



ANTÔNIO CÉSAR MEDEIROS DE QUEIROZ

**FORMIGAS COMO INDICADORAS DE
IMPACTO E REABILITAÇÃO EM ÁREAS DE
MINERAÇÃO**

LAVRAS – MG

2013

ANTÔNIO CÉSAR MEDEIROS DE QUEIROZ

**FORMIGAS COMO INDICADORAS DE IMPACTO E REABILITAÇÃO
EM ÁREAS DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Carla Rodrigues Ribas

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Queiroz, Antônio César Medeiros de.

Formigas como indicadoras de impacto e reabilitação em áreas de mineração / Antônio César Medeiros de Queiroz. – Lavras : UFLA, 2013.

132 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Carla Rodrigues Ribas.

Bibliografia.

1. Comunidade de formigas. 2. Biodiversidade. 3. Quadrilátero Ferrífero. 4. Restauração ecológica. 5. Sazonalidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.5222

ANTÔNIO CÉSAR MEDEIROS DE QUEIROZ

**FORMIGAS COMO INDICADORAS DE IMPACTO E REABILITAÇÃO
EM ÁREAS DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2013

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

UFLA

Dr. Ricardo Idelfonso Campos

UFV

Dra. Carla Rodrigues Ribas
Orientadora

LAVRAS – MG

2013

À minha família e à Juliana

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Lavras – UFLA, à Pró-Reitoria de Pós-Graduação, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada da UFLA pelo apoio e aos professores e funcionários do Setor de Ecologia e Conservação da UFLA.

Agradeço aos funcionários da Vale S.A. Anderson Matos, Ramon Braga e Cássio Mendanha que nos ajudaram a executar este trabalho, pois sem eles esta etapa do projeto dificilmente estaria pronta.

Gostaria de agradecer à minha orientadora, a professora Carla Rodrigues Ribas, que me ajudou muito durante esses dois anos. Toda a justiça, sabedoria e conhecimento que ela transmite traduzem, realmente, o que é ser um orientador. Agradeço pela confiança e atenção em sempre buscar uma maneira pra me auxiliar quando precisei, me ajudando a ultrapassar muitas de minhas limitações. Muito obrigado.

Aos colegas de laboratório, que me acompanharam em eventos, reuniões, no campo... Aprendi muito com eles e espero que também tenha ajudado: Ananza Rabello, Chaim Lasmar, Danielle Braga, Elisângela Silva, Ernesto Cañedo Jr., Fernanda Tanure, Fernando Schmidt, Luana Zurlo, Rafael Cuissi, Tamara Moretti, Vinícius Yoshino e Bic-júniors.

Aos professores Ricardo Campos e Paulo Pompeu que aceitaram o convite para participarem da banca. Professores que deram valiosas contribuições ao trabalho e que com certeza elevaram o mesmo a outro patamar.

Aos amigos “montesclarenses”, aos meus colegas de turma da Ecologia Aplicada 2011/1, aos colegas da Ecologia da UFLA, aos ex-colegas da UNIMONTES e aos rolabosteiros. Pessoas com quem convivi (pessoal ou virtualmente) por mais tempo quando sai (ou não) do meu mundo (o Laboratório de Ecologia de Formigas), que me aturaram com bastante educação, me

ensinaram e que me estimularam com algumas discussões nos últimos 24 meses. É uma tarefa cruel listar a todos, mas gostaria que os que não estão aqui também se sentissem agradecidos: Ailton Rodrigues Jr., Camila Leal, Carlos Eduardo Freire Neto, Fernanda Costa, Filipe França, Frederico Neves, Graziella França, Igor Cantuária, Jhonathan Silva, Karla Leal, Lisiane Zanella, Lucas Del Bianco Faria, Luis Henrique Brito, M^a Luiza Maia, Matheus Souza, Paula Feracioli, Paulo Ricardo Siqueira, Patrícia Moreira, Rodrigo Braga, Ronara Ferreira, Sarah Freitas, Thalles Cantuária, Túlio Oliveira, Vanesca Korasaki, Victor Hugo Oliveira e Wilson Souza.

Agradeço à minha família, em especial, à minha querida mãe, M^a Suzana Medeiros, meu pai, Antônio Freire de Queiroz, minhas irmãs, M^a Clara Queiroz e M^a Fernanda Queiroz e minha tia, Efigênia de Oliveira que apesar da distância não saíram do meu lado em nenhum momento e me deixaram mais feliz quando eu estava em Montes Claros.

Por fim, agradeço à minha grande companheira, amiga e meu amor, Juliana Tuller, que sempre esteve ao meu lado nesta luta. Sem ela nada disso seria possível. Meu agradecimento e apreço são eternos. Também registro meus agradecimentos aos seus familiares que me receberam, mais algumas vezes, tão bem.

Esta dissertação faz parte do projeto “Biodiversidade e funções ecológicas de formigas – bioindicação de impactos ambientais e de recuperação de áreas degradadas” e conta com o financiamento da VALE/SA e FAPEMIG (CRA – 270/07 - “Biodiversidade e funções ecológicas de formigas – bioindicação de impactos ambientais e de recuperação de áreas degradadas”).

*E a minha terra
Fica na ponta dessa estrada
Numa picada vara o verde e leva lá
Não chega a ser um pontinho preto no mapa
Mas quando a gente se afasta
Coração pede para voltar*

Braúna

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da mineração e sazonalidade sobre a estrutura da comunidade de formigas e a eficácia de diferentes tipos de reabilitação pós-mineração utilizando formigas como bioindicadoras. Para tanto foram selecionadas áreas impactadas pela mineração, em reabilitação e controle em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Em cada ponto amostral foram instaladas armadilhas do tipo pitfall nos estratos hipogeico, epigeico e arborícola para captura de formigas e mensuradas as seguintes variáveis ambientais: riqueza, densidade, altura e circunferência à altura da base das plantas; estrutura da vegetação herbácea e arbustiva; peso e diversidade da serapilheira e cobertura do dossel. A atividade da mineração, realizada após supressão da vegetação, altera profundamente a estrutura do solo afetando a disponibilidade de alimento e sítios de nidificação para as formigas. A sazonalidade impõe a diminuição da disponibilidade de recursos para esses animais que diminuem sua atividade na época seca e muda as condições devido a alterações nos microhabitats. A riqueza e composição de espécies de formigas são afetadas pela atividade de mineração e se relacionam com as variáveis ambientais nas duas épocas. Estas relações proporcionam a estruturação de comunidades distintas e especializadas em cada estrato, ambiente (impactado, não impactado) e época, com maior riqueza de espécies nas áreas com maior quantidade e diversidade de recursos e melhores condições. As reabilitações mais antigas se aproximam em riqueza das áreas controle, mas a composição não. Desta forma, são pouco eficientes a curto e longo prazo se não forem implementadas próximas às áreas controle que servem como fontes de espécies. A utilização de capim braquiária ou capim gordura não pode ser indicada pelo fato de serem espécies exóticas e pouco eficazes. A reabilitação com espécies nativas é recomendada, pois mesmo com pouco tempo de existência e distância de áreas fonte apresentou composição próxima às áreas de referência. A maior eficiência da reabilitação sobre cava do que sobre a pilha de estéril também se deve a maior proximidade das áreas e, possivelmente, também a maior estabilização do solo. Assim, os impactos antrópicos alteram a estrutura das comunidades de formigas e as reabilitações, principalmente as com espécies exóticas, não são eficientes devido à distância das áreas fontes e ao tempo em que foram implementadas.

Palavras-chave: Comunidade de Formigas. Quadrilátero Ferrífero. Sazonalidade. Restauração ecológica. Biodiversidade. Recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of mining and seasonality on ant community structure and on the effectiveness of different post-mining rehabilitation techniques using ants as bioindicators. In this study, mining impacted areas, rehabilitation and control areas were selected in Nova Lima, Minas Gerais, Brazil. At each sampling point, we installed pitfall traps on hipogaeic, epigaeic and arboreal strata to capture ants and measured the following variables: plant richness, plant density, height and circumference at the base of plants, herbaceous and shrub vegetation structure, litter weight and diversity, and canopy cover. The mining activity is performed after the vegetation removal, alters profoundly the soil structure and affects the food and nesting resource availability for ants. Seasonality decreases resource availability for these animals that decrease their activity in dry season. The ant species richness and composition were affected by mining activity and were related to environmental variables, in both seasons. These relationships provide the structure of distinct communities and specialized in each stratum, habitat (impacted and not impacted) and season, with the highest species richness in areas with greater resource quantity and diversity and better conditions. The older rehabilitation areas present ant richness similar to reference areas, but not similar composition. Thus, they are inefficient in the short and long term if they are not implemented near control areas that serve as species sources. The use of *Brachiaria* spp. or *Melinis minutiflora* grasses cannot be recommended because they are exotic species and ineffective in rehabilitation. The rehabilitation with native species is recommended, since even an area with a short time of existence and distance of source areas showed the species composition close to reference areas. The greater efficiency of rehabilitation on mining site than on the sterile pile may be also due to areas proximity and, possibly, the highest soil stabilization. Thus anthropogenic impacts alter the ant community structure and the rehabilitation, especially with exotic species, are not efficient due to the distance from the source and the time they were implemented.

