espécies em comparação com o PNC (11 e 9 espécies respectivamente), o que pode ser explicado pelo relevo mais inclinado nos dois primeiros pontos de coleta estudados (Tabela 33) com vegetação melhor conservada que a vegetação nas mesmas altitudes estudadas do PNC. Nos dois primeiros pontos de coleta do PESB foram coletados exemplares de *Ibitermes* sp., gênero humívoro que vive em galerias difusas de solos florestais com poquíssimos exemplares coletados inclusive na localidade tipo (Vasconcellos, 2002), o que recalca a importância do PESB como área de conservação do Bioma Mata Atlântica.

Os resultados de diminuição da riqueza e abundância de cupins com o incremento da altitude ao longo de dois gradientes altitudinais no PESB e no PNC são comparáveis ao padrão de diminuição de riqueza de cupins em outros trabalhos prévios (Gathorne-Hardy *et al.*, 2001; Donovan *et al.*, 2002; Palin *et al.*, 2011). Porém, ao contrário dos outros trabalhos, a guilda alimentar que apresentou a maior faixa altitudinal e a maior abundância de indivíduos, foi a guilda de humívoros, enquanto xilófagos e intermediários foram mais sensíveis com o incremento da altitude. Isso foi um resultado inesperado em relação ao relatado na literatura na altitude de 1000 a 2000 m, mas que pode ser explicado pela classe de solo presente, com altos teores de matéria orgânica, que beneficiou a guilda de humívoros em todas as altitudes.

Dentro da guilda de humívoros, a espécie dominante no PESB foi *Anoplotermes pacificus*, que esteve presente em todas as altitudes, mas com tendência a incrementar a abundância de indivíduos em todos os solos com presença de horizonte O (Tabela 33, Anexo: figuras 32, 33, 35, 36, 37 e 38). Já no PNC a abundância de *Anoplotermes pacificus* foi alta, mas compartilhada por outra espécie de Apicotermatinae que não foi possível identificar a nível de espécie (Apicotermatinae sp. 1, Tabela 21). *Anoplotermes pacificus* é uma espécie com distribuição conhecida no sudeste do Brasil, norte de Argentina, Paraguay e Bolívia. Dentro do Brasil ocupa o bioma da Mata Atlântica com registros principalmente dos estados de Santa Catarina a São Paulo, e poucos registros em outras localidades (Fontes, 1998). A espécie constroeu ninhos

relativamente pequenos de 30 cm de comprimento sobre o solo (Bourguignon *et al.*, 2010) que na área de estudo se caracterizaram por apresentar coloração marcadamente escura com presença de raízes e algumas vezes restos de madeira. Existe pouca informação na literatura sobre a ecologia da espécie, mas os resultados sugerem que esta bem adaptada aos solos estudados.

Referente à topografia, os dois parques apresentaram nas maiores altitudes cristas, platôs e pontões com presença de solos rasos (Neossolos e Organossolos) com alto teor de matéria orgânica, que beneficiaram a abundância de húmívoros já que esses cupins só precisam forragear nos primeiros 10 cm de profundidade do solo e acumulam alto teor de matéria orgânica na construção dos seus ninhos (Brauman *et al.*, 2000). 12 dos 16 perfis estudados apresentaram teores de matéria orgânica superiores a 14 dag/kg ou 80 g kg⁻¹ de carbono orgânico contrariando os solos do primeiro capítulo da tese, que apresentaram teores de matéria orgânica inferiores a 14 dag/kg em todos os perfis. O acúmulo de matéria orgânica é explicado pela baixa temperatura e alta umidade característicos das maiores altitudes que juntamente com a toxidez por alumínio e falta de nutrientes, diminui a taxa de decomposição da matéria orgânica (Benites, 2001).

Já nas encostas íngremes e montanhosas apresentaram solos mais profundos, Cambissolos associados a florestas com dossel maior que apresentaram xilófagos e indivíduos de todas as guildas. Com o aumento da altitude, os Cambissolos associados às florestas com menor porte apresentaram também a guilda dos intermediários e húmívoros, enquanto nos Cambissolos associados à escrubes predominaram os húmívoros. Dessa maneira foi possível evidenciar como a topografia afetou a classe de solo e o tipo de vegetação, e conseqüentemente a disponibilidade de nichos, diminuindo a quantidade de troncos com a altitude e a guilda de xilófagos associada a eles (Tabela 33, Anexo: figuras 35, 37, 38, 43, 44 e 45).

Nenhum dos atributos da serapilheira afetou os cupins húmívoros contrário ao esperado, o que pode significar que as características da serapilheira para as duas áreas de conservação estudada, não mudaram com a altitude e no geral apresentam as características que beneficiam a dominância dessa guilda

em todas as fitofissionomias e altitudes.

A profundidade do solo foi um atributo em comum entre os dois parques, que beneficiou a riqueza de cupins no geral. Por uma parte, a profundidade do solo afeta indiretamente o cupim por meio da vegetação já que condiciona o porte da vegetação que pode se estabelecer, condicionando a oferta de recursos alimentares para os cupins. Assim, é evidenciado que solos mais profundos com presença de matas, apresentaram a guilda de cupins xilófagos e intermediários associados à oferta de madeira, enquanto solos rasos apresentaram uma alta abundância de humívoros associados a alta oferta de matéria orgânica. Por outra parte, a profundidade do solo afeta diretamente a quantidade de recurso de nidificação para o cupim, e por tanto, a quantidade de espécies que pode sustentar.

Para o PNC, a riqueza de espécies foi beneficiada não só pelo porte da vegetação como também pelo teor de argila no solo. As duas primeiras altitudes, apresentaram Latossolos Vermelho Amarelos com solos profundos e também associados à vegetação de maior porte e complexidade estrutural que beneficiou a espécie humívora *Aparatermes* sp., encontrada unicamente a 1325 m no PNC. Tal resultado pode indicar que *Aparatermes* sp., é uma espécie rara que foi sensível à diminuição de argila no solo, precisando um análise alimentar mais detalhado da espécie que apresentou uma distribuição altitudinal diferente das outras espécies dentro da guilda de humívoros. Os dados sugerem que o acúmulo de C no solo beneficia algumas espécies humívoras adaptadas a essas condições, mas restringe a distribuição das outras espécies, diminuindo no geral a riqueza.

Conclusões

Contrario ao reportado pela literatura, a guilda de humívoros não foi afetada pela altitude na faixa de 1000 a 2000 m e apresentou uma alta abundância nas maiores altitudes associado a altos teores de carbono.

Nos dos gradientes altitudinais estudados no Brasil, a topografia local afetou a classe de solo e vegetação, e por tanto, a disponibilidade de nichos e guildas alimentares associados à oferta de recursos decorrentes as características próprias de cada pedoambiente.

Os solos dos dois parques brasileiros estudados foram menos ácidos que os solos estudados no parque da Colômbia, favorecendo a abundancia de humívoros e permitindo assim que novas correlações sejam feitas.

Os resultados da relação entre as características do solo com a riqueza de cupins podem ser extrapolados a outros ecossistemas já que a ampla variabilidade de classes de solos e topografia, permitem predizer a riqueza de cupins de acordo as características físicas do ambiente.

Referências bibliográficas

Ali, I.; Sheridan, G.; French, J. & Ahmed, B. 2013. Ecological Benefits of Termite Soil Interaction and Microbial Symbiosis in the Soil Ecosystem. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* **3**: 63-85.

AMBIENTE BRASIL. 2006. II Relatório parcial do Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. ONG AMBIENTE BRASIL. Centro de Estudos. Equipe de ciências naturais. 90 p.

Araujo, A.; Galbiati, C.; Desouza, O. 2007. Neotropical Termite Species Richness Declining as Resource Amount rises: Food or Enemy-free Space Constraints. *Sociobiology* **49** (2): 1-14.

Benites, V.; Schaefer, C.; Mendonça, E.; Martin Neto, L. 2001. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **25**: 661-674.

Benites, V. M. Caracterização dos solos e das substâncias húmicas em complexos rupestres de altitude. 2002. Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 74 p.

Benites, V. M., Caiafa, A. N., Mendonça, E. S., Schaefer, C. E.; Ker, J. C. 2003. Solos e Vegetação nos Complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Floresta e Ambiente* **10**(1): 76-85.

Bourguignon, T.; Scheffrahn, R.; Krecek, J.; Zoltán, N.; Sonet, G.; Roisin, Y. 2010. Towards a revision of the Neotropical soldierless termites (Isoptera: Termitidae): redescription of the genus *Anoplotermes* and description of *Longustitermes*, gen. nov. *Invertebrate Systematics* **24**: 357–370.

Brauman, A., Bignell, D., Tayasu, I. 2000. Soil-feeding termites: biology, microbial associations, and digestive mechanisms. In: Abe, T., Bignell, D.E. & Higashi, M. (Eds). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Kluwer Academic Publishers. 333-361 p.

Braga, J.M.; Defelipo, B.V. 1974. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres* **21**: 73-85.

Bremner, J.M.; Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-Total. In: Page, A.L.; Miller, R.H. (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2nd ed. Madison: American Society of agronomy, 595-624.

Caiafa, A. N.; Silva, A.F. 2005. Composição florística e espectro biológico no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* **56**: 163- 173.

Canello, E.M.; Silva, R.R.; Vasconcellos, A.; Reis, Y.T.; Oliveira, L.M. 2014. Latitudinal Variation in Termite Species Richness and Abundance along the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. *Biotropica* **46**: 441–450.

Conceição, A.A.; Giulietti, A. M. 2002. Composição florística e aspectos estruturais de campo rupestre em dois platôs do Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Hoehnea* **29**(1): 37-48.

Conceição, A.A.; Pirani, J.R. 2005. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* **23**(1): 85-111.

Conceição, A.A.; Giulietti, A.M.; Meirelles S.T. 2007. Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* **21**(2): 335-347.

Conceição, A. A.; Pirani, J. R.; Meirelles, S.T. 2007. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* **30** (4): 641-656.

Constantino, R. 1999. Clave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. *Papeis Avulsos de Zoologia*, **40** (25): 387-447.

Constantino, R. 2002. An illustrated key to Neotropical termite general (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers. *Zootaxa* **67**: 1-40.

Constantino, R. 1992. Abundance and diversity of termites (insecta: isoptera) in two sites of primary rain forest in Brazilian Amazonia. *Biotropica* **24**: 420-430.

Davies, R. 2002. Feeding group responses of a Neotropical termite assemblage to rain forest fragmentation. *Oecologia* **133**:233-242.

Davies, R.; Hernandez, L.; Eggleton, P.; Didham, R.; Fagan, L.; Winchester, N. 2003. Environmental and spatial influences upon species composition of a termite assemblage across neotropical forest islands. *Journal of Tropical Ecology* **19**:509-524.

Desouza, O.; Brown, V. 1994. Effects of habitat fragmentation on Amazonian termite communities. *Journal of Tropical Ecology* **10**:197-206.

Dias, H.C.; Filho, E.F.; Schaefer, C.E.; Fontes, L.E.; Ventrone, L.B. 2002. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. *Revista Árvore* **26**(6): 777-786.

Donovan, S.E.; Eggleton, P.; Bignell, D.E. 2001. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites (Isoptera). *Ecological Entomology* **26**: 356-366.

Donovan, S.; Eggleton, P.; Martin, A. 2002. Species composition of termites of the Nyika plateau forest, northern Malawi, over an altitudinal gradient. *African Journal of Ecology* **40**: 379-385.

EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solo. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 pp.

Eschenbrenner, V. 1986. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. Sér. Pédol. 22: 397-408.