Keywords: Ant community. Iron Quadrangle. Seasonality. Restoration ecology. Biodiversity. Recovery of degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figura 1 Número de espécies de formigas por transecto nas áreas controle e em mineração em Nova Lima, MG, Brasil. A diferença entre as áreas e épocas foi significativa ($p = 0,0016$)..... 42
- Figura 2 Número de espécies de formigas em cada estrato por transecto nas áreas controle e em mineração em Nova Lima, MG, Brasil. A diferença entre as áreas e épocas foi significativa ($p = 0,0101$). Estrato arborícola das áreas controle na época chuvosa (ACC), arborícola das áreas controle na época seca (ACS), epigeico das áreas controle na época chuvosa (ECC), epigeico das áreas controle na época seca (ECS), epigeico das áreas em mineração na época chuvosa (EMC), epigeico das áreas em mineração na época seca (EMS), hipogeico das áreas controle na época chuvosa (HCC), hipogeico das áreas controle na época seca (HCS), hipogeico das áreas em mineração na época chuvosa (HMC) e hipogeico das áreas em mineração na época seca (HMS)..... 44
- Figura 3 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza total de formigas da época chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 5,23$; $z^{\text{Seca}} = 5,41$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 6,40$; $z^{\text{Seca}} = 5,87$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 7,96$; $z^{\text{Seca}} = 6,81$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,95$; $z^{\text{Seca}} = 0,50$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,47$; $z^{\text{Seca}} = 1,29$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,47$; $z^{\text{Seca}} = 1,26$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 12,54$; $z^{\text{Seca}} = 4,80$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 3,60$; $z^{\text{Seca}} = 1,61$)..... 47

Figura 4 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas arborícolas da época chuvosa (a) seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras na cor cinza representam efeitos não significativos ($p > 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,67$; $z^{\text{Seca}} = -0,71$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,53$; $z^{\text{Seca}} = 0,37$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,54$; $z^{\text{Seca}} = 0,60$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,23$; $z^{\text{Seca}} = 0,96$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,55$; $z^{\text{Seca}} = -0,45$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,84$; $z^{\text{Seca}} = -0,52$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,80$; $z^{\text{Seca}} = 1,35$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,49$; $z^{\text{Seca}} = -0,17$)..... 48

Figura 5 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas epigéicas da época chuvosa (a) seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 4,76$; $z^{\text{Seca}} = 2,12$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 5,24$; $z^{\text{Seca}} = 6,83$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 4,62$; $z^{\text{Seca}} = 6,19$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,58$; $z^{\text{Seca}} = 0,35$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,25$; $z^{\text{Seca}} = 1,31$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,04$; $z^{\text{Seca}} = 1,81$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 6,05$; $z^{\text{Seca}} = 2,93$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,96$; $z^{\text{Seca}} = 0,93$)..... 49

Figura 6	Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas hipogéicas da época chuvosa (a) seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,25$; $z^{\text{Seca}} = 3,49$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 3,95$; $z^{\text{Seca}} = 2,34$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,50$; $z^{\text{Seca}} = 2,10$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,95$; $z^{\text{Seca}} = -0,01$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,50$; $z^{\text{Seca}} = 0,48$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,27$; $z^{\text{Seca}} = 0,13$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 12,40$; $z^{\text{Seca}} = 4,21$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,32$; $z^{\text{Seca}} = 1,53$).....	50
----------	--	----

ARTIGO 2

Figura 1	Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa e seca com a riqueza total de espécies das comparações dos tempos das reabilitações e tipos de gramíneas exóticas utilizadas (a), da comparação entre reabilitações feitas com espécie exótica e espécies nativas (b) e a comparação reabilitações feitas com capim gordura em cava e sobre pilha estéril (c) com intervalos de confiança de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.....	85
Figura 2	Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) dos tempos de reabilitação e área de mata ciliar com intervalos de confiança de 95%. Reabilitação com 10 anos (Rec 10), reabilitação com 8 anos (Rec 8), reabilitação com 6 anos (Rec 6), reabilitação com 4 anos (Rec 4) e reabilitação com 2 anos (Rec 2) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.....	89
Figura 3	Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) das reabilitações revegetadas com os capins braquiária e gordura e áreas de mata ciliar com intervalos de confiança de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.....	92

- Figura 4 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas das comparações dos tempos das reabilitações e tipos de gramíneas exóticas utilizadas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: Cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,47$; $z^{\text{Seca}} = 5,21$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,98$; $z^{\text{Seca}} = 2,25$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,25$; $z^{\text{Seca}} = -0,15$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,86$; $z^{\text{Seca}} = 0,61$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,39$; $z^{\text{Seca}} = -0,20$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,04$; $z^{\text{Seca}} = -0,33$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 4,02$; $z^{\text{Seca}} = -0,69$)..... 95
- Figura 5 Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) das reabilitações revegetadas com espécies nativas e exóticas, áreas de campos sujo e canga com intervalos de confinça de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil..... 97
- Figura 6 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas das reabilitações revegetadas com espécies nativas e exóticas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: Riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,41$; $z^{\text{Seca}} = 0,16$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,81$; $z^{\text{Seca}} = 2,35$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,20$; $z^{\text{Seca}} = 0,53$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,02$; $z^{\text{Seca}} = 2,58$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,04$; $z^{\text{Seca}} = 0,41$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,03$; $z^{\text{Seca}} = 4,50$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,18$; $z^{\text{Seca}} = 0,01$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,79$; $z^{\text{Seca}} = -0,37$)..... 99

- Figura 7 Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) das reabilitações revegetadas com capim gordura sobre cava e pilha estéril, áreas de campos sujo e mata ciliar com intervalos de confinça de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil..... 102
- Figura 8 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas das reabilitações revegetadas com capim gordura sobre cava e pilha estéril nas épocas chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: Cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,80$; $z^{\text{Seca}} = 1,52$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,02$; $z^{\text{Seca}} = 1,69$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,49$; $z^{\text{Seca}} = 1,69$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 3,99$; $z^{\text{Seca}} = 4,21$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,34$; $z^{\text{Seca}} = 3,12$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,20$; $z^{\text{Seca}} = 0,56$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,16$; $z^{\text{Seca}} = -0,57$)..... 104

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Número de espécies de formigas, distribuídas por gênero, coletadas em campos ferruginosos (campos sujos e canga) e áreas impactadas pela mineração nas épocas chuvosa e seca.	40
Tabela 2	Média e desvio padrão das variáveis ambientais coletadas em áreas de campos ferruginosos (Controle) e áreas impactadas pela mineração em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Letras minúsculas diferentes representam diferença significativa entre as variáveis nas diferentes épocas.....	41
Tabela 3	Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e em mineração nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.....	43
Tabela 4	Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independentes da composição de espécies de formigas em áreas de campos ferruginosos (Controle) e áreas impactadas pela mineração em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil nas épocas chuvosa e seca.....	45
Tabela 5	Espécies de formigas em de áreas de campos ferruginosos, encontradas nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia. IndVal – valor de indicação. <i>p</i> – probabilidade, resultado do teste de permutação.	51
Tabela 6	Espécies de formigas em de áreas de campos ferruginosos, encontradas nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia. IndVal – valor de indicação. <i>p</i> – probabilidade, resultado do teste de permutação.	52

ARTIGO 2

Tabela 1	Comparações dos tipos de reabilitações utilizados em áreas pós-mineração na região de Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.....	77
Tabela 2	Número de espécies de formigas, distribuídas por gênero, coletadas em campos ferruginosos, mata ciliar e áreas em reabilitação pós-mineração nas épocas chuvosa (C) e seca (S), coletadas em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.....	86

Tabela 3	Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações com diferentes idades de recuperação nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.....	90
Tabela 4	Espécies de formigas indicadoras de áreas de mata e reabilitações com diferentes idades nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia ou reabilitação da espécie indicadora. IndVal – valor de indicação. <i>p</i> – probabilidade, resultado do teste de permutação.....	91
Tabela 5	Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações revegetadas com duas espécies de capins nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.....	95
Tabela 6	Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independente a composição de espécies de formigas das áreas controle e das comparações dos tempos das reabilitações e tipos de gramíneas exóticas utilizadas nas épocas chuvosa nas épocas chuvosa e seca.....	94
Tabela 7	Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independente a composição de espécies de formigas das áreas controle e das comparações dos tempos das reabilitações e tipos de gramíneas exóticas utilizadas nas épocas chuvosa nas épocas chuvosa e seca.....	96
Tabela 8	Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações revegetadas com espécie exótica e espécies nativas nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.....	98
Tabela 9	Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independente a composição de espécies de formigas das áreas controle e das reabilitações revegetadas com espécies nativas e exóticas nas épocas nas épocas chuvosa e seca.....	100

Tabela 10	Espécies de formigas indicadoras de áreas de campos ferruginosos e reabilitações feitas com espécies de nativas e um capim exótico nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia ou reabilitação da espécie indicadora. IndVal – valor de indicação. p – probabilidade, resultado do teste de permutação.....	101
Tabela 11	Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações revegetadas com capim gordura com objetivos distintos nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.....	103
Tabela 12	Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independente a composição de espécies de formigas das áreas controle e das reabilitações revegetadas com capim gordura sobre cava e pilha estéril nas nas épocas chuvosa e seca.....	105
Tabela 13	Espécies de formigas indicadoras de áreas de mata ciliar, campo sujo e reabilitações feitas com o capim gordura sobre cava e minério estéril nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia ou reabilitação da espécie indicadora. IndVal – valor de indicação. p – probabilidade, resultado do teste de permutação.....	106