Fontes, L. 1992. Key to the genera of New World Apicotermatinae (Isoptera: Termitidae). In: Insects of Panamá and Mesoamerica. Fourteen. Selected studies. Oxford University Press. Pp. 242-248.

Fontes, L. 1998. Novos aditamentos ao “Catalogo dos Isoptera do Novo Mundo”, e uma filogenia para os gêneros neotropicais de Nasutitermitinae. In: Cupins. Odesafio do conhecimento. Ed. Fontes, L & Filho, E. FEALQ. Piracicaba. 309-412 pp.

Gathorne-Hardy, F.; Sayaukani&Eggleton, P.2001. The effects of altitude and rainfall on the composition of the termites (Isoptera) of the leuser ecosystem (Sumatra, Indonesia). *Journal of Tropical Ecology*, 17: 379-393.

Holt, J. &Lepage, M.2000. Termites and soil properties. In: *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology* (T. Abe, D.E. Bignell and M. Higashi, Ed), Kluwer Academic Publishing, Dordrecht. . 389–407 p.

IBAMA. 1997. Brasil: Parques Nacionais. São Paulo: Empresa das Artes, Brasília: Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.

IBDF. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. 1981. Plano de Manejo, Parque Nacional de Caparaó. Brasília. P. 26-47.

Ji, R., Kappler, A., Brune, A. 2000. Transformation and mineralization of synthetic ¹⁴C-labeled humic model compounds by soil-feeding termites. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1281-1291.

Jones, J.A. 1990. Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa – a hypothesis. *Journal of Tropical Ecology* 6: 291-305.

Jones, D.; Susilo, F.; Bignell, D.; Hardiwinoto, S.; Gillison, A.; Eggleton, P. 2003. Termite assemblage collapse along a land-use intensification gradient in lowland central Sumatra, Indonesia. *Journal of Applied Ecology* 40:380-391.

Jouquet, P.; Lepage, M.; Velde, B.2002. Termite soil preferences and particle selections: strategies related to ecological requirements. *Insectesoc.* 49: 1–7.

Lal, R.1987. *Tropical ecology and physical edaphology*. Chichester: Wiley-Interscience.

Lal, R. 1988. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **24**: 101-116.

Lavelle, P.; Chauvel, A.; Fragoso, C. 1995. Faunal activity in acid soils. In Plant soil interaction at low pH. Date, R.A. et al (eds). Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in ecological research* **21**: 93-132.

Lawton, J.H.; Jones, D.G. 1995. Linking species and ecosystems: organisms as ecosystem engineers. In: Linking Species and Ecosystems (Eds C. G. JONES and J.H. LAWTON). Chapman & Hall, New York.

Lee, K.E. & Wood, T.G. 1971. Termites and Soils, Academic Press, London, UK.

Martins, G. M. 2007. Efeito da ação de cupins sobre propriedades de um perfil de solo em uma vertiente da Represa Billings, São Bernardo do Campo-SP. Dissertação de mestrado. Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. 88 p.

Oliveira, F.; Varajão, A.; Varajão, C.; Schaefer, E.; Boulangé, B. 2014. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma* **226**:250–259.

Palin, O.; Eggleton, P.; Malhi, Y.; Girardin, C.; Rozas-Dávila, A. & Parr, C. 2011. Termite diversity along an Amazon-Andes elevation gradient, Peru. *Biotropica* **43** (1): 100-107.

R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2012. The PR Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.

RADAMBRASIL. 1983. Levantamento de recursos naturais: Folhas SF23/24 Rio de Janeiro/Vitória; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 780p.

Rodriguez, K.2011. Geoambientes e solos em ambientes altimontanos nos Parques Nacionais de Itatiaia e Caparaó-mg. Tese de Doutorado Departamento de Solos. Universidade Federal de Viçosa. 124 p.

Oliveira, F.; Varajão, A.; Varajão, C.; Schaefer, E.; Boulangé, B. 2014. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma* **226**:250–259.

Semir, J. 1991. Revisão taxonômica de *Lychnophora* Mart. (Vernoniae: Compositae). Tese (Doutorado em Biologia Vegetal), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. p. 273-515.

Schaefer, C. E.; Simas, F. N. B. 2007. Elementos do meio físico e a gestão de Unidades de Conservação. Universidade Federal de Viçosa. *Ação Ambiental* **37**: 12-15.

Stork, N.E; Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *Am. J. Alterm. Agric.* 7: 38-55.

Soares, M. P. Saporetti Jr, A. W.; Meira Neto, J. A. A.; Silva, A. F.; Souza, A. L.2006. Composição florística do estrato arbóreo de floresta atlântica interiorana em Araponga Minas Gerais. *Revista Árvore* **30**: 859-870.

Swift, M.J; Andrén, O.; Brussaard, L.; Briones, M.; Couteaux, M.; Ekschmitt, K.; Kjoller, A.; Loiseau, P.; Smith, P. 1998. Global change, soil biodiversity and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology* **4**: 729-743 p.

Vasconcellos, A .2002. A new species of *Ibitermes* (Isoptera, termitidae) from the Atlantic Forest, Northeastern Brazil. *Iheringia. Série Zoologia Porto Alegre* **92**:53-56.

Vasconcellos, A. 2010. Biomass and abundance of termites in three remnant areas of Atlantic Forest in northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* **54**(3): 455–461.

Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 123p.

Vitta, F. A. 1995. Composição florística e ecologia de comunidades campestres na Serra do Cipó, Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, SP. 111p.

Wood, T.G.; Sands, W.A. 1978. The role of termites in ecosystems. In: Production Ecology of Ants and Termites (Ed. M.V. BRIAN). Cambridge University Press, London.

ANEXOS

PERFIL 7
FITOFISIONOMIA- Floresta Ombrófila Densa Montana

ALTITUDE- 1247m
LITOLOGIA – Supergrupo Juiz de Fora.
PEDREGOSIDADE –Pedregosa.
ROCHOSIDADE –Não rochosa.
RELEVO LOCAL – Montanhoso.
RELEVO REGIONAL – Montanhoso - Escarpado.
EROSÃO –Não aparente.
DRENAGEM –Moderadamente drenado.
VEGETAÇÃO PRIMARIA - Floresta Ombrófila Densa Montana
Vegetação arbórea com dominância de *Myrcia splendens*, *Clethra scabra*, *Myrsin eumbelata*, *Myrciaria delicatula*
USO ATUAL – Conservação. Estado médio de regeneração.
CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen.
DATA DE DESCRIÇÃO - 19/06/2012.
LOCALIZAÇÃO - Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'42,73"S 42°27'24,14"W
DESCRITO POR- Davi Gjorup
CLASSIFICAÇÃO- Cambisoló Háplico.
OBSERVAÇÕES: Horizonte O, serrapilheira saprica, MO fibrica. Presença de carvão ate Bi.

O–15-0 cm; A-0-30 cm; Bi-30-105+ cm

A– Blocos subangulares e moderada pequena. Consistência friável. Transição plana e gradual.

Bi– Blocos subangulares e fraca pequena. Consistência friável.



Figura 30. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Cambissolo háplico, 1247 m. B. Floresta Ombrófila Densa Montana

PERFIL 8
FITOFISIONOMIA- Arbustal de encosta

ALTITUDE- 1477 m

LITOLOGIA- Super grupo Juiz de Fora

PEDREGOSIDADE - Muito pedregosa

RELEVO LOCAL - Escarpado

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Arbustal de encosta

Composta por indivíduos arbóreos entre 2 e 4 m, e alguns poucos até 6 m, com dominância de *Eremanthus erythropappus*, *Myrcia splendens*, *Trembleya parviflora* e *Huberia semiserrata*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen.

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'18"S, 42°28'14"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Cambisol Húmico

A-0-15 cm; AB- 15-20 cm; Bi₁-20-40 cm; Bi₂-40-60 cm; BC-60-80 cm

A- Granular, moderada, média. Transição plana e gradual. Raízes finas a muito finas.

AB- Granular, moderada, pequena. Transição ondulada/irregular e gradual. Raízes comuns finas a grossas.

Bi₁- Granular, moderada/fraca, pequena. Transição ondulada/irregular e gradual. Raízes comuns finas a grossas.



Figura 31. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Cambissolo hápico, 1477 m. B. Floresta Ombrófila Densa Montana

PERFIL 9
FITOFISIONOMIA- Mata Semidecídua Aberta de encosta

ALTITUDE- 1650 m

LITOLOGIA- Super grupo Juiz de Fora

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

RELEVO LOCAL - Escarpado

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Mata Semidecídua Aberta de encosta

Vegetação arbórea com presença de *Roupala Montana*, *Dalbergia foliolosa*, *Myrsine ferruginea* e *Miconia affinis*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen.

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'29,71"S, 42°28'24,42"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Cambisoló Húmico

O-0-12 cm; A hum-12-30 cm; AB-30-40 cm; Bi-40-60; BC-60-90.

O- Granular. Transição clara e plana.

A hum- Granular. Transição clara e ondulada.

AB- Granular / Blocos subangulares médio a grande. Transição gradual e ondulada.

Bi- Granular / Blocos subangulares médio a grande, fraca a moderada. Transição gradual.

BC- Granular, moderada.



Figura 32. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Cambissoló Húmico, 1650 m. B. Floresta Semidecídua aberta de encosta.

PERFIL 10
FITOFISIONOMIA- Mata Nebular Altamontana

ALTITUDE- 1695 m

LITOLOGIA- Supergrupo Juiz de Fora

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Mata Nebular Altamontana

Composta por indivíduos arbóreos de 3 a 5 metros, com dominância de *Myrcia splendens*, *Clethra scabra* Pers., *Myrsine umbelata*, *Myrciaria delicatula*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen.

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'51,42"S, 42°27'59,63"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Organossolo Fólico

O-0-5 cm; A₁-5-20 cm; A₂-20-45 cm; C/R-45-80

O- Granular, moderada pequeno / médio.

A₁- Granular, forte, pequeno / médio.

A₂- Granular, forte, pequeno / médio.



Figura 33. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Organossolo Fólico, 1695 m. B. Floresta Mata Nebular Altomontana

PERFIL 11
FITOFISIONOMIA- Floresta Ombrofila Altomontana

ALTITUDE- 1680 m

LITOLOGIA- Supergrupo Juiz de Fora

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Floresta Ombrofila

Vegetação arbórea com dominância de *Myrcia splendens*, *Clethra scabra* Pers., *Myrsine umbelata*, *Myrciaria delicatula*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen.

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'38"S, 42°28'05"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Cambissolo Húmico.

A–0-12 cm; AB-12-22 cm; BA-22-30 cm; Bi₁-30-40 cm; Bi₂-40-60 cm; BC 60-90 +

A– Granular, moderada. Transição clara e plana. Muitas raízes grossas / médias.

AB– Granular, moderada. Transição gradual e plana. Muitas raízes médias.

BA– Blocos subangulares / granular, fraca / moderada. Transição gradual e ondulado. Raízes comuns e médias.

Bi₁– Blocos subangulares / granular, fraca / moderada. Transição gradual e ondulado. Raízes comuns e finas.

Bi₂– Granular, fraca. Transição gradual e ondulada. Poucas raízes finas.