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO GERAL..... 21
	REFERÊNCIAS..... 25
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS..... 29	
ARTIGO 1 COMO IMPACTO DA MINERAÇÃO E A SAZONALIDADE AFETAM A COMUNIDADE DE FORMIGAS?..... 30	
1	INTORDUÇÃO..... 33
2	MATERIAL E MÉTODOS..... 35
2.1	Área de estudo..... 35
2.2	Amostragem..... 35
2.3	Análise de dados..... 37
3	RESULTADOS..... 40
4	DISCUSSÃO..... 53
4.1	Efeitos da mineração na estrutura da comunidade de formigas. 53
4.2	Efeitos da sazonalidade na estrutura da comunidade de formigas 54
4.3	Respostas da comunidade de formigas às variáveis ambientais 57
4.4	Formigas em áreas de campos ferruginosos..... 60
5	CONCLUSÕES..... 62
5.1	Implicações práticas..... 62
	REFERÊNCIAS..... 64
ARTIGO 2 BIONDICAÇÃO POR FORMIGAS EM ÁREAS DE REABILITAÇÃO APÓS IMPACTOS DA MINERAÇÃO..... 72	
1	INTRODUÇÃO..... 75
2	MATERIAL E MÉTODOS..... 78
2.1	Área de estudo..... 78
2.2	Amostragem..... 79
2.3	Análise de dados..... 81
3	RESULTADOS..... 84
3.1	Comparação I – Tempo de reabilitação..... 88
3.2	Comparação II – Tipos de gramíneas exóticas utilizadas na reabilitação..... 92
3.3	Comparação III – Comparação entre reabilitações feitas com espécies exóticas e espécies nativas..... 96
3.4	Comparação IV – Comparação entre reabilitações feitas com capim gordura em cava e sobre pilha de estéril..... 101
4	DISCUSSÃO..... 108
4.1	Comparação – Tempo de reabilitação..... 109

4.2	Comparação II - Tipos de gramíneas exóticas utilizadas na reabilitação.....	111
4.3	Comparação III – Comparação entre reabilitações feitas com espécie exótica e espécies nativas.....	113
4.4	Comparação IV – Comparação entre reabilitações feitas com capim gordura em cava e sobre pilha de estéril.....	116
5	CONCLUSÕES.....	119
5.1	Implicações práticas.....	119
	REFERÊNCIAS.....	122
	CONCLUSÕES GERAIS.....	131

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO GERAL

As atividades antrópicas que geram impacto ambiental levam à perda de biodiversidade, alterações na estrutura e em processos do solo, mudanças no curso da sucessão vegetal e nas interações entre as espécies (GARDNER, 2010; LEWINSOHN; NOVOTNY; BASSET, 2005; MADEIRA et al., 2009). Por isso, são utilizadas formas de tentar contornar estes danos, tais como as técnicas de restauração ecológica. A restauração é uma das formas mais acessíveis para as comunidades locais serem envolvidas na conservação, mesmo considerando que restaurar as condições originais de um ecossistema seja difícil (HOBBS; NORTON 1996).

Uma das maneiras de avaliar os efeitos dos impactos ambientais e a eficiência da restauração ecológica para a biota é através da utilização de bioindicadores (MCGEOCH, 1998). Estes organismos podem dar um diagnóstico rápido e, na maioria das vezes, preciso sobre as condições do ambiente (NIEMI; MCDONALD, 2004). Nos últimos anos, os bioindicadores têm sido cada vez mais utilizados e aceitos na avaliação e no monitoramento ambiental devido aos bons resultados obtidos (GARDNER, 2010).

Os invertebrados são organismos ideais para serem utilizados como bioindicadores (BASSET et al., 1998), pois possuem alta abundância, diversidade, importância funcional, sensibilidade a perturbações e facilidade de amostragem (MCGEOCH, 1998). Somadas a tais características, as formigas são um grupo bastante utilizado como ferramenta na bioindicação devido a possuírem ainda alta especialização, ocuparem diversos níveis tróficos, serem responsáveis por variações nas condições ambientais, além de serem relativamente fáceis de identificar e terem baixo custo de amostragem (ANDERSEN et al., 2004; ANDERSEN; MAJER, 2004; MAJER, 1983; RIBAS et al., 2012a).

A eficácia do grupo Formicidae é comprovada através de diversos tipos de avaliações e monitoramento, tais como: distúrbios por fogo (ENDRINGER et al., 2008), agricultura (PHILPOTT; ARMBRECHT, 2006), impactos da pastagem e desmatamento (VASCONCELOS, 1999; VASCONCELOS; VILHENA; CALIRI, 2000), recuperação após atividades de extração de minérios (MAJER, 1996; OTTONETTI; TUCCI; SANTINI, 2006; RIBAS et al., 2012b), contaminação do solo por metais pesados (BARROS et al., 2010; RIBAS et al., 2012c), urbanização (DELABIE et al., 2006), dentre outros (PHILPOTT et al., 2010; RIBAS et al., 2012a).

A mineração, provavelmente, é a mais impactante das atividades antrópicas, pois resulta em grande alteração do hábitat. No Brasil, esta atividade existe desde os tempos de Brasil Colônia, principalmente através da exploração do ouro em Minas Gerais. Porém, somente a partir da década de 1930, já no século XX, com o advento da industrialização e investimento político do governo para exploração desses recursos, a mineração industrial cresceu e passou a focar em diversos tipos de recursos minerais como o petróleo e minério de ferro, por exemplo (MACHADO; FIGUEIRÔA, 2001).

A extração de minério de ferro se iniciou após o governo criar a Companhia Vale do Rio Doce. Esta foi instalada após os “Acordos de Washington”, em que ficou determinado que o Brasil exportaria minérios considerados estratégicos para a indústria bélica. Além disso, os maiores importadores destes minérios, inclusive o ferro, seriam os Estados Unidos e Reino Unido. Já em 1997, a companhia foi privatizada e iniciou a sua expansão, diversificou a quantidade de minérios explorados e se tornou uma grande transnacional presente em dezenas de países (MACHADO; FIGUEIRÔA, 2001). Hoje a Vale é considerada uma das maiores empresas do Brasil e do mundo.

Hoje, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de minério de ferro com a produção de 372 milhões de toneladas por ano, atrás apenas da China

(INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM, 2011), sendo a Vale a maior responsável por esta produção. Segundo estimativas do IBRAM (2011), a produção de minério de ferro no Brasil irá ultrapassar os 770 milhões de toneladas em 2015. No entanto, toda a exploração e seus impactos gerados devem ser reparados pelas empresas mineradoras, segundo a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988). As mesmas são responsáveis pela implementação de medidas mitigatórias de acordo com a legislação. Assim, com o avanço das atividades de mineração no Brasil, em especial a exploração de minério de ferro, tornam-se cada vez mais necessários estudos que abordem a biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas ricos em minerais para se mensurar as possíveis perdas de espécies e a também a eficácia das reparações feitas pelas empresas.

Os trabalhos que utilizam formigas como bioindicadoras em áreas de mineração buscam entender os efeitos do impacto e como ocorre o processo de restauração da comunidade de formigas nas áreas em reabilitação, principalmente com comparações entre áreas com diferentes idades de reabilitação (PHILPOTT et al., 2010) ou estudos que visam a resposta das comunidades à presença de metais pesados (HOFFMANN; GRIFFITHS; ANDERSEN, 2000). Esses trabalhos apresentam resultados que geralmente mostram uma relação positiva entre o tempo de reabilitação e o aumento da riqueza de espécies ou uma relação negativa frente a intensidade do impacto (ANDERSEN; HOFFMANN; SOMES, 2003; MAJER; BRENNAN; MOIR, 2007; MAJER et al., 1984) devido ao aumento e à diversificação da vegetação (MAJER et al., 1984).

Apesar de alguns destes trabalhos demonstrarem que a riqueza nas áreas em recuperação aumenta com o tempo, este fato nem sempre ocorre (RIBAS et al., 2012b). Já a composição pós-distúrbio quase sempre é diferente da composição pré-distúrbio porque a recuperação da antiga comunidade é muito

difícil de ocorrer. Um fator importante para o sucesso da recolonização da fauna de formigas em áreas de reabilitação é a necessidade de que haja uma proximidade destes locais com áreas nativas primárias (PHILPOTT et al., 2010).

No Brasil, o uso de formigas como bioindicadoras de recuperação após a extração de minerais já foi feito em áreas inseridas em vários domínios, como Amazônia (MAJER, 1996) e Mata Atlântica (MAJER, 1992; PEREIRA et al., 2007). No entanto, apesar do histórico e da constante expansão dessas práticas extrativistas no estado de Minas Gerais, estes trabalhos ainda não abrangeram algumas importantes fitofisionomias do Cerrado, como os campos rupestres e cangas, ricas em minério de ferro (VIANA-SILVA; JACOBI, 2012). Assim, pouco se sabe sobre a resposta da fauna ao impacto da mineração e à eficiência das técnicas de restauração utilizadas nestes ambientes e é necessário entender a resposta dessas comunidades para que haja a criação de estratégias de reabilitação, conservação e manejo adequadas.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, A. N. et al. Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australian rangelands, with particular reference to ants. **Austral Ecology**, Carlton, v. 29, n. 1, p. 87-92, Feb. 2004.
- ANDERSEN, A. N.; HOFFMANN, B. D.; SOMES, J. Ants as indicators of minesite restoration: community recovery at one of eight rehabilitation sites in central Queensland. **Ecological Management & Restoration**, Carlton, v. 4, n. 1, p. 12-19, Feb. 2003. Supplement.
- ANDERSEN, A. N.; MAJER, J. D. Ants show the way down under: invertebrates as bioindicators in land management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, New York, v. 2, n. 6, p. 291-298, Aug. 2004.
- BARROS, Y. J. et al. Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: II., mesofauna e plantas (1). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1413-1426, jul./ago. 2010.
- BASSET, Y. et al. Assessing the impact of forest disturbance on tropical invertebrates: some comments. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 35, n. 3, p. 461-466, June 1998.
- BRASIL. Presidência da República. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- DELABIE, J. H. et al. As formigas como indicadores biológicos do impacto humano em Manguezais da costa sudeste da Bahia. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, n. 5, p. 602-615, out. 2006.
- ENDRINGER, F. B. et al. Ant species richness in sand dune environments following burning (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, Chicago, v. 51, n. 2, p. 415-424, 2008.
- GARDNER, T. A. **Monitoring forest biodiversity: improving conservation through ecologically-responsible management**. London: Earthscan, 2010. 360 p.