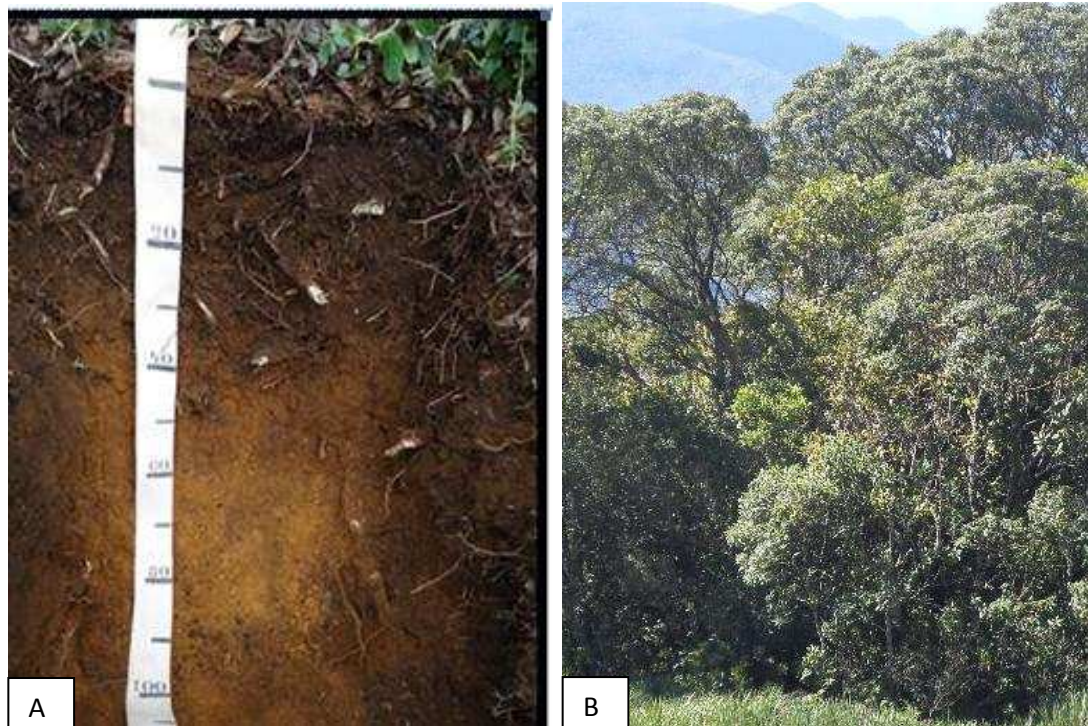


Figura 34. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Cambissolo Húmico, 1680 m. B. Floresta Ombrofila Altomontana.

PERFIL 12
FITOFISIONOMIA- Campo Graminoso Brejoso

ALTITUDE- 1725 m

LITOLOGIA- Supergrupo Juiz de Fora

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Campo Graminoso Brejoso

Composta por herbáceas e arbustos associados a hidromorfismo temporário, com dominância de *Panicum euprepes*, *Vellozia variegata*, *Hesperozygis nitida* e *Baccharis platypoda*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen.

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'45"S, 42°28'14"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Organossolo Sáprico Espoico.

O₁-0-10 cm; O₂-10-20 cm; E/C-20-40 cm.

O₁- Granular, macia. Transição clara e ondulada. Muitas raízes finas

O₂- Granular, grãos simples. Transição clara / gradual e ondulada / irregular. Raízes comuns e finas.

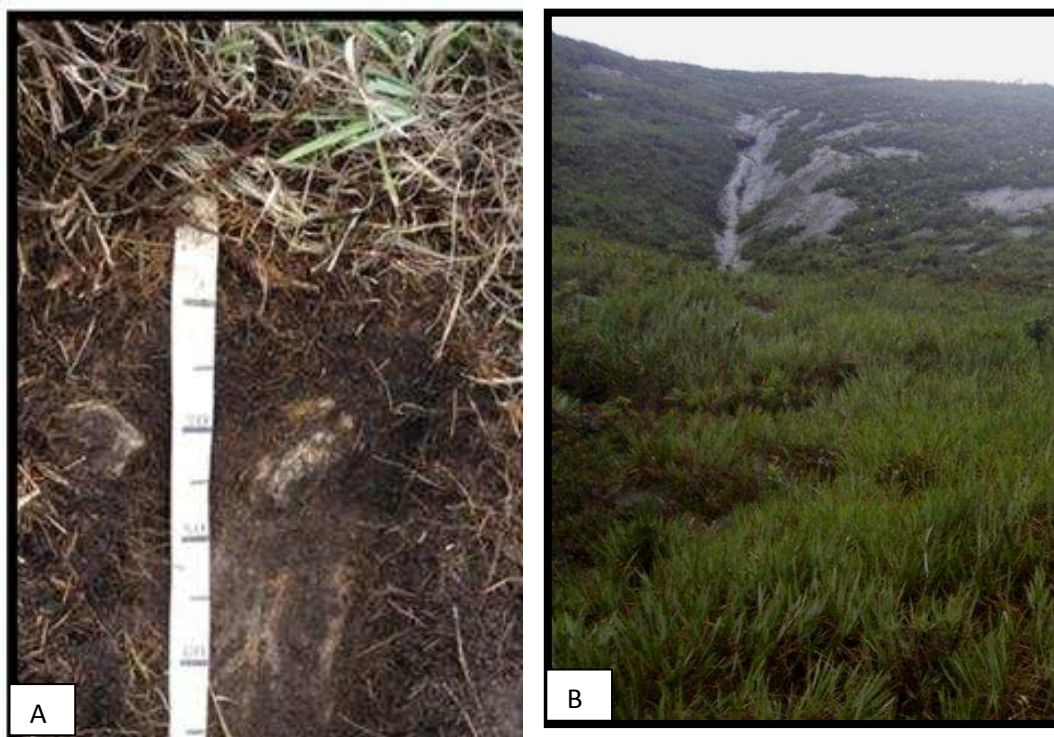


Figura 35. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Organossolo Sáprico Espoico, 1725 m. B. Campo Graminoso Brejoso

PERFIL 13
FITOFISIONOMIA- Mata Baixa - Escrube

ALTITUDE- 1755 m

LITOLOGIA- Supergrupo Juiz de Fora

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Mata Baixa - Escrube

Vegetação herbácea e arbustiva com dominância de *Nanuza plicata* e *Dyckia weddelliana*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen.

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'51,57"S,
42°27'59,00"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Cambissolo Húmico.

O–0-13 cm; A hum-13-33 cm; Bi-33-55 cm; Cr-55-80 cm.

O– Granular, forte, médio. Transição clara e plana. Muitas raízes grossas, médias e finas.

A hum- Granular, forte, médio. Transição clara e plana. Muitas raízes médias e finas.

Bi– Granular, forte / moderada, médio. Transição gradual e ondulada; Muitas raízes médias e finas.



Figura 36. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Cambissolo Húmico, 1755 m. B. Mata Baixa - Escrube

PERFIL 14
FITOFISIONOMIA- Campo Arbustivo Hidromorfico

ALTITUDE- 1827 m

LITOLOGIA- Supergrupo Juiz de Fora

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Campo arbustivo hidromorfico

Vegetação de ilhas de arbustos com dominância de *Lavoziera pectinata*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°44'52.62"S,
42°28'13.19"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Organossolo Fólico.

O– 0-5 cm; A his- 5-30 cm; Cr- 30-40.

O– Granular, fraca, médio / grande. Transição clara e plana.

A his– Granular / Blocos subangulares, fraca, médio / grande. Transição clara e plana.

Cr– Blocos subangulares, fraca, médio / grande. Transição clara e plana.



Figura 37. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Organossolo Fólico, 1827 m. B. Campo Arbustivo Hidromorfico

PERFIL 15
FITOFISIONOMIA- Campo arbustivo de altitude

ALTITUDE- 1894 m

LITOLOGIA- Supergrupo Juiz de Fora

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Campo arbustivo de altitude

Vegetação herbácea, com subarbustos esparsos de até 50 cm de altura e bromélias, e dominância de *Hesperozygis nítida* e *Baccharis platypoda*.

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Estadual Serra do Brigadeiro, 20°45'00,09"S, 42°28'14.76"W

DESCRITO POR- Eduardo Senra

CLASSIFICAÇÃO- Neossolo Litólico Húmico.

O– 0-15 cm; A hum- 15-40 cm; Cr- 40-60.

O– Granular, fraca, grande / muito grande. Transição clara e plana.

A hum– Granular, fraca, grande / muito grande. Transição clara e plana.

Cr– Granular / blocos subangulares, fraca, grande / muito grande. Transição gradual e ondulada.

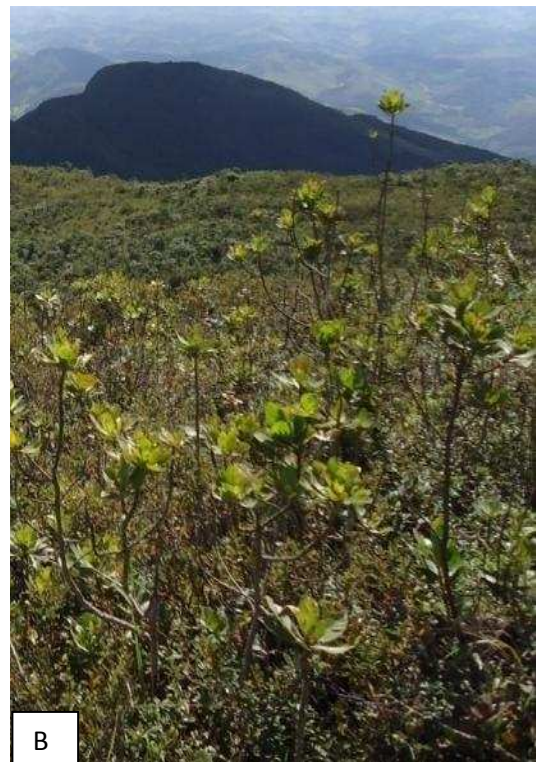


Figura 38. Parque Estadual Serra do Brigadeiro. A. Neossolo Litólico Húmico. 1894 m. B. Campo arbustivo de altitude.

PERFIL 16
FITOFISIONOMIA- Floresta Montana

ALTITUDE- 1244 m
LITOLOGIA- Migmatito / Colúvio
RELEVO REGIONAL- Montanhoso
VEGETAÇÃO PRIMARIA- Floresta Montana Semidecídua.
Floresta secundária com subbosque pouco denso com altura de copas até 30-40 m.
PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.
ROCHOSIDADE: Não Rochosa.
RELEVO E DECLIVIDADE: Ondulado (de 8 – 20%)
DRENAGEM: Bem Drenado.
EROSÃO: Não aparente.
DATA DE DESCRIÇÃO- 22/11/2012
USO ATUAL- Conservação
CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen
LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Nacional do Caparaó, 20°24'41.50"S,
41°51'00.65"W
DESCRITO POR- Davi Gjorup e Eduardo Senra
CLASSIFICAÇÃO- Latossolo Vermelho Amarelo.
OBSERVAÇÕES: Horizonte A bem menos expressivo que os demais perfis.

A– 0-45 cm; BA- 45-135 cm; Bw - 135-220 +

A– Blocos subangulares, moderada, média. Transição ondulada e gradual. Poucos poros médios e grandes, frível e macia. Ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico. Raízes comuns finas e médias.

BA– Blocos subangulares moderada, média. Transição plana e difusa. Poros comuns pequenos e médios. Frível, ligeiramente dura. Ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico. Poucas raízes médias.

Bw– Blocos subangulares, moderada, média. Frível, ligeiramente dura. Pegajoso, ligeiramente plástico, Raízes raras médias.



Figura 39. Parque Nacional do Caparaó. A. Latossolo Vermelho Amarelo, 1244 m. B. Floresta Montana Semidesidual.