HOBBS, R. J.; NORTON, D. A. Towards a conceptual framework for restoration ecology. **Restoration Ecology**, Washington, v. 4, n. 2, p. 93-110, June 1996.

HOFFMANN, B. D.; GRIFFITHS, A. D.; ANDERSEN, A. N. Responses of ant communities to dry sulfur deposition from mining emissions in semi-arid tropical Australia, with implications for the use of functional groups. **Austral Ecology**, Carlton, v. 25, n. 6, p. 653-663, Dec. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Ferro. In: _____. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 6. ed. Brasília, 2011. p. 14-15.

LEWINSOHN, T. M.; NOVOTNY, V.; BASSET, Y. Insects on plants: diversity of herbivore assemblages revisited. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 36, n. 1, p. 597-620, Sept. 2005.

MACHADO, I. F.; FIGUEIRÔA, S. F. M. 500 years of mining in Brazil: a brief review. **Resources Policy**, Houghton, v. 27, n. 1, p. 9-24, Mar. 2001.

MADEIRA, B. G. et al. Changes in tree and liana communities along a successional gradient in a tropical dry forest in south-eastern Brazil. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 201, n. 1, p. 291-304, Mar. 2009.

MAJER, J. D. Ant recolonisation of rehabilitated bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 8, n. 1, p. 97-108, Feb. 1992.

_____. Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines at Trombetas, Pará, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 12, n. 2, p. 257-273, Mar. 1996.

_____. Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. **Environmental Management**, New York, v. 7, n. 4, p. 375-383, July 1983.

MAJER, J. D.; BRENNAN, K. E. C.; MOIR, M. L. Invertebrates and the restoration of a forest ecosystem: 30 years of research following bauxite mining in western Australia. **Restoration Ecology**, Washington, v. 15, n. 4, p. 104-115, Dec. 2007. Supplement.

MAJER, J. D. et al. Recolonization by ants in bauxite mines rehabilitated by a number of different methods. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 21, n. 1, p. 355-375, Apr. 1984.

MCGEOCH, M. A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 73, n. 1, p. 181-201, Feb. 1998.

NIEMI, G. J.; MCDONALD, M. E. Application of ecological indicators. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 35, n. 1, p. 89-111, June 2004.

OTTONETTI, L.; TUCCI, L.; SANTINI, G. Recolonization patterns of ants in a rehabilitated lignite mine in central Italy: potential for the use of Mediterranean ants as indicators of restoration processes. **Restoration Ecology**, Washington, v. 14, n. 1, p. 60-66, Mar. 2006.

PEREIRA, M. P. S. et al. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 197-204, jul. 2007.

PHILPOTT, S. M.; ARMBRECHT, I. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. **Ecological Entomology**, Saint Albans, v. 31, n. 4, p. 369-377, Dec. 2006.

PHILPOTT, S. M. et al. Ant diversity and function in disturbed and changing habitats. In: LACH, L.; PARR, C. L.; ABBOTT, K. L. (Ed.). **Ant ecology**. Oxford: Oxford University, 2010. p. 137-156.

RIBAS, C. R. et al. Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche**, Cambridge, v. 2012, p. 1-23, 2012a. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/psyche/2012/636749/>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

_____. Ants as indicators of the success of rehabilitation efforts in deposits of gold mining tailings. **Restoration Ecology**, Washington, v. 20, n. 6, p. 712-720, Nov. 2012b.

_____. Can ants be used as indicators of environmental impacts caused by arsenic? **Journal of Insect Conservation**, London, v. 16, n. 4, p. 413-421, June 2012c.

VASCONCELOS, H. L. Effects of forest disturbance on the structure of ground-foraging ant communities in central Amazonia. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 8, n. 3, p. 409-420, Mar. 1999.

VASCONCELOS, H. L.; VILHENA, J. M. S.; CALIRI, G. J. A. Responses of ants to selective logging of a central Amazonian forest. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 37, n. 3, p. 508-514, June 2000.

VIANA-SILVA, F. E. C.; JACOBI, C. M. Myrmecofauna of ironstone outcrops: composition and diversity. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 41, n. 4, p. 263-271, Aug. 2012.

SEGUNDA PARTE
ARTIGOS

ARTIGO 1

**COMO IMPACTO DA MINERAÇÃO E A SAZONALIDADE AFETAM A
COMUNIDADE DE FORMIGAS?**

RESUMO

Nós avaliamos o efeito da mineração e sazonalidade sobre a riqueza e composição de formigas, a relação destes componentes de diversidade com variáveis ambientais (condições e recursos), e também se haviam formigas indicadoras em áreas de campos ferruginosos (campos sujos e canga) e impactadas pela mineração localizadas em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Em cada ponto amostral (108 ao todo) nós instalamos armadilhas do tipo pitfall nos estratos hipogeico, epigeico e arbóricola para captura de formigas e mensuramos as seguintes variáveis ambientais: riqueza, densidade, altura e circunferência à altura da base das plantas; estrutura da vegetação herbácea e arbustiva; peso e diversidade da serapilheira e cobertura do dossel. Nós coletamos 90 espécies de formigas. A riqueza é afetada negativamente pela mineração e sazonalidade que também alteram a composição de espécies. Essas medidas de diversidade se relacionam com as variáveis ambientais nas duas épocas devido à maior quantidade e diversidade de recursos e melhores condições nas áreas preservadas e na época chuvosa. A maioria das espécies encontradas com frequência nas áreas é comum em formações abertas e outras áreas de Cerrado. As áreas em mineração não apresentaram espécies específicas, mas nelas há a presença de espécies típicas de áreas perturbadas como *Dorymyrmex brunneus* e *Solenopsis invicta*. Assim, vimos que o impacto da mineração e a sazonalidade afetam a estrutura da comunidade de formigas e que esta também é fortemente relacionada com a estrutura do hábitat.

Palavras-chave: Comunidade de Formigas. Quadrilátero Ferrífero. Brasil, Composição de species. Riqueza de species. Mineradoras. Sazonalidade. Mineração de ferro.

ABSTRACT

(How the Impact of Mining and Seasonality Affect Ant Communities?)
We evaluated the effect of seasonality and mining on ant richness and composition and, the relationship of these diversity components with environmental variables (conditions and resources), and also if there are indicator ants in ferruginous field areas (“campo sujo” and “canga”) and in impacted mining areas located in Nova Lima, Minas Gerais, Brazil. At each sample point (108 in total), we installed pitfall traps on hipogaeic, epigaeic and arboreal strata to capture ants and measured the following variables: plant richness, plant density, height and circumference at the base of plants, herbaceous and shrubby vegetation structure, litter weight and diversity, and canopy cover. We collected 90 species of ants. The ant richness is negatively affected by mining and seasonality that also alter species composition. These diversity measures are related to environmental variables in the two seasons due to a greater quantity and quality of resources and better preserved areas in rainy seasons. Most species are frequently found in other Cerrado areas and open habitats. In mining areas we do not found species specific, but in them there is the presence of species typical of disturbed areas as *Dorymyrmex brunneus* and *Solenopsis invicta*. Thus, we see that the impact of mining and seasonality affect the structure of the ant communities that are also strongly related to the structure of the habitat.

Keywords: Ant community. Iron Quadrangle. Brazil. Species composition. Species richness. Mining companies. Seasonality, Iron mining.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das atividades antrópicas desenvolvidas na região tropical leva a oposição entre o desenvolvimento econômico e a conservação biológica (Martins et al. 2007). Essa incongruência pode levar a danos dificilmente reparáveis ao ambiente, como perda de espécies e serviços ecológicos por elas prestados (Chapin et al. 2000, Tschamtkke et al. 2012). Assim, estudos de ecologia de comunidades e ecossistemas são cada vez mais importantes para servir de base para políticas de tomada de decisão no âmbito do manejo ambiental.

Dentre estes estudos, a bioindicação pode ser usada como ferramenta de monitoramento ambiental tanto para conhecimento dos padrões e processos ecológicos quanto para análise do impacto ou eficiência na recuperação de áreas degradadas, ao abordar as respostas da biota (McGeoch 1998, Gardner 2010). As formigas são insetos sensíveis a mudanças ambientais e consideradas como um bom grupo bioindicador por apresentarem características fundamentais para a eficácia deste tipo de trabalho, tais como: alta diversidade, ampla distribuição, importância no desempenho de funções ecológicas, fácil e barata amostragem e taxonomia relativamente conhecida (Majer 1983, Ribas et al. 2012a). Além disso, o sucesso do grupo é reportado em estudos de indicação que avaliam as respostas das comunidades de formigas a: efeitos de tipos de uso do solo (Schmidt & Diehl 2008; Braga et al. 2010), contaminação por metais pesados (Ribas et al. 2012b), sucessão secundária (Schmidt et al. 2013) e recuperação de áreas degradadas (Majer & Nichols 1998, Ribas et al. 2012c).

No Brasil, as áreas ricas em minério de ferro possuem alta concentração de grandes empresas mineradoras. Porém, estas áreas também são consideradas de grande importância para a conservação, pois possuem grande número de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Drummond et al. 2005). Além

disso, é sabido que a mineração industrial leva a mudanças nas comunidades com grande perda de espécies (Majer 1983, 1992, 1996), mas além desta perda outro problema decorrente deste impacto é a perda de espécies com biologia pouco conhecida (Jacobi et al. 2007). Assim, a falta de estudos também representa falta de subsídios para a conservação.

A sazonalidade também é um fator que pode ser considerado uma perturbação natural em comunidades tropicais, pois pode levar a mudanças na estrutura do hábitat (Pennington et al. 2000, Oliveira-Filho & Ratter 2002). Devido a estas mudanças, as espécies podem responder negativamente aos efeitos da sazonalidade, que nos trópicos é uma perturbação periódica, devido à diminuição de recursos na época seca, menos favorável a elas (Janzen 1984). Na época seca, por exemplo, as plantas podem perder folhas, as sementes podem se manter dormentes (Franco 2002) enquanto os animais podem diminuir sua atividade economizando energia (Wolda 1978); em nível de comunidade esse evento pode levar à diminuição da riqueza de espécies capturadas.

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da mineração e da sazonalidade sobre a comunidade de formigas. Para isso, testamos as seguintes hipóteses (para a riqueza e composição por estrato e total de formigas): i) o impacto da mineração e a sazonalidade diminuem o número de espécies e alteram a composição de espécies de formigas; ii) as estimativas de recursos e condições para as formigas afetam a riqueza e composição de espécies de maneiras distintas nas duas épocas; iii) existem espécies de áreas impactadas e conservadas que são específicas dos hábitats coletados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Nosso estudo foi realizado em duas épocas (épocas chuvosa e seca), nos meses de fevereiro/março e julho de 2012, respectivamente, em duas unidades de mineração de ferro da empresa Vale S.A.: *Mina do Tamanduá* (20°5'17" S e 43°56'27" W) e *Mina Capão Xavier* (20°2'47" S e 43°58'59" W) localizadas na cidade de Nova Lima, Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Sudeste do Brasil. As unidades, além de possuírem áreas em mineração, também possuem áreas de preservação permanente (controle) em seu entorno. A altitude média das áreas de coleta é de 1400 m. O clima local apresenta invernos secos, de abril a setembro, e verões chuvosos, de outubro a março.

Nas áreas de preservação permanente há ocorrência de campos ferruginosos compostos por formações savânicas, campos sujos, e campos rupestres sobre canga, todos inseridos na transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Localizados acima de 900 m de altitude, os campos ferruginosos possuem formações predominantemente herbáceo-arbustivas associadas a afloramentos rochosos ricos em hematita (Rizzini 1997).

2.2 Amostragem

Nós demarcamos 11 transectos e em cada transecto foram coletadas variáveis em 10 pontos amostrais (110 pontos no total) com distância mínima de 20 m entre eles. Seis transectos (60 pontos) foram demarcados em áreas em mineração, três (30 pontos) em cada mina e cinco transectos (50 pontos) em áreas controle, três (30 pontos) na *Mina do Tamanduá* e dois (20 pontos) na *Mina Capão Xavier*. Nesta última, em apenas um transecto o número de pontos

amostrais foi menor (oito) devido ao reduzido tamanho da área. Este também foi o único transecto amostrado na formação canga; os demais transectos das áreas controle pertencem à formação campo sujo. Assim o número final de pontos amostrais foi 108.

A fim de amostrar o maior número possível de segmentos da comunidade de formigas, em cada ponto nós instalamos armadilhas do tipo *pitfall* sem iscas em três estratos: arborícola, epigeico e hipogeico (Ribas et al. 2003, Bestelmeyer et al. 2000, Schmidt & Solar 2010), que permaneceram em campo durante 48 horas. Em seguida, fizemos a identificação dos gêneros de formigas, com auxílio de chaves de identificação (Bolton 1994; Palacio & Fernández 2003) e a morfoespeciação para calcular a riqueza e composição de espécies presente em cada armadilha. Exemplares de cada morfoespécie foram depositados na coleção do Laboratório de Ecologia de Formigas da Universidade Federal de Lavras - UFLA.

Para a determinação das variáveis ambientais, demarcamos quadrantes de 6x6 m, considerados como pontos amostrais, onde mensuramos as seguintes variáveis: riqueza (RPL), densidade (DPL), altura (APL) e circunferência à altura da base (CPL) das plantas; estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA); peso (PSE) e diversidade da serapilheira (DSE) e abertura do dossel (ADO). Estas variáveis (e.g. estrutura, heterogeneidade do hábitat, disponibilidade de recursos e variação microclimática) representam condições e recursos para as formigas (Fonseca & Benson 2003, Armbrecht et al. 2004, Muscardi et al. 2008, Wielgoss et al. 2010).

Nós morfoespeciamos e contamos todas as plantas do quadrante para o cálculo da riqueza e densidade de plantas. Além disso, nós estimamos as alturas e mensuramos a circunferência à altura da base dessas mesmas árvores. Para as análises utilizamos os valores médios por ponto para as variáveis altura e circunferência à altura da base. Foram consideradas todas as plantas que

apresentavam circunferência à altura da base mínima de 5 cm medida a 30 cm de altura do solo.

Para mensurarmos a densidade da vegetação herbácea e arbustiva, nós fotografamos sistematicamente quatro locais em torno do ponto amostral em quatro direções distintas. As fotografias foram tiradas com um anteparo de fundo branco de 100x100 cm, a uma distância de três metros do pano de fundo e a um metro de altura do solo (Nobis 2005). Em seguida, calculamos a densidade da vegetação herbácea e arbustiva utilizando a opção de “Análise Global” do software SideLook (Nobis 2005) com a porcentagens de pixels negros presentes na imagem.

Para mensurarmos a diversidade de conteúdos da serapilheira, nós coletamos uma amostra no interior de um quadrado de 25x25 cm, contamos os itens presentes (e.g. folhas, troncos, sementes, flores etc.) na mesma e calculamos a heterogeneidade através do índice de Shannon (Paolucci et al. *em preparação*). Após este procedimento, nós levamos a serapilheira à estufa por 96 h para obtenção do peso seco com o auxílio de uma balança de precisão.

Para calcular a abertura do dossel, obtivemos uma fotografia digital hemisférica do dossel com o auxílio de uma câmera fotográfica com uma lente olho-de-peixe 0,20x acoplada. A câmera foi posicionada a 1,5 m de altura do solo ao centro do ponto amostral. Com essas fotografias é possível calcular, de forma indireta, a cobertura do dossel (Engelbrecht & Herz 2001). Analisamos as fotografias através do software Gap Light Analyser 2.0 (GLA), o qual fornece a porcentagem da abertura do dossel (Frazer et al. 1999).

2.3 Análise dos dados

Para identificar os efeitos da mineração e sazonalidade na riqueza de formigas nós construímos modelos lineares generalizados de efeitos mistos

(GLMM). Estes modelos são utilizados para dados que possuem dependência temporal entre as coletas (Zuur et al. 2009). Nós realizamos análises com a riqueza total de espécies coletadas e com a riqueza de espécies de cada estrato separadamente. Nos modelos, a riqueza de formigas foi utilizada como variável resposta (y) e as áreas nas diferentes épocas foram utilizadas como variáveis explicativas (x) de efeitos fixos e aleatórios. Todas as variáveis foram analisadas na escala transecto. Os modelos foram construídos com distribuição de erros Poisson para dados de contagem (Crawley 2007). A análise de dados foi feita com o pacote lme4, do software R 2.14 (R Development Core Team 2011).

Para verificar se a composição de espécies (total e dos estratos separadamente) foi afetada pela mineração e pela sazonalidade, nós realizamos análises de similaridade (ANOSIM) usando o índice de similaridade de Jaccard, o qual é adequado para matrizes de presença e ausência, no software PAST (Hammer et al. 2001).

Utilizamos a partição hierárquica para avaliar os efeitos independentes das oito variáveis ambientais na riqueza de espécies de formigas, (total e para cada estrato separadamente) nas duas épocas. A partição hierárquica é uma técnica de regressão múltipla na qual todos os modelos lineares possíveis são considerados de forma conjunta para identificar os principais fatores que efetivamente influenciam a variável resposta (Chevan & Sutherland 1991; MacNally 2000). O modelo foi criado com a distribuição de erros Poisson, adequada para dados de contagem. A significância dos efeitos independentes foi obtida através da randomização com 500 aleatorizações (MacNally 2000). A análise de dados foi feita com o pacote hier.part, do software R 2.14 (R Development Core Team 2011).

A fim de identificar relações entre as variáveis ambientais e a composição de espécies, nós realizamos duas análises multivariadas baseadas em distância para um modelo linear (DISTLM), uma para a época chuvosa e

uma para a época seca, utilizando a composição total de espécies. Estas análises foram realizadas com o software Primer 6 e Permanova + (Anderson et al. 2008).

Nós também realizamos o teste IndVal (Indicator Species Analyses) para apontar possíveis espécies indicadoras, a partir de seu valor de indicação (Dufrene & Legendre 1997), para cada área em cada época. Nestes testes separamos as áreas em três categorias: áreas em mineração (6), áreas de campo sujo (4) e de canga (1). As significâncias foram obtidas pelo teste de Monte Carlo com 4999 randomizações. Nós realizamos os testes com o auxílio do software PC-ORD 5.1 (McCune & Mefford 2006).

3 RESULTADOS

Neste estudo nós coletamos 90 espécies de formigas pertencentes a 24 gêneros de sete subfamílias, sendo 70 espécies na época chuvosa e 51 na seca. As subfamílias mais comuns foram Myrmicinae com 44 espécies, Formicinae com 26 e Dolichoderinae com cinco. Os gêneros com o maior número de espécies foram *Pheidole* com 16 espécies, *Camponotus* com 11 e *Brachymyrmex* com nove (Tabela 1).

Tabela 1 Número de espécies de formigas, distribuídas por gênero, coletadas em campos ferruginosos (campos sujos e canga) e áreas impactadas pela mineração nas épocas chuvosa e seca.