PERFIL 17
FITOFISIONOMIA- Floresta Montana

ALTITUDE- 1325 m
LITOLOGIA- Migmatito / Colúvio
RELEVO REGIONAL- Montanhoso
VEGETAÇÃO PRIMARIA- Floresta Montana Semidecídua.
Floresta secundária com subbosque pouco denso com altura de copas até 30-40 m.
PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.
ROCHOSIDADE: Não Rochosa.
RELEVO E DECLIVIDADE: Ondulado (de 8 – 20%)
DRENAGEM: Bem Drenado.
EROSÃO: Não aparente.
DATA DE DESCRIÇÃO- 21/11/2012
USO ATUAL- Conservação
CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen
LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Nacional do Caparaó, 20°24'35.64"S,
41°51'03.47"W
DESCRITO POR- Davi Gjorup
CLASSIFICAÇÃO- Latossolo Vermelho Amarelo.

A– 0-70 cm; AB- 70-100 cm; Bw-100-215 +

A– Blocos subangulares, forte, média. Transição plana e gradual. Muitos poros muitos pequenos. Frível, macia. Ligeiramente pegajoso, muito plástico. Poucas raízes médias e grossas.

AB– Blocos subangulares, moderada, media. Transição plana e gradual. Muitos poros muito pequenos. Frível, macia. Ligeiramente pegajoso, muito plástico. Raras raízes médias.

Bw- Blocos subangulares, moderada, media. Poros comuns pequenos. Frível, ligeiramente dura. Pegajoso, plástico.



Figura 40. Parque Nacional do Caparaó. A. Latossolo Vermelho Amarelo, 1325 m. B. Floresta Montana Semidecídua.

PERFIL 18
FITOFISIONOMIA- Mata Nebular com Bambú

ALTITUDE- 1695 m
LITOLOGIA- Migmatito / Colúvio
RELEVO REGIONAL- Montanhoso
VEGETAÇÃO PRIMARIA- Mata Nebular com Bambú.
Floresta secundária com predomínio de Bambus.
PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.
ROCHOSIDADE: Não Rochosa.
RELEVO E DECLIVIDADE: Forte ondulado (de 20 – 45%)
DRENAGEM: Bem Drenado.
EROSÃO: Não aparente.
DATA DE DESCRIÇÃO- 21/11/2012
USO ATUAL- Conservação
CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen
LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Nacional do Caparaó, 20°23'58.81"S,
41°50'34.87"W
DESCRITO POR- Davi Gjorup e Eduardo Senra.
CLASSIFICAÇÃO- Cambissolo Húmico.
OBSERVAÇÕES: Cupins forrageando no A₂.

A₁– 0-50 cm; A₂- 50-105 cm; Bi- 105-170 +

A₁– Granular, fraca / moderada, pequena. Transição gradual e ondulada. Muitos poros pequenos. Friavel, macia. Não Pegajoso, não plástico. Abundantes raízes finas e médias.
A₂– Blocos subangulares, moderada, média. Transição clara e ondulada. Poros comuns muito pequenos. Frível, macia. Ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico. Muitas raízes médias e grossas.
Bi– Blocos subangulares moderada / forte, média. Poucos poros médios. Firme, ligeiramente dura. Pegajoso plástico. Poucas raízes grossas.



Figura 41. Parque Nacional do Caparaó. A. Cambissolo Húmico, 1695 m. B. Mata Nebular com Bambú.

PERFIL 19
FITOFISIONOMIA- Escrube - Candeial

ALTITUDE- 1887 m

LITOLOGIA- Migmatito

Material originário.

RELEVO REGIONAL- Montanhoso

VEGETAÇÃO PRIMARIA- Escrube com predomínio de *Candeia Bacharis*.

PEDREGOSIDADE: Moderadamente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não Rochosa.

RELEVO E DECLIVIDADE: Fortemente ondulado (de 20 – 45%)

DRENAGEM: Bem Drenado.

EROSÃO: Ligeira, laminar.

DATA DE DESCRIÇÃO- 21/11/2012

USO ATUAL- Conservação

CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen

LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Nacional do Caparaó, 20°23'53.83"S,
41°50'15.48"W

DESCRITO POR- Davi Gjorup

CLASSIFICAÇÃO- Cambissolo Húmico.

OBSERVAÇÕES: Horizonte A com hidrofobicidade. Muitas galerias de formiga em A e ninho de cupins em Bi₁ e Bi₂.

A– 0-20 cm; Bi₁- 20-40 cm; Bi₂- 40-95 cm;

A– Blocos subangulares, fraca pequena. Transição gradual e plana. Poros comuns pequenos e médios. Frível, macia. Não pegajoso, não plástico. Abundantes raízes médias e poucas finas

Bi₁– Blocos subangulares moderada, pequena. Transição gradual e plana. Poucos poros médios. Frível, macia. Ligeiramente pegajoso, plástico. Raízes comuns médias.

Bi₂– Blocos subangulares, moderada, média. Poucos poros médios. Frível, macia. Ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico. Poucas raízes médias.

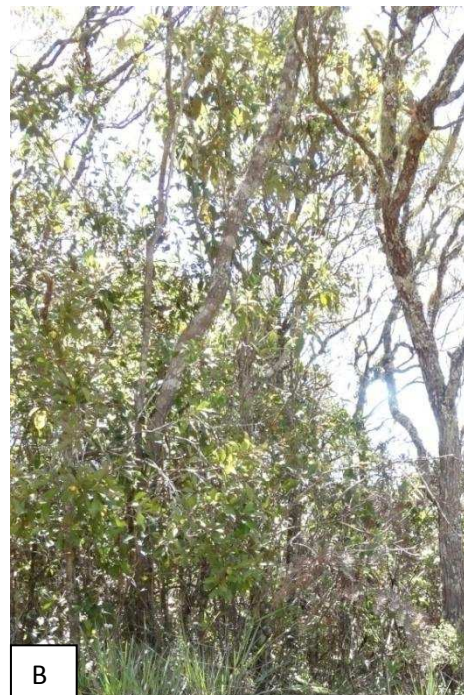


Figura 41. Parque Nacional do Caparaó, 1887 m. A. Cambissolo Húmico. B. Escrube – Candeial.

PERFIL 20
FITOFISIONOMIA- Campo rupestre arbustivo

ALTITUDE- 1967 m
LITOLOGIA- Migmatito
MATERIAL ORIGINÁRIO - matéria orgânica.
RELEVO REGIONAL- Montanhoso
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Campo rupestre com arbustos (*Candeia Bacharis*)
PEDREGOSIDADE: Muito pedregosa.
ROCHOSIDADE: Extremadamente Rochosa.
RELEVO E DECLIVIDADE: Montanhoso (de 45 – 75%)
DRENAGEM: Moderadamente Drenado.
EROSÃO: Forte.
DATA DE DESCRIÇÃO- 22/11/2012
USO ATUAL- Conservação
CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen
LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Nacional do Caparaó, 20°24'07.35"S,
41°50'09.04"W
DESCRITO POR- Davi Gjorup e Eduardo Senra
CLASSIFICAÇÃO- Neossolo Litólico.
OBSERVAÇÕES: Galeria de térmitas no horizonte A. Horizonte AC coletado úmido.

A– 0-15 cm; AC- 15-30 cm; R-30 +

A– Granular, fraca, média. Transição clara e plana. Muitos poros médios a muito grandes. Muito frível, macio. Não pegajoso, não plástico. Abundantes raízes finas e médias.

AC– Granular, forte, pequena. Transição abrupta e plana. Muitos poros médios. Frível. Não pegajoso, não plástico. Raízes comuns finas e médias.



Figura 43. Parque Nacional do Caparaó, 1967 m. A. Neossolo Litólico. B. Campo rupestre arbustivo.

PERFIL 21
FITOFISIONOMIA- Escrube

ALTITUDE- 2003 m
LITOLOGIA- Migmatito
RELEVO REGIONAL- Montanhoso
VEGETAÇÃO PRIMARIA- Campo de altitude
Escrube e campos com arbustos, *Candeia bacharis*.
PEDREGOSIDADE: Muito pedregosa.
ROCHOSIDADE: Não Rochosa.
RELEVO E DECLIVIDADE: Forte ondulado (de 20 – 45%)
DRENAGEM: Moderadamente Drenado.
EROSÃO: Não aparente.
DATA DE DESCRIÇÃO- 21/11/2012
USO ATUAL- Conservação
CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen
LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Nacional do Caparaó, 20°24'09.27"S,
41°50'07.18"W
DESCRITO POR- Davi Gjorup e Eduardo Senra
CLASSIFICAÇÃO- Cambissolo Húmico.
OBSERVAÇÕES: Bi com estrutura herdada do material de origem, bem oxidada, blocos duros e firmes. Estrutura do A se desfaz facilmente / moderadamente granular.

A– 0-30 cm; Bi- 30-70 +

A– Blocos subangulares, moderada, pequena. Transição abrupta e plana. Muitos poros médios. Frível, macia. Não pegajoso, não plástico. Abundantes raízes médias.
Bi– Blocos subangulares, forte média. Poucos poros grandes. Extremadamente firme e extremadamente dura. Não pegajoso, não plástico



Figura 44. Parque Nacional do Caparaó, 2003 m. A. Cambissolo Húmico. B. Escrube.

PERFIL 22
FITOFISIONOMIA- Campo graminoso

ALTITUDE- 2080 m
LITOLOGIA- Migmatito
RELEVO REGIONAL- Montanhoso
VEGETAÇÃO PRIMARIA- Campo de altitude, Campo graminoso.
PEDREGOSIDADE: Muito pedregosa.
ROCHOSIDADE: Muito Rochosa.
RELEVO E DECLIVIDADE: Forte ondulado (de 20 – 45%)
DRENAGEM: Mal Drenado.
EROSÃO: Não aparente.
DATA DE DESCRIÇÃO- 21/11/2012
USO ATUAL- Conservação
CLIMA - Cwb, da classificação de Köppen
LOCALIZAÇÃO- Brazil, Minas Gerais, Parque Nacional do Caparaó, 20°24'17.20"S,
41°50'00.67"W
DESCRITO POR- Davi Gjorup e Eduardo Senra
CLASSIFICAÇÃO- Organossolo Litólico.
OBSERVAÇÕES: Solo descrito encharcado, associado diretamente com AR.

H- 0-20; R- 20-50 +

H– Blocos subangulares moderada. Transição abrupta e plana. Muitos poros muito pequenos. Não pegajoso, não plástico. Abundantes raízes médias.