“Tabela 1, conclusão”

<i>Gêneros</i>	<i>Controle</i>		<i>Mineração</i>	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
<i>Trachymyrmex</i>		1		
<i>Acromyrmex</i>	4	1	2	
<i>Wasmannia</i>	3			
<i>Brachymyrmex</i>	6	6	1	1
<i>Camponotus</i>	68	47	8	10
<i>Cardiocondyla</i>		1		
<i>Carebara</i>	1			
<i>Cephalotes</i>	2	2		
<i>Crematogaster</i>	4	2		
<i>Cyphomyrmex</i>	2			
<i>Dorymyrmex</i>			1	1
<i>Ectatomma</i>	1	1		
<i>Gnamptogenys</i>	2	1		
<i>Labidus</i>	3			
<i>Linepithema</i>	3	4		1
<i>Myrmelachista</i>	3	1		
<i>Neivamyrmex</i>		1		
<i>Nesomyrmex</i>	1			
<i>Nylanderia</i>	1	1		2
<i>Odontomachus</i>	1			
<i>Pachycondyla</i>	3			
<i>Pheidole</i>	11	13		1
<i>Pseudomyrmex</i>	2	3		

Em todos os casos, as variáveis ambientais mensuradas apresentaram diferença entre as áreas controle e em mineração ($p < 0,05$) (Tabela 2). Dentre as variáveis que foram mensuradas nas duas épocas, todas apresentaram variação sazonal ($p < 0,05$). Nas áreas controle, a abertura de dossel e a estrutura da vegetação herbácea e arbustiva foram maiores na época seca enquanto o peso e a diversidade de serapilheira foram maiores na época chuvosa. Nas áreas em mineração não houve variação sazonal entre as variáveis (Tabela 2).

Tabela 2 Média e desvio padrão das variáveis ambientais coletadas em áreas de campos ferruginosos (Controle) e áreas impactadas pela mineração em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Letras minúsculas diferentes representam diferença significativa entre as variáveis nas diferentes épocas.

Variável	Controle		Mineração	
	Chuvosa (Média ± DP)	Seca (Média ± DP)	Chuvosa (Média ± DP)	Seca (Média ± DP)
RPL	1,8 ± 0,5 a	1,8 ± 0,5 a	0,0 ± 0,0 b	0,0 ± 0,0 b
DPL	0,1 ± 0,1 a	0,1 ± 0,1 a	0,0 ± 0,0 b	0,0 ± 0,0 b
APL	1,5 ± 0,5 a	1,5 ± 0,5 a	0,0 ± 0,0 b	0,0 ± 0,0 b
CPL	12,6 ± 2,8 a	12,6 ± 2,8 a	0,0 ± 0,0 b	0,0 ± 0,0 b
EHA	17,1 ± 5,9 a	20,1 ± 5,2 b	0,0 ± 0,0 c	0,0 ± 0,0 c
DSE	1,1 ± 0,1 a	0,9 ± 0,3 b	0,0 ± 0,0 c	0,0 ± 0,0 c
PSE	31,3 ± 5,5 a	21,4 ± 12,9 b	0,0 ± 0,0 c	0,0 ± 0,0 c
ADO	86,5 ± 8,4 a	90,6 ± 4,2 b	100,0 ± 0,0 c	100,0 ± 0,0 c

Riqueza de plantas (RPL), densidade de plantas (DPL), altura de plantas (APL), cab de plantas (CPL), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA), diversidade da serapilheira (DSE), peso da serapilheira (PSE) e abertura de dossel (ADO).

Houve diferença na riqueza total de espécies entre áreas e épocas ($p = 0,0016$; Figura 1). Tanto na época chuvosa quanto na época seca, a riqueza de espécies foi maior nas áreas controle que nas áreas em mineração. Nas áreas controle, a riqueza de formigas foi maior durante a época chuvosa, porém, nas áreas em mineração, essa riqueza não é afetada pela sazonalidade.

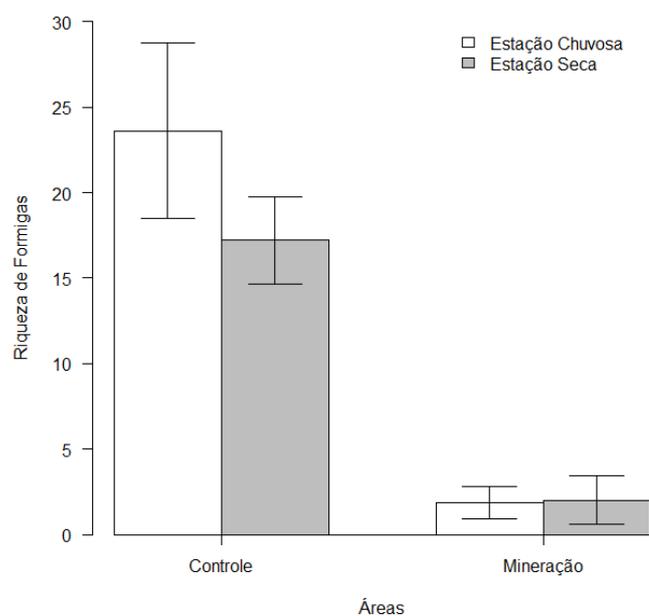


Figura 1 Número de espécies de formigas por transecto nas áreas controle e em mineração em Nova Lima, MG, Brasil. A diferença entre as áreas e épocas foi significativa ($p = 0,0016$).

Nós também encontramos diferenças significativas na composição de espécies entre áreas e épocas (ANOSIM: $R = 0,1136$; $p < 0,0001$). A composição de espécies da área controle durante a época chuvosa foi diferente da composição encontrada na época seca. No entanto, assim como a riqueza de espécies, a composição das áreas em mineração também não foi afetada pela sazonalidade (Tabela 3).

Tabela 3 Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e em mineração nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.

	Controle Chuvosa	Controle Seca	Mineração Chuvosa
Controle Seca	0,045 (**)		
Mineração Chuvosa	0,283 (**)	0,150 (**)	
Mineração Seca	0,226 (**)	0,104 (*)	-0,016 (-)

Valores de p: (-) não significativos; (*) $p < 0,05$; e (**) $p < 0,01$.

Houve diferença na riqueza de espécies dos estratos entre áreas e épocas ($p = 0,0101$; Figura 2). Em ambas as épocas, a riqueza de espécies dos estratos epigeico e hipogeico foram maiores nas áreas controle do que nas áreas em mineração. As formigas arborícolas foram coletadas somente nas áreas controle, pois não existe vegetação nas áreas em mineração. Nas áreas controle, a riqueza dos estratos arborícola e epigeico foram menores na época seca, enquanto o estrato hipogeico não apresentou variação sazonal da riqueza. Nas áreas em mineração, a riqueza de espécies do estrato epigeico não apresentou variação sazonal, mas o estrato hipogeico só apresentou espécies na época seca. A maior riqueza foi encontrada no estrato epigeico, seguido pelos estratos hipogeico e arborícola, respectivamente, durante a época chuvosa. Já na época seca, não houve diferença entre a riqueza de espécies dos estratos epigeico e hipogeico e a menor riqueza foi encontrada no estrato arborícola. O estrato epigeico é mais rico em espécies nas áreas em mineração na época chuvosa, mas não é diferente do estrato hipogeico na época seca.

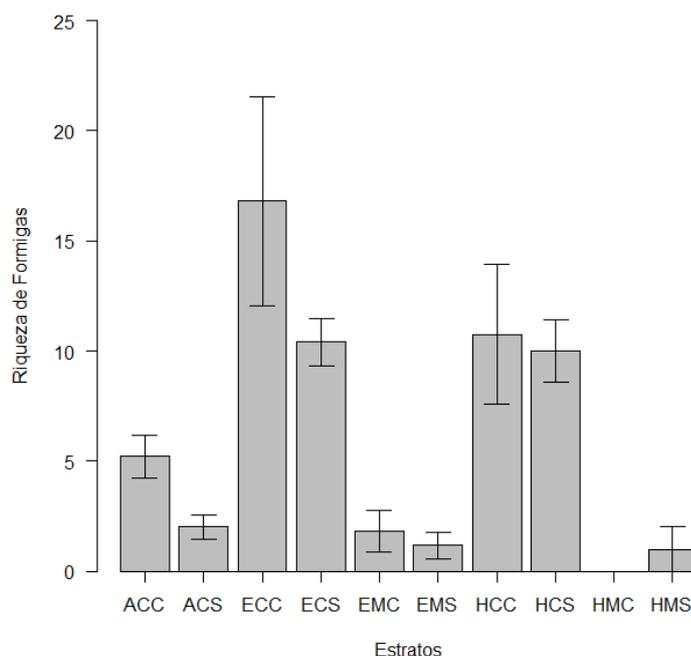


Figura 2 Número de espécies de formigas em cada estrato por transecto nas áreas controle e em mineração em Nova Lima, MG, Brasil. A diferença entre as áreas e épocas foi significativa ($p = 0,0101$). Estrato arborícola das áreas controle na época chuvosa (ACC), arborícola das áreas controle na época seca (ACS), epigeico das áreas controle na época chuvosa (ECC), epigeico das áreas controle na época seca (ECS), epigeico das áreas em mineração na época chuvosa (EMC), epigeico das áreas em mineração na época seca (EMS), hipogeico das áreas controle na época chuvosa (HCC), hipogeico das áreas controle na época seca (HCS), hipogeico das áreas em mineração na época chuvosa (HMC) e hipogeico das áreas em mineração na época seca (HMS).

Nós encontramos diferença significativa da composição de espécies dos estratos entre áreas e épocas (ANOSIM: $R = 0,09$; $p < 0,0001$). A composição de espécies de todos os estratos nas duas áreas foi diferente durante a época chuvosa. Porém, na época seca, a composição de espécies dos estratos arborícola

e epigeico das áreas controle não apresentou diferença. Nós também não encontramos variações sazonais da composição de espécies para os estratos hipogeico das áreas controle e epigeico das áreas em mineração (Tabela 4).

Tabela 4 Dissimilaridade entre grupos (valores de R), para formigas de todos os estratos, em áreas controle e mineração nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos. Os grupos são formados pela composição de espécies dos diferentes estratos em cada época.

	ACC	ACS	ECC	ECS	HCC	HCS	EMC
ACS	0,110 (**)						
ECC	0,115 (**)	0,190 (**)					
ECS	0,060 (**)	0,013 (-)	0,025 (-)				
HCC	0,133 (**)	0,157 (**)	0,070 (**)	0,085 (**)			
HCS	0,125 (**)	0,126 (**)	0,091 (**)	0,044 (*)	-0,001 (-)		
EMC	0,130 (**)	0,136 (**)	0,165 (**)	0,089 (**)	0,155 (**)	0,129 (**)	
EMS	0,104 (*)	0,088 (-)	0,174 (**)	0,068 (*)	0,154 (**)	0,099 (*)	0,001 (-)

Valores de p: (-) não significativos; (*) $p < 0,05$; e (**) $p < 0,01$. Estrato arborícola das áreas controle na época chuvosa (ACC), arborícola das áreas controle na época seca (ACS), epigeico das áreas controle na época chuvosa (ECC), epigeico das áreas em mineração na época chuvosa (EMC), epigeico das áreas controle na época seca (ECS), epigeico das áreas em mineração na época seca (EMS), hipogeico das áreas controle na época chuvosa (HCC) e hipogeico das áreas controle na época seca (HCS).

Na análise de partição hierárquica da época chuvosa, com a utilização da riqueza total, todas as variáveis, com exceção da estrutura EHA, afetaram a riqueza de formigas. Dentre as relações significativas, somente ADO afetou a riqueza negativamente; as outras variáveis afetaram a riqueza positivamente (Figura 3a). Na época seca, as variáveis que afetaram a riqueza de formigas significativa e positivamente foram RPL, CPL, APL e DSE (Figura 3b). Já nas análises de partição por estrato, as formigas arborícolas não são afetadas significativamente pelas variáveis ambientais mensuradas em nenhuma das

épocas (Figura 4a e b). Na época chuvosa, as variáveis RPL, CPL, APL, DSE e PSE afetaram positivamente a riqueza de formigas epigeicas (Figura 5a). As formigas epigeicas, durante a época seca, são afetadas significativa e positivamente pelas variáveis: RPL, CPL, APL, EHA e DSE (Figura 5b). Por fim, durante a época chuvosa, as formigas hipogéicas são afetadas significativa e positivamente por CPL, APL e DSE (Figura 6a). Porém, na época seca, as espécies deste estrato são afetadas por RPL, CPL, APL e DSE (Figura 6b).

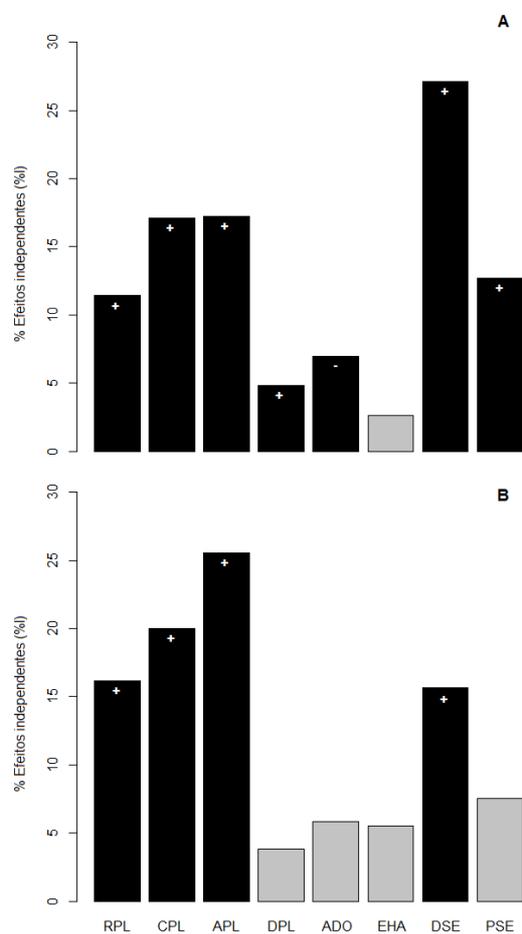


Figura 3 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza total de formigas da época chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 5,23$; $z^{\text{Seca}} = 5,41$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 6,40$; $z^{\text{Seca}} = 5,87$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 7,96$; $z^{\text{Seca}} = 6,81$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,95$; $z^{\text{Seca}} = 0,50$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,47$; $z^{\text{Seca}} = 1,29$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,47$; $z^{\text{Seca}} = 1,26$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 12,54$; $z^{\text{Seca}} = 4,80$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 3,60$; $z^{\text{Seca}} = 1,61$).

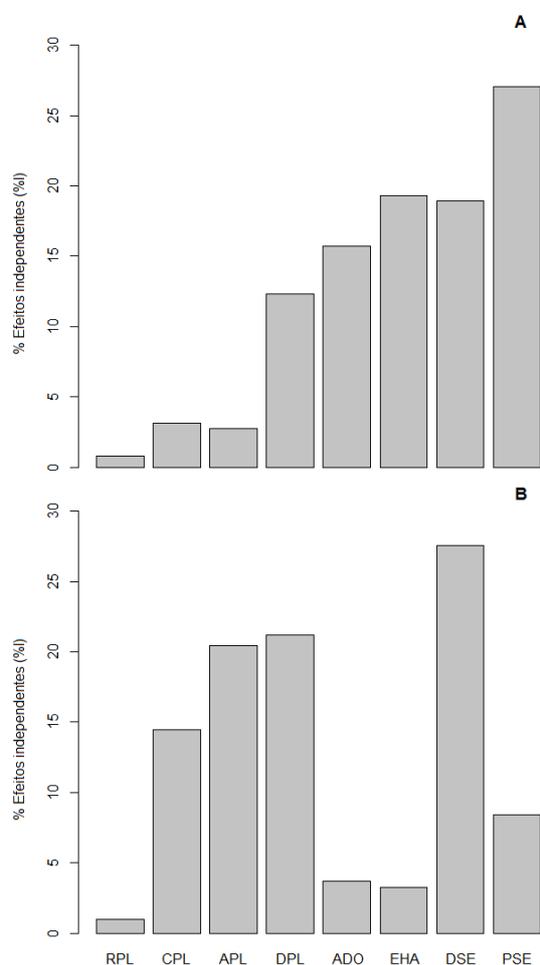


Figura 4 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas arborícolas da época chuvosa (a) seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras na cor cinza representam efeitos não significativos ($p > 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,67$; $z^{\text{Seca}} = -0,71$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,53$; $z^{\text{Seca}} = 0,37$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,54$; $z^{\text{Seca}} = 0,60$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,23$; $z^{\text{Seca}} = 0,96$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,55$; $z^{\text{Seca}} = -0,45$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,84$; $z^{\text{Seca}} = -0,52$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,80$; $z^{\text{Seca}} = 1,35$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,49$; $z^{\text{Seca}} = -0,17$).

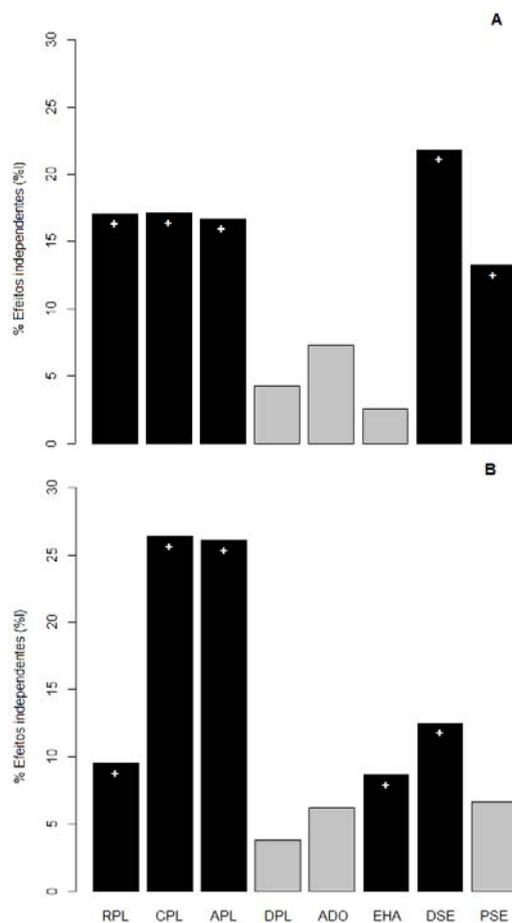


Figura 5 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas epigéicas da época chuvosa (a) seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 4,76$; $z^{\text{Seca}} = 2,12$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 5,24$; $z^{\text{Seca}} = 6,83$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 4,62$; $z^{\text{Seca}} = 6,19$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,58$; $z^{\text{Seca}} = 0,35$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,25$; $z^{\text{Seca}} = 1,31$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,04$; $z^{\text{Seca}} = 1,81$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 6,05$; $z^{\text{Seca}} = 2,93$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,96$; $z^{\text{Seca}} = 0,93$).