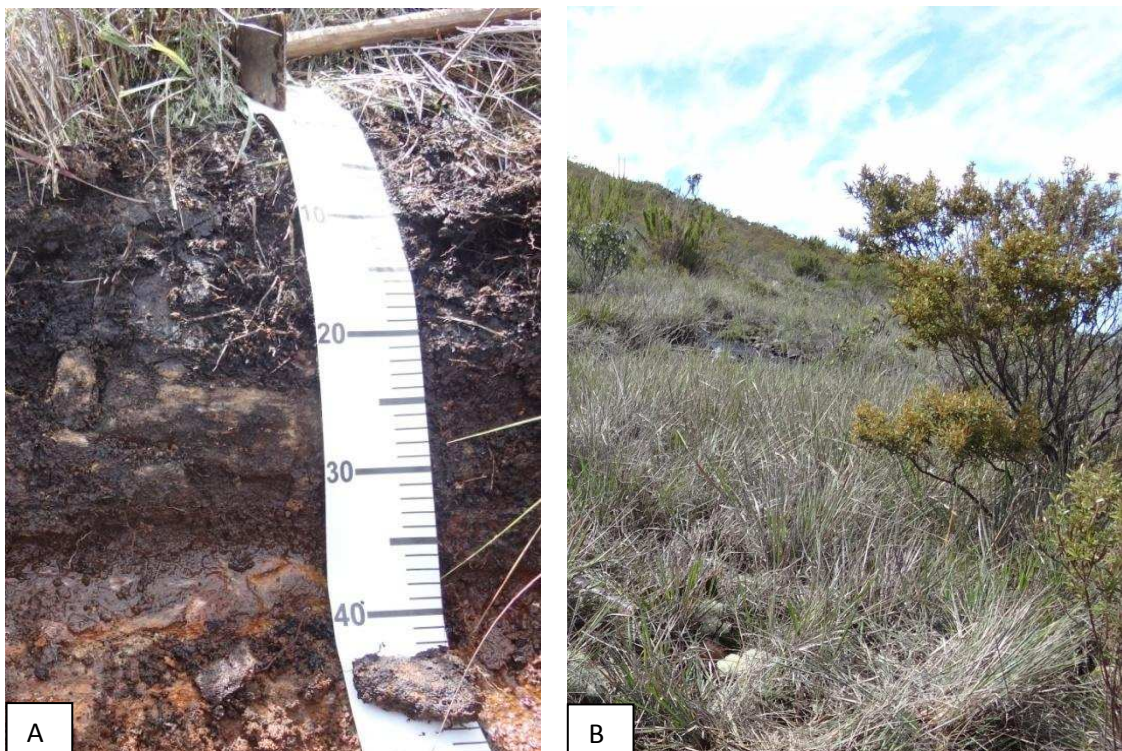


Figura 45. Parque Nacional do Caparaó, 2080 m. A. Organossolo Litólico. B. Campo graminoso.

CAPITULO3

Influência dos cupins no seqüestro do carbono em solos altimontanos do Sudeste Brasileiro.

Manuscrito original, apresentado em formato de submissão.

Influência dos cupins no seqüestro do carbono em solos altimontanos do Sudeste Brasileiro.

Resumo

Estudou-se a composição química e textural, assim como a liberação de C-CO₂ e CH₄ em 18 cupinzeiros de solos altimontanos do Parque Estadual Serra do Brigadeiro (MG). Foram abertos 6 perfis de solo, e coletadas amostras de cada horizonte e determinadas suas propriedades físico-químicas. Ao redor de cada perfil foram definidas aleatoriamente 3 parcelas de 10 x 2 m e coletadas amostras compostas de solo na profundidade de 0-15 cm. Em cada parcela também foi coletado um fragmento de cupinzeiro para seu posterior análise químico e ensaio de respirometria. As concentrações de C-CO₂ e C-CH₄ foram determinadas por meio de espectroscopia, utilizando o equipamento CRDS. As análises químicas e granulométricas dos cupinzeiros demonstra que existe um incremento geral nos teores de macronutrientes e variações texturais em comparação com os solos adjacentes. O teor de COT mais elevado com tendência inversa nos valores de NT menores nos cupinzeiros que no solo adjacente pode estar refletindo uma estratégia de balanço C/N do organismo. Nossos dados sugerem que os cupinzeiros de campos de altitude contribuem na maior estabilidade da matéria orgânica contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados.

Introdução

O carbono orgânico do solo (COS) é um componente importante do ciclo global do C, representando 69,8 % do C orgânico da biosfera (FAO, 2001). O carbono orgânico terrestre provém de início, da fotossíntese realizada pelos organismos autotróficos e sua posterior entrada no solo a partir dos resíduos da biomassa das plantas, liberação de exsudados radiculares e constituintes solúveis das plantas carregados pela chuva, com a intervenção de macro e microorganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007). A matéria orgânica do solo é a fonte básica de energia para a atividade biológica e se encontra ligada a processos importantes, tais como a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água. Sua perda implica no desequilíbrio desses processos assim como na degradação do mesmo solo (Roscoe *et al.*, 2006).

O solo pode atuar como fonte ou reservatório (dreno) de C dependendo do seu manejo (Lal, 1997). Estima-se que nos sistemas intensivos de plantio se produzem perdas de carbono orgânico entre 30 e 50% dos valores iniciais. A transformação de sistemas naturais em agrícolas, conjuntamente com o desmatamento, são causas importantes da emissão de CO₂ na atmosfera, que repercute em alterações climáticas a escala global (Scholes & Breemen, 1997). Por outro lado, os ecossistemas florestais recapturam esse CO₂ atmosférico, que posteriormente é estocado como C no solo. Assim, as florestas contribuem no regulamento do clima, mas também apresentam outros efeitos positivos como melhorar a disponibilidade de água e a capacidade de regulação dos solos (Santos, 2007).

No Brasil, os ambientes de altitude do sudeste apresentam solos geralmente pobres em nutrientes com saturação de alumínio elevada, clima mesotérmico e baixas temperaturas, características que representam um alto potencial para seqüestro de carbono (Simas *et al.*, 2005). No que se refere à fauna do solo, vários trabalhos na literatura descrevem a emissão de gases efeito estufa como CO₂ e CH₄ pelos cupins, produto do seu metabolismo (Gay & Watson, 1982; Higashi *et al.*, 1992; Lewis *et al.*, 1996; Su & Scheffrahn,

1988). Os valores de CO₂ decorrentes da respiração pelos cupins pode ser empregado para determinar a taxa de carbono mineralizado por estes organismos e liberado na atmosfera (Holt, 1987). Os estudos determinando a liberação de CO₂ pelos cupins (Wood & Sands 1978; Schaefer, 1990), geralmente tem sido desenvolvidos principalmente em sabanas africanas, sendo necessários estudos que quantifiquem a respiração das espécies de cupins neotropicais (Martius, 1994).

O objetivo do trabalho foi avaliar como os cupins de campos de altitude contribuem na dinâmica do carbono através da construção dos seus ninhos, para o qual foram estudados 18 cupinzeiros de *Procornitermes* sp. e *Anoplotermes pacificus* coletados entre 1400 e 1900 m no Parque Estadual Serra do Brigadeiro, representando ambientes e solos altimontanos típicos da região sudeste do Brasil.

Materiais e Métodos

Foram coletados solos e cupinzeiros em seis fitofisionomias diferentes, ao longo de um gradiente altitudinal entre 1400 e 1900 m dentro do Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil (Figura 46, Tabela 34).

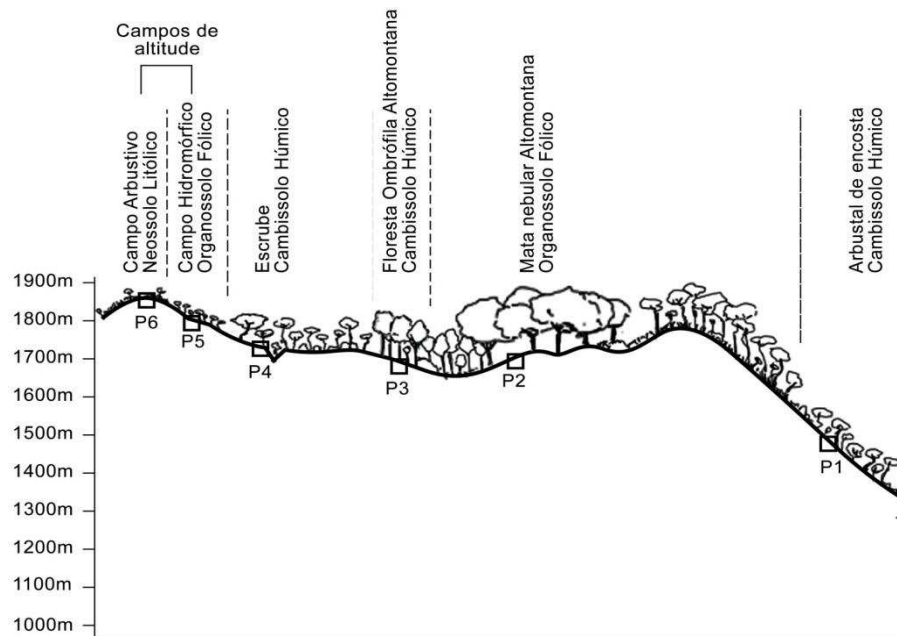


Figura 46. Localização das altitudes estudadas, relacionada com os números dos perfis no Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

Tabela 34. Descrição da área de estudo no Parque Estadual Serra do Brigadeiro (Minas Gerais, Brasil).

Perfil	Coordenadas	Altitude	Fitofisionomia	Classe de solo
1	20°44'18"S, 42°28'14"W	1477 m	Arbustal de encosta: Composta por indivíduos arbóreos entre 2 e 4 m, e alguns poucos até 6 m, com dominancia de <i>Eremanthus erythropappus</i> , <i>Myrcia splendens</i> , <i>Trembleya parviflora</i> e <i>Huberia semiserrata</i> .	Cambissolo Húmico
2	20°44'51.42"S 42°27'59.63"W	1695 m	Mata Nebular Altamontana: Composta por indivíduos arbóreos de 3 a 5 metros, com dominancia de <i>Myrcia splendens</i> , <i>Clethra scabra Pers.</i> , <i>Myrsine umbelata</i> , <i>Myrciaria delicatula</i> .	Organossolo Fólico
3	20°44'38"S, 42°28'05"W	1680 m	Floresta ombrofila: Vegetação arbórea com dominancia de <i>Myrcia splendens</i> , <i>Clethra scabra Pers.</i> , <i>Myrsine umbelata</i> , <i>Myrciaria delicatula</i> .	Cambissolo Húmico
4	20°44'51.57"S, 42°27'59.00"W	1755 m	Escrube: uma vegetação herbácea e arbustiva com com dominância de <i>Nanuzia plicata</i> e <i>Dyckia weddelliana</i>	Cambissolo Húmico
5	20°44'52.62"S, 42°28'13.19"W	1827 m	Campo arbustivo hidromorfo de <i>Lavoisiera sp.</i> : Vegetação de ilhas de arbustos com dominância de certas espécies como <i>Lavoisiera pectinata</i> .	Organossolo Fólico
6	20°45'0.09"S, 42°28'14.76"W	1894 m	Campo arbustivo de altitude: Vegetação herbácea, com subarbustos esparsos de até 50 cm de altura e bromélias, e dominância de <i>Hesperozygis nitida</i> e <i>Baccharis platypoda</i> .	Neossolo Litólico húmico

Características da área de estudo

O Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB) está localizado na Zona da Mata mineira, entre as coordenadas de longitudes 42°40` e 40°20` oeste e latitudes 20°33` e 21°00` sul. Abrange áreas dos municípios de Araponga (41%), Ervália (8%), Fervedouro (27%), Miradouro (12%), Divino (1%), Pedra Bonita (3%), Sericita (6%) e Muriaé (2%) (soares, 2006). O PESB é uma continuação da Serra da Mantiqueira ao sul e a do Caparaó a nordeste (SOARES, 2006), abrigando um dos maiores fragmentos do bioma Mata

Atlântica em condições altimontanas e espécies da flora e fauna em risco de extinção.

O clima é mesotérmico, com temperatura média anual de 18°C. A média do mês mais frio é inferior a 10°C e a média do mês mais quente é inferior a 23°C, chegando aos 0°C nas noites mais frias. O regime pluviométrico é caracterizado por um período quente e chuvoso, durante os meses de novembro a março, e por um período seco, entre os meses de abril e outubro, a precipitação média anual varia em torno de 1300 mm. A região apresenta altitude variando entre 900 e cerca de 2000 m sendo observado um forte controle estrutural sobre as formas de modelado, influenciando a distribuição dos solos e da vegetação. Os solos da região são em geral pobres em nutrientes (distróficos) e com altos teores de alumínio, podendo apresentar elevados teores de matéria orgânica, com formação de horizontes húmicos e orgânicos (Ambiente Brasil, 2006).

No parque surgem várias cabeceiras de cursos d'água, que abastecem tributários dos rios Paraíba do Sul e rio Doce. O parque apresenta duas grandes formações fisionômicas: floresta ombrófila densa montana e os campos de altitude (Benites, 2001; Soares 2006; Ambiente Brasil, 2006).

Coleta de solos e ninhos de cupins

A coleta de solos e ninhos de cupins foi realizada na época seca em julho de 2012. Foram selecionadas seis altitudes cada qual representando uma fitofisionomia correspondente a uma classe de solo particular. Em cada altitude foi aberta uma trincheira para a identificação da classe de solo, coleta e descrição dos horizontes pedogenéticos. Posteriormente foram estabelecidas três parcelas de 2 x 10 m cada, distanciadas entre si por 10 m e coletadas em cada parcela cinco subamostras de solo na profundidade de 0-15 cm, perfazendo com um volume de 15 x 15 x 15 cm, totalizando 5 subamostras de solo que foram homogeneizadas para obter uma amostra composta correspondente a cada parcela, totalizando três amostras compostas de serapilheira e três amostras compostas de solo para altitude, para posterior caracterização química e física em laboratório.

Adicionalmente em cada parcela foi coletado um fragmento de ninho de cupins ativos ou inativos (Figura 47), totalizando 3 ninhos em cada altitude para sua posterior caracterização química e física comparativa com o solo do perfil.



Figura 47. A. Ninho de cupim embaixo da serrapilheira. B. Detalhe de fragmento de ninho. Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil.

Análises químicas e granulométricas do solo

As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas, obtendo-se a fração com diâmetro menor que 2 mm (TFSA). Após a secagem as amostras correspondentes aos solos e os cupinzeiros foram analisadas nos laboratórios de análises de solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, segundo EMBRAPA (1997). A fração terra fina (< 2 mm) do solo foi submetida às análises de acidez (pH em água e KCl; H + Al⁺; Al³⁺); teores disponíveis de macronutrientes e análise granulométrica, de acordo com EMBRAPA (1997). Foram calculadas a soma de bases, capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases e alumínio.

O carbono orgânico total (COT, mg g⁻¹) foi analisado por via úmida de acordo com a metodologia adaptada de Yeomans & Bremner (1988), enquanto o Nitrogênio total (NT, mg g⁻¹) por via úmida de acordo com metodologia adaptada de Bremner & Mulvaney (1982) e Tedesco *et al.*, (1995).

Os parâmetros de incremento relativo (IR) de COT, NT e C/N foram calculados segundo a equação:

$$IC = (\text{atributo do ninho} - \text{atributo do solo}) / \text{atributo do solo} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que o atributo do ninho se refere aos valores de COT, NT e C/N analisados no ninho, e os atributos do solo referem-se aos valores de COT, NT e C/N analisados.

Ensaio de respirometria do solo

Amostras de solo e cupinzeiros (5 g) foram incubadas em sala de incubação com condições controladas (25 ± 1 °C, no escuro), após terem suas umidades ajustadas para 80% da capacidade de campo. Os tratamentos foram definidos com base fatorial (6×2) em que 6 altitudes diferentes (1477, 1680, 1680, 1755, 1827 e 1894 m) x solo e cupinzeiro; dispostos em blocos ao acaso (DBC).

As amostras foram armazenadas em potes de vidro (250 mL) possuindo um septo na parte superior, no qual eram coletadas amostras gasosas por meio de um seringa (60 mL), ao longo do tempo (0, 2, 4, 8, 12 e 16 horas).

Em cada tempo de coleta foram determinados as concentrações de C-CO₂ e C-CH₄ por meio de espectroscopia, utilizando o equipamento CRDS (Cavity ring-downspectrometer) (CRDS, G2131-i, Picarro, Sunnyvale, CA). Os valores acumulados de C-CO₂ e C-CH₄ foram obtidos pela equação:

$$\text{Eq. 2} \quad C - CO_2 \text{ acumulado} = \sum_{i=0}^{16} (C - CO_{2i})$$

Identificação de espécies de cupins

Os espécimes de cupins que habitavam os cupinzeiros foram identificados ao nível de gênero com o auxílio de chaves taxonômicas (Fontes, 1992; Constantino, 1999, 2002) e ao nível de espécie por comparação com a coleção de Isoptera do Museu de Zoologia de São Paulo. A preferência alimentar das espécies foi definida através de revisão de literatura (Constantino 1992, DeSouza & Brown 1994, Donovan *et al.*, 2001, Vasconcellos 2010, Canello *et al.*, 2014). Nos casos de divergência entre os autores, adotou-se o critério escolhido pela maioria dos autores. Os exemplares foram depositados na coleção de Termitologia do Museu Regional de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa (UFVB) e uma copia foi depositada na coleção de Isoptera do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP).

Análises estatísticas

Os tratamentos foram testados pelo teste de média de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR®.

Resultados

Identificação de espécies de cupins

Para a identificação da espécie construtora dos ninhos, foram coletados espécimes em álcool a 80% e identificados posteriormente ao nível de gênero com o auxílio de chaves taxonômicas (Fontes, 1992; Constantino, 1999, 2002) e ao nível de espécie por comparação com a coleção de Isoptera do Museu de Zoologia de São Paulo. Os exemplares foram depositados na coleção de Termitologia do Museu Regional de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa (UFVB).

Caracterização química e textural de cupinzeiros

As análises químicas e granulométricas dos cupinzeiros demonstra que existe um incremento geral nos teores de macronutrientes e variações texturais em comparação com os solos adjacentes (Tabela 36). Na caracterização de COT e NT dos cupinzeiros e do solo adjacente nas parcelas, mostrou que os cupinzeiros apresentaram um teor de COT mais elevado que o solo, com tendência inversa nos valores de NT menores nos cupinzeiros que no solo adjacente (Figura 48).

A relação C/N demonstrou ser diferente para as duas espécies de cupins, já que os cupinzeiros de *Procornitermes* sp. (cupinzeiros 1, 2 e 3) apresentaram valores similares com o solo em volta, enquanto os cupinzeiros de *Anoplotermes pacificus*, apresentaram valores maiores de C/N em comparação com o solo adjacente (Tabela 36).

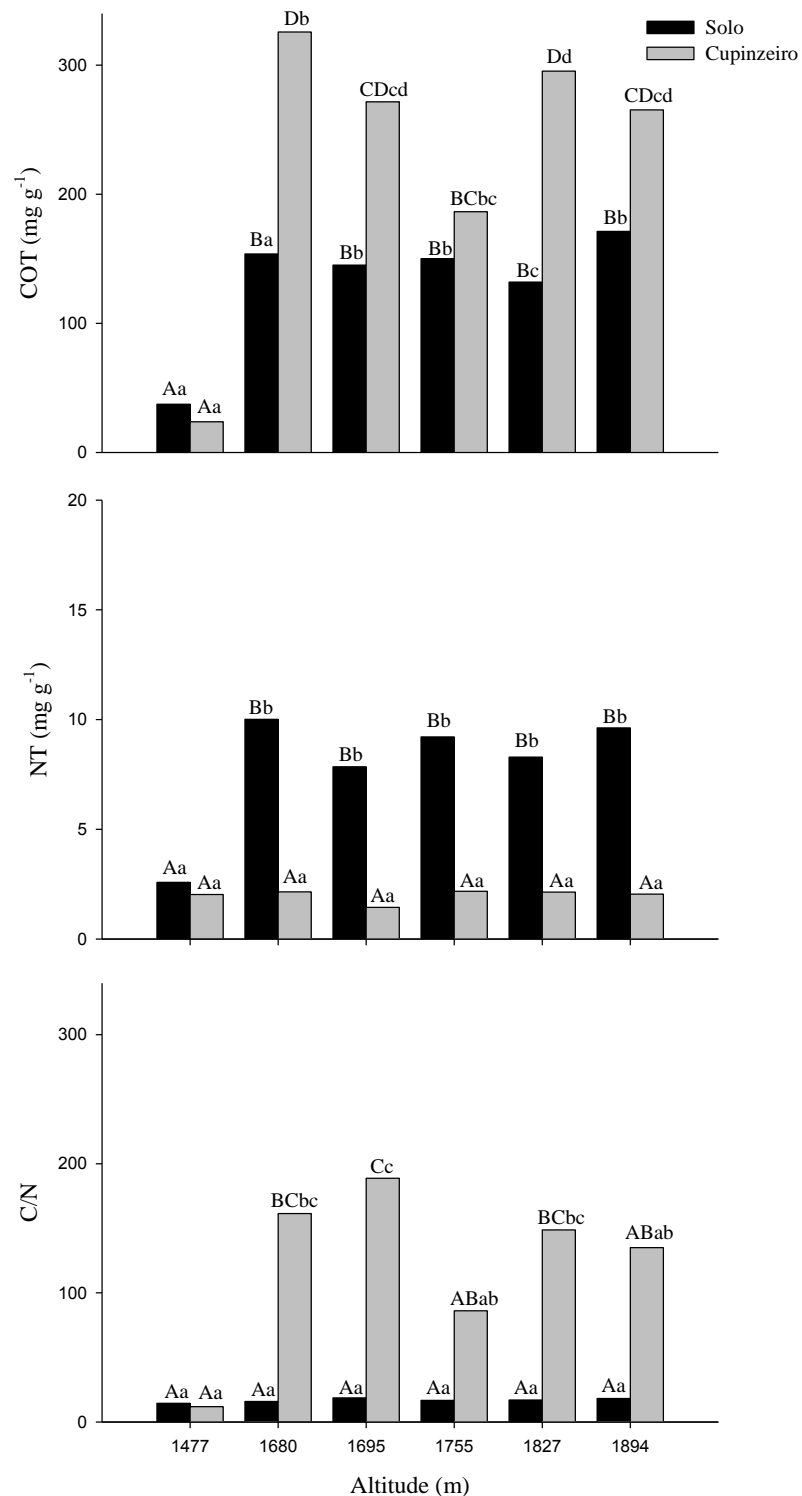


Figura 48. COT (mg g⁻¹), NT (mg g⁻¹) e relação C/N no solos e nos cupinzeiros de diferentes altitudes (1477, 1680, 1680, 1755, 1827 e 1894 m) no Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si nas altitudes dentro de solo ou cupinzeiro, enquanto que letras minúsculas iguais não diferem entre si para o solo e cupinzeiro dentro de cada altitude, para o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 35. Incrementos relativos de COT (mg g^{-1}), NT (mg g^{-1}) e relação C/N nos cupinzeiros em relação ao solo ao longo de um gradiente altitudinal (1477, 1680, 1680, 1755, 1827 e 1894 m) no Parque Estadual Serra do Brigadeiro, Minas Gerais

Altitude (m)	Incremento relativo* de C (IRC)	Incremento relativo de N (IRN)	Incremento relativo de C/N (IR C/N)
1477	-0,28 a	-0,22 b	-0,09 a
1680	1,16 b	-0,78 a	8,95 b
1695	0,89 b	-0,81 a	9,25 b
1755	0,26ab	-0,76 a	4,40ab
1827	1,25 b	-0,71 a	8,24 b
1894	0,56ab	-0,79 a	6,48 b

*Incremento relativo (IC): $((\text{atributo do cupinzeiro} - \text{atributo do solo}) / (\text{atributo do solo}))$. Letras minúsculas iguais entre as altitudes não apresentam diferenças estatísticas para o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos no ensaio de respirometria do solo evidenciaram uma maior liberação de C-CO₂ dos solos em relação aos cupinzeiros para todas as fitofisionomias estudadas. Em tendência oposta, as emissões de CH₄, foram mais acentuadas nos cupinzeiros do que nos solos, sendo os cupinzeiros ativos os que apresentaram maior liberação de CH₄ (Figura 49).

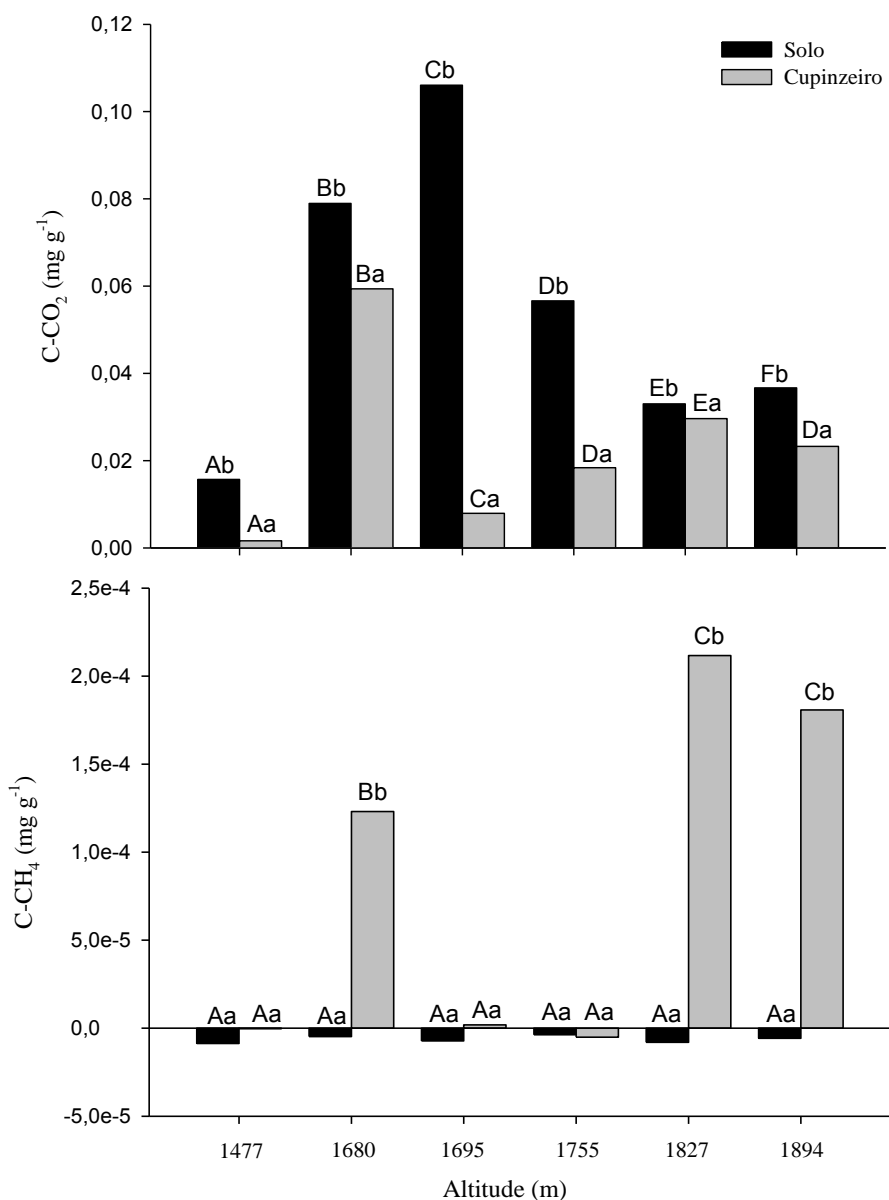


Figura 49. C-CO₂ (mg g⁻¹) e C-CH₄ (mg g⁻¹) acumulados liberados dos solos e dos cupinzeiros de diferentes altitudes (1477, 1680, 1680, 1755, 1827 e 1894 m) no Parque Estadual Serra do Brigadeiro, em ensaio de incubação ao longo de 16 horas. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si nas altitudes dentro de solo ou cupinzeiro, enquanto que letras minúsculas iguais não diferem entre si para o solo e cupinzeiro dentro de cada altitude, para o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Discussão

Os cupins são provavelmente os insetos sociais mais antigos da história evolutiva biológica, com fósseis de até 130 milhões de anos (Takuta & Masahiko, 2001; Canello & Myles, 2000). Possuem hábitos crípticos, vivendo

em colônias formadas por um elevado número de indivíduos que constroem ninhos sob ou sobre a superfície do solo (Pearce, 1997). Os ninhos são uma característica de todos os insetos eussociais, sendo um sistema fechado associado aos hábitos crípticos desses organismos (Noirot & Darlington, 2000). A origem dos ninhos surgiu como pressão seletiva dos predadores, e posteriormente adquiriu outros papéis como a manutenção da homeostasis da temperatura e umidade para o desenvolvimento adequando da colônia (Noirot, 1970). A arquitetura do ninho esta fortemente correlacionada com a diversificação de hábitos alimentares ao longo da evolução desses insetos, servindo como uma característica importante para estudos de filogenia do grupo (Noirot & Darlington, 2000).

O incremento relativo observado dos valores para cada um dos atributos analisados dos cupinzeiros em relação ao solo em volta são consistentes com a literatura (Lee & Wood, 1971; Lal, 1987; Anderson & Wood, 1984; Sarcinelli, 2009), pelo fatos dos ninho serem construídos por partículas de solo ou resíduos de biomassa vegetal, cimentadas com fezes e saliva dos cupins, conferindo assim maiores teores de matéria orgânica em comparação com o solo adjacente (Lal, 1987; Anderson & Wood, 1984). Cabe resaltar que os maiores valores de P foram registrados para os cupinzeiros dos Organossolos Fólicos (Cupinzeiros 4, 14 e 15, Tabela 36), já que de maneira geral o conteúdo total de fosforo orgânico aumenta paralelamente o incremento de carbono (Reddy et al., 2000)

Adicionalmente, muitas espécies de cupins estocam alimento dentro dos seus ninhos, incrementando assim os teores de macronutrientes e convertendo-os muitas vezes em ilhas de fertilidade para as plantas. Como "Engenheiros dos ecossistemas" os cupins afetam a disponibilidade de recursos para outras espécies (Jones *et al.*, 1994; Lawton, 1994) inclusive a disponibilidade de nutrientes para mamíferos megaherbívoros em sistemas oligotróficos (Loveridge & Moe, 2004).

As características de maior fertilidade dos cupinzeiros são conhecidas pelas comunidades locais que empregam fragmentos de cupinzeiros como adubo natural para a agricultura (Burtner, 1948; Hecht & Posey, 1990; Martius,

1994). A relação positiva entre o material dos cupinzeiros e o crescimento das plantas, tem sido já amplamente demonstrado tanto para sistemas naturais quanto agrícolas da Austrália, Índia e Latinoamérica (Spain & Okello-Oloya, 1985; Rajagopal *et al.*, 1990; Oliveira & Paiva, 1985).

No caso do N, foi observado um decréscimo dos teores do ninho em comparação com o solo adjacente das parcelas. Isso pode ser explicado pela estratégias metabólicas dos cupins enquanto ao balanço C/N. Higashi e colaboradores (1992) propõem que uma das estratégias para manter o balanço interno C/N, os cupins eliminam C a pós do processo de digestão enquanto retém N que geralmente é o recurso mais limitante, especialmente para os humívoros.

No presente estudo, os altos valores de CH₄ emitidos pelos cupinzeiros ativos, é consistente com a informação de emissão de CH₄ em artrópodos terrestres produto do seu metabolismo (Hackstein & Stumm, 1994; Sugimoto, *et al.*, 2000). Contudo, os 15 cupinzeiros de *Anoplotermes pacificus* emitiram quantidades menores de CO₂ do que o solo adjacente, mesmo em ninhos ativos. A alta relação C/N para os 15 cupinzeiros explica a menor emissão de CO₂ desses cupinzeiros, em relação ao solo adjacente. Como consequência desse fato, o carbono dentro dos cupinzeiros é mais estável, contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados.

Conclusões

Nos cupinzeiros, o teor de COT mais elevado com tendência inversa nos valores de NT menores que no solo adjacente, poderiam reforçar a teoria da eliminação de C e retenção de N durante o processo de digestão do cupim, como estratégia para manter o balanço interno C/N.

Os dados sugerem que os cupinzeiros de campos de altitude contribuem na maior estabilidade da matéria orgânica contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados.

Referências bibliográficas

AMBIENTE BRASIL.2006. II Relatório parcial do Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. ONG AMBIENTE BRASIL. Centro de Estudos. Equipe de ciências naturais.

Anderson, J.; Wood, T. 1984. Mound Composition and Soil modification by two soil-feeding Termites (Termitinae, Termitidae) in Nigerian Riparian Forest. *Pedobiologia*.

Benites, V.; Schaefer, C.; Mendonça, E.; Martin Neto, L. 2001 Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **25**: 661-674.

Bremner, J.; Mulvaney, C. 1982. Total Nitrogen. in: Page, A., ed. Methods of soil analyses. Madison: *American Society of agronomy*, 595-624.

Burnett, J. 1948. Crop Production. In: J.D. Toothill (Ed.): Agriculture in the Sudan. London University Press.

Canello, E.; Silva, R.; Vasconcellos, A.; Reis, Y.; Oliveira, L. 2014. Latitudinal Variation in Termite Species Richness and Abundance along the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. *Biotropica* **46**: 441–450.

Canello E.; Myles T. 2000. Isoptera. In: J.B. Llorente; E. Gonzalez-Soriano; García-Aldrete A.N. and Papavero N. (Ed.) Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de artrópodos de México. Mexico City. 295-315.

Constantino, R. 1992. Abundance and diversity of termites (insecta: isoptera) in two sites of primary rain forest in Brazilian amazonia. *Biotropica*, **24**: 420-430.

Constantino, R. 1999. Clave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. *Papeis Avulsos de Zoologia* **40** (25): 387-447.

Constantino, R. 2002. An illustrated key to Neotropical termite general (Insecta Isoptera) based primarily on soldiers. *Zootaxa* **67**: 1-40.

FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.

Da Silva, I.; Mendonça, E. 2007. Matéria orgânica do Solo. Em: Fertilidade do solo. Eds: Roberto Ferreira de Novais, Victor Hugo Alvarez V., Nairam Félix DeBarros, Renildes Lúcio Fontes, Reinaldo Bertola Cantarutti e Júlio César Lima Neves. Viçosa.

Desouza, O. & V. Brown. 1994. Effects of habitat fragmentation on Amazonian termite communities. *Journal of Tropical Ecology* **10**:197-206.1994.

Donovan, S.; Eggleton, P.; Bignell, D. 2001. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites (Isoptera). *Ecological Entomology* **26**:356-366.

Dos Santos, E. 2007. Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e Cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – pr. Dissertação. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solo. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.

Fontes, L.1992. Key to the genera of New World Apicotermitinae (Isoptera:Termitidae). In: Insects of Panamá and Mesoamerica. Fourteen. Selected Studies. Oxford University Press. Pp. 242-248.

Gay, F.; Watson, J. 1982. The Genus *Cryptotermes* in Australia (Isoptera:Kalotermitidae). *Australian Journal of Zoology*.

Hackstein, J.; Stumm, C. 1994. Methane production in terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA* **91**: 5441-5445.

Hecht, S.B.; Posey, D.A. 1990. Indigenous soil management in the Latin American Tropics: Some implications for the Amazon Basin. In: International Congress of ethnobiology, L, Belém, 1988. Proceedings. Belém: CNPq/Museu Paraense Emílio Goeldi.

Holt, J. 1987. Carbon mineralization in semi-arid northeastern Australia: the role of termites. Berlin.

Higashi, M.; Abe, T.; Burns, T. 1992. Carbon-Nitrogen Balance and Termite Ecology. *Biological Sciences* **249**: 303-308.

Jones, C.; Lawton, J.; Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* **69**: 373-386.

Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment. *Soil and Tillage Research* **43**: 81-107.

Lal, R. 1987 Tropical ecology and physical edaphology. Chichester: Wiley – Interscience, 1987.

Lawton, J.H.; Jones, D.G. 1995. Linking species and ecosystems: organisms as ecosystem engineers. In: Linking Species and Ecosystems (Eds C. G. Jone Sand J.H. Lawton). Chapman & Hall, New York.

Lee, K.E.; Wood, T.G. 1971. Termites and Soils, Academic Press, London, UK.

Lewis, V.; *et al.* 1996. Field Comparison of sand of insecticide barriers for control of *Reticulitermes* spp. (Isoptera: Kalotermitidae) infestation in homes in northern California. *Sociobiology*.

Loveridge, J. P.; Moe, S. R. 1994. Termitaria as browsing hotspots for African megaherbivores in miombo woodland. *Journal of Tropical Ecology* **20**: 337-343.

Martius, C. 1994. Diversity and ecology of termites in Amazonian forests. *Pedobiologia*, Jena, v. 38.

Noirot, C. 1970. The nests of termites. In: Biology of termites, vol 2 (K. Jrishna; F.M. Weesner, eds.). Academic Press, New York. 73-125..

Noirot, C.; Darlington, J. 2000. Termite nests: Architecture, regulation and defense. In: Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology (eds Abe T, Bignell D.E., Higashi M.). Kluwer Academic Publishers.

Oliveira, L.; Paiva, W. 1985. Utilização de cupinzeiro e esterco de galinha como adubo em alface num Podzólico Vermelho Amarelo da região de Manaus. *Acta Amazonica* **15**:13-18.

Pearce, M. 1997. Termites, Biology and Pest Management. CAB International. Cambridge. 1-39.

Rajagopal, D.; Vereesh, G.K.; Kumar, N.G. 1990. Effect of termite mound soil and fungus comb on the growth of Finger Millet (*Eleusine coracana*). In: Vereesh G.K.; Kumar, A.R.V.; Shivashankar, T. (eds) Social Insects: An Indian Perspective. Bangalore: Indian Chapter of IUSI.

Reddy, D.; Subba Rao, A.; Rupa, T. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technology* **75**: 113-118.

Roscoe, R.; Boddey, R.; Salton, J. C. 2006. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Editores: Renato Roscoe, Fábio Martins Mercante, Júlio Cesar Salton. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 304 p.

Scholes, R. J.; Breemen, N. V. 1997. The Effects of Global Change on Tropical Ecosystems. *Geoderma* **79**: 9-24.

Sarcinelli, T.; Schaefer, C.; Lynch, L.; Arato, H.; Viana, J.; Albuquerque Filho, M.; Gonçalves, T. 2009. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. *Catena* **76**: 107-113.

Schaefer, M. 1990. The soil fauna of a beech forest on limestone: trophic structure and energy budget. *Oecologia* **82**: 128-136.

Simas, F. N.B.; Schaefer, C. E.G.R.; Fernandes Filho, E. I.; Chagas, A. C.; Brandão, P. C. 2005. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. *Geoderma* **125**: 187-201.

Spain, A.; Okello-Oloya, T. 1985. Variation in the growth of two tropical pasture plants on soils associated with the termitaria of *Amitermes laurensis* (Isoptera: Termitinae). In. Australasian Conference On grassland Invertebrate Ecology, 4; Canterbury. Proceedings. Canterbury: Lincoln College.

Soares, M. P. Saporetti Jr, A. W.; Meira Neto, J. A. A.; Silva, A. F.; Souza, A. L. 2006. Composição florística do estrato arbóreo de floresta atlântica interiorana em Araponga Minas Gerais. *Revista Árvore* **30**: 859-870.

Sugimoto, A.; Bignell, D.; Macdonald, J. 2000. Global impact of the termites on the carbon cycle. In: *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology* (eds Abe T, Bignell DE, Higashi M). Kluwer Academic Publishers. 95-119.

Su, N.; Scheffrahn, R. 1988. Toxicity and feeding deterrence of a dihaloalkylaryl sulfone biocide, A-9248 against the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*.

Takuya A., Masahiko H. 2001. Isoptera: Encyclopedia of Biodiversity Volume 3. Academic Press.

Tedesco, M.; Volkweiss, S.; Bohnen, H. 1985. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos.

Vasconcellos, A. 2010. Biomass and abundance of termites in three remanent areas of Atlantic Forest in northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* **54**(3): 455–461.

Wood, T.G.; Sands, W.A. 1978. The role of termites in ecosystems. In: *Production Ecology of Ants and Termites* (Ed. M.V. BRIAN). Cambridge University Press, London.

Yeomans, J.C.; Bremner, J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.

Tabela 36 – Incrementos relativos dos atributos químicos dos cupinzeiros em relação com o solo envolta deles. Parque Estadual Serra do Brigadeiro.

Cupinzeiro	IC pH	IC P	IC K	IC Na	IC Ca	IC Mg	IC Al	IC H+Al	IC SB	IC (t)	IC (T)	IC V	IC M	IC ISNa	IC MO	IC P-rem	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
Arbustal de encosta (1477 m): Cambissolo húmico																				
1	-0.01	-0.93	-0.66	-0.26	1.75	-0.27	0.00	-0.44	0.05	0.01	-0.43	0.84	-0.01	-0.84	-0.67	0.77	0.42	-0.50	0.38	0.47
2	0.03	-0.93	-0.51	-0.55	3.88	0.36	-0.21	-0.56	0.70	-0.02	-0.52	2.60	-0.20	-0.89	-0.74	1.05	0.47	-0.43	0.44	0.21
3	-0.05	-0.89	-0.56	-0.72	0.88	-0.09	0.29	-0.37	-0.14	0.20	-0.36	0.36	0.07	-0.95	-0.70	0.61	0.00	-0.46	0.56	0.83
Mata Nebular Altamontana sensor 2 (1695 m): Organossolo Fólico																				
4	0.26	4.24	12.21	544	1.73	2.58	0.42	0.92	4.22	0.82	0.96	1.92	-0.23	12.75	2.6	0.14	0.43	-0.58	-0.37	0.24
5	0.08	1.37	7.85	212.33	18.45	4.42	1.02	0.92	12.24	2.18	1.07	5.98	-0.38	4	0.49	0.79	0.73	-0.76	-0.63	0.24
6	0.1	0.22	4.79	479	0.77	0.55	0.94	0.92	1.8	1.03	0.93	0.62	-0.06	11.5	1.56	1.32	0.33	-0.4	-0.3	0.16
Floresta Ombrófila Altomontana Sensor 1 Acampamento (1680 m): Cambissolo húmico																				
7	-0.25	0.31	-0.19	0.01	1.73	-0.42	1.33	0.72	0.4	1.12	0.71	-0.16	0.1	-0.93	1.05	0.33	1.59	-0.76	-0.53	0.08
8	-0.23	-0.51	-0.34	-0.73	1.98	-0.13	1.24	0.43	0.43	1.06	0.43	0.03	0.09	-0.98	1.19	-0.19	1.45	-0.73	-0.49	0.12
9	-0.03	0.93	0.23	3.89	0.67	0.63	0.71	0.35	0.94	0.77	0.37	0.45	-0.03	-0.57	0.55	0.83	1.09	-0.64	-0.39	0.25
Mata baixa/Escrube (1755 m): Cambissolo húmico																				
10	0.01	-0.23	0.85	2.76	-0.42	-0.24	0.35	0.4	0.08	0.3	0.39	-0.22	0.07	-0.59	0.32	0.34	0.23	-0.51	-0.22	0.11
11	0.1	-0.72	-0.23	-0.08	-0.88	-0.62	-0.11	-0.15	-0.59	-0.2	-0.16	-0.51	0.14	-0.84	0.24	-0.51	-0.12	-0.37	-0.12	0.43
12	0.19	-0.66	-0.01	0.23	-0.35	-0.47	0.29	0.08	-0.28	0.18	0.07	-0.31	0.12	-0.82	0.54	-0.43	-0.01	-0.58	-0.07	0.36
Campo hidromórfico de Lavoziara (1827 m): Organossolo Fólico																				
13	0.04	0.93	0.55	-0.08	2.33	-0.45	0.23	0.92	0.68	0.39	0.9	-0.11	-0.11	-0.9	1.52	-0.78	0.18	-0.81	0.06	0.47
14	0.09	1.36	0.22	1.67	7.31	-0.02	-0.06	0.45	2.71	0.91	0.63	1.29	-0.51	-0.64	2.05	-0.68	0.09	-0.81	0.17	0.59
15	0.06	1.51	1.5	4.35	10.59	0.71	-0.51	0.96	4.49	1.24	1.24	1.46	-0.78	-0.47	1.81	-0.73	0.16	-0.57	-0.17	0.47
Campo arbustivo de altitude (1894 m): Neossolo litólico húmico																				
16	0.02	0.88	2.15	0.45	5.96	1.7	1.79	0.91	3.9	2.35	0.99	1.44	-0.17	-0.93	2.11	2.3	0.03	-0.06	0	0
17	0.16	0.15	3.03	0.04	6.78	2.4	0.29	0.42	4.59	1.43	0.53	2.63	-0.47	-0.93	1.17	1.51	0.53	-0.69	-0.48	0.2
18	0.14	-0.21	2.41	0.53	2.52	1.2	0.79	0.35	2.04	1.12	0.39	1.19	-0.16	-0.89	1.95	1.51	0.09	-0.38	-0.04	0.16

6. CONCLUSÕES GERAIS

1. Existe um padrão geral de diminuição de riqueza de cupins com o aumento da altitude, porém a diminuição ou não da riqueza de uma guilda específica depende das características próprias do local de estudo.
2. Os resultados sugerem que a topografia local é um fator muito importante na faixa de 1000 a 2000 m porque condiciona a classe de solo e vegetação, e por tanto a disponibilidade de nichos e guildas alimentares associados à oferta de recursos decorrentes as características próprias de cada pedoambiente. A alta abundância de húmívoros aos 2080 m nos campos de altitude brasileiros demonstram que até essa altitude, a temperatura não é um fator restritivo para essa guilda.
3. A acidez do solo representa uma redução da qualidade do recurso alimentar e de nidificação possivelmente levando a exclusão local de espécies por restrição de recurso limitante.
4. Os resultados da relação entre as características do solo com a riqueza de cupins podem ser extrapolados a outros ecossistemas já que a ampla variabilidade de classes de solos e topografia estudados, permitem predizer a riqueza de cupins de acordo as características físicas do ambiente.
5. Os resultados sugerem que os cupinzeiros de campos de altitude além de melhorar a fertilidade do solo, contribuem na maior estabilidade da matéria orgânica contribuindo assim para o estoque de carbono dentro dos campos de altitude estudados.