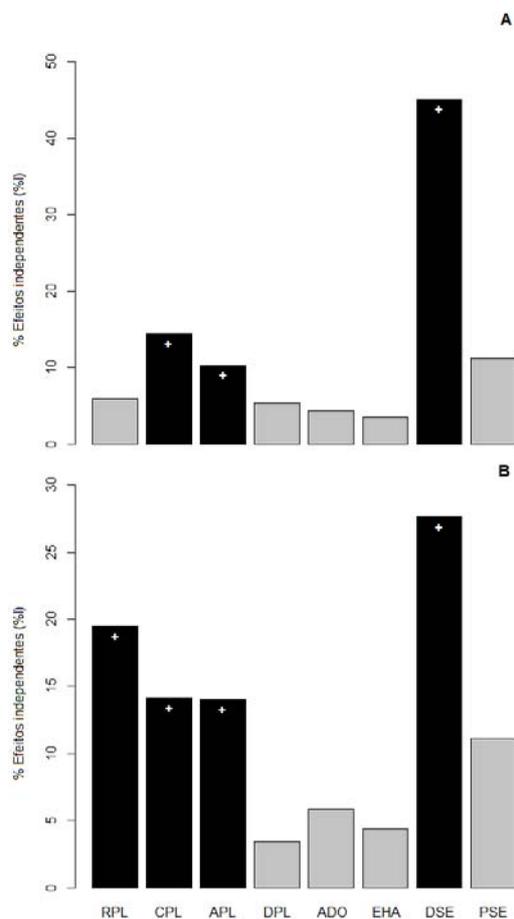


Figura 6 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas hipogéicas da época chuvosa (a) seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,25$; $z^{\text{Seca}} = 3,49$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 3,95$; $z^{\text{Seca}} = 2,34$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,50$; $z^{\text{Seca}} = 2,10$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,95$; $z^{\text{Seca}} = -0,01$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,50$; $z^{\text{Seca}} = 0,48$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,27$; $z^{\text{Seca}} = 0,13$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 12,40$; $z^{\text{Seca}} = 4,21$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,32$; $z^{\text{Seca}} = 1,53$).

A análise DISTLM, feita para a comunidade de formigas na época chuvosa, apresentou sete variáveis que em conjunto explicam 29,5% da variação na comunidade de formigas entre áreas (Tabela 5). As variáveis mais importantes foram DSE – 5,49%, CPL – 4,66% e APL – 4,44%. A única variável que não influenciou significativamente foi EHA. Na época seca foram encontradas apenas duas variáveis, que em conjunto explicam 22,2% da variação na comunidade de formigas entre áreas (Tabela 5). Estas variáveis foram APL – 3,82% e EHA – 3,27%.

Nós encontramos com o teste IndVal dezesseis espécies com grande ocorrência em áreas de campo sujo e canga na época chuvosa e cinco na época seca, as espécies *Linepithema* sp. 3 e *Linepithema* sp. 2, encontradas em canga nas épocas chuvosa e seca, respectivamente, apresentaram valor de indicação maior que 70 (Tabela 6).

Tabela 5 Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independentes da composição de espécies de formigas em áreas de campos ferruginosos (Controle) e áreas impactadas pela mineração em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil nas épocas chuvosa e seca.

Variável	Chuvosa		Seca	
	<i>p</i>	Proporção %	<i>p</i>	Proporção %
RPL	0,0340	3,05	0,2667	2,44
DPL	0,0124	3,37	0,0613	3,18
APL	0,0012	4,44	0,0190	3,82
CPL	0,0007	4,66	0,0624	3,23
EHA	0,0711	2,67	0,0493	3,27
DSE	0,0001	5,49	0,4075	2,13
PSE	0,0509	2,87	0,1089	2,96
ADO	0,0391	2,95	0,9033	1,17

Riqueza de plantas (RPL), densidade de plantas (DPL), altura de plantas (APL), cab de plantas (CPL), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA), diversidade da serapilheira (DSE), peso da serapilheira (PSE) e abertura de dossel (ADO).

Tabela 6 Espécies de formigas em de áreas de campos ferruginosos, encontradas nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia. IndVal – valor de indicação. p – probabilidade, resultado do teste de permutação.

Espécie	Área	Época chuvosa		Época Seca	
		IndVal	p	IndVal	p
<i>Brachymyrmex</i> sp. 3	Canga	25,0	0,0054		
<i>Linepithema</i> sp. 2	Canga			100,0	0,0002
<i>Linepithema</i> sp. 3	Canga	93,0	0,0002		
<i>Acromyrmex</i> sp. 1	Campo Sujo	25,9	0,0144		
<i>Acromyrmex</i> sp. 10	Campo Sujo	10,0	0,0144		
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1	Campo Sujo	20,9	0,0236		
<i>Camponotus crassus</i>	Campo Sujo	20,9	0,0266	20,9	0,0244
<i>Camponotus</i> sp. 8	Campo Sujo	12,5	0,0486		
<i>Cephalotes pusillus</i>	Campo Sujo	20,0	0,0132	10,0	0,0418
<i>Nylanderia</i> sp.3	Campo Sujo	20,0	0,0150		
<i>Pachycondyla striata</i>	Campo Sujo	10,0	0,0458		
<i>Pheidole</i> sp. 1	Campo Sujo	25,0	0,0234		
<i>Pheidole</i> sp. 2	Campo Sujo	37,5	0,0010	25,0	0,0290
<i>Pheidole</i> sp. 4	Campo Sujo	10,0	0,0504		
<i>Pheidole</i> sp. 8	Campo Sujo	10,0	0,0446		
<i>Solenopsis</i> sp. 30	Campo Sujo	27,5	0,0036	20,0	0,0116

4 DISCUSSÃO

As comunidades de formigas sofrem mudanças na sua riqueza e composição de espécies devido ao impacto da mineração e da sazonalidade. A riqueza e composição de espécies de formigas nas duas épocas se relacionam com atributos da vegetação que representam condições e recursos para elas. Estas relações proporcionam a estruturação de comunidades distintas e especializadas em cada estrato, hábitat e época, com maior riqueza de espécies nas áreas com maior quantidade e diversidade de recursos e melhores condições.

Nós encontramos um alto número de espécies neste estudo, o que é justificado pela coleta em três estratos. As espécies de formigas que encontramos pertencem aos gêneros e subfamílias mais comumente encontrados no Cerrado brasileiro (Ribas et al. 2003, Ribas & Schoereder 2007, Campos et al. 2008, 2011, Brandão et al. 2011, Pacheco & Vasconcelos 2012a). As formigas do gênero *Pheidole* e *Camponotus*, por exemplo, são muito frequentes no solo e vegetação, respectivamente.

4.1 Efeitos da mineração na estrutura da comunidade de formigas

A riqueza e composição de formigas e as variáveis ambientais das áreas controle e em mineração para extração de ferro foram distintas, pois a mineração é a forma mais intensa de impacto antrópico. Esta atividade é desenvolvida com a retirada da vegetação e diversas camadas de solo para extração do minério. Assim, nestas áreas há uma profunda mudança no perfil do solo com grandes consequências para o regime hidrológico, fauna e flora (Diehl et al. 2004; Majer et al. 1984, 2007). De acordo com os nossos resultados, toda essa mudança acarreta a perda quase total de espécies. Além disso, as espécies presentes nas áreas em mineração são generalistas com poucas exigências para alimentação e

nidificação, o que permite sua persistência em tais áreas, uma vez que estas possuem menor complexidade que as áreas controle (Majer 1983, Majer et al. 2007; Brown et al. 2012).

As formigas de todos os estratos sofreram os efeitos da mineração de forma bem semelhante. Estes animais são, na maioria das vezes, organismos sésseis (Hölldobler & Wilson 1990), desta forma, durante o impacto são extintos das áreas devido à completa remoção do local de nidificação, seja ele copas de plantas, serapilheira ou diferentes camadas de solo. Nas áreas em mineração existe um maior número de formigas epigeicas porque se tratam de formigas de solo generalistas e onívoras, as primeiras a colonizarem a área pós-distúrbio formando uma comunidade menos rica e com composição totalmente diferente da anterior. A colonização por formigas nas áreas em mineração é reduzida, pois os solos são compactados, não possuem uma camada de matéria orgânica e são manejados frequentemente, o que representa condições totalmente distintas das formações nativas e adversas para as formigas.

Enquanto isso, as formigas arborícolas e subterrâneas (hipogeicas) são mais especializadas em outros recursos; são mutualistas de plantas e invertebrados ou predam outros organismos (Blüthgen et al. 2000; Delabie et al. 2000). A ausência das formigas hipogeicas nas áreas em mineração aponta diferença entre estas áreas e as áreas controle e confirma a hipótese de que a composição deste estrato só se altera após uma mudança drástica nas condições do solo (Schmidt et al. 2013). Assim, nossos resultados mostram que a mineração diminui o número de espécies nos três estratos.

4.2 Efeitos da sazonalidade na estrutura da comunidade de formigas

As variáveis ambientais, mensuradas nas duas épocas, apresentaram variação sazonal. A abertura de dossel aumenta na época seca, pois os campos

ferruginosos (canga e campo sujo) são ambientes sazonais com plantas semidecíduas que perdem parte das folhas após o fim do período chuvoso (Dutra et al. 2005, Munhoz & Felfili 2005, Garcia 2007). O aumento da estrutura da vegetação herbácea e a diminuição da diversidade e peso da serapilheira na época seca, resultados contrários ao esperado, podem ser explicados por um aumento na parte vegetativa de algumas espécies que ocorre durante a época seca, enquanto a queda das folhas de muitas espécies ocorre próximo ao pico da época seca, entre o fim de julho e os meses de agosto e setembro (Munhoz & Felfili 2005).

Apesar de ser documentado para muitos grupos de invertebrados, alguns trabalhos com formigas não mostram diferenças claras entre riqueza e composição de espécies entre épocas seca e chuvosa (Coelho & Ribeiro 2006, Neves et al. 2010). Porém, nos campos ferruginosos a sazonalidade é bem marcante e determinante na estruturação da comunidade de formigas. A riqueza de formigas total, epigeica e arborícola, das áreas controle são maiores na época chuvosa. Na época das chuvas, o ambiente apresenta maior qualidade e quantidade de recursos para formigas e melhores condições para esses insetos, como maior umidade e temperatura (Kaspari et al. 2003). Após o fim das chuvas, com a alteração da qualidade e quantidade de recursos disponíveis (e.g. exsudatos de plantas e insetos trofobiontes, menor riqueza de colêmbolos e outros invertebrados predados por algumas espécies de formigas) e o aumento do risco de dissecação, as formigas podem diminuir sua atividade e até serem obrigadas a buscar outros recursos (Kaspari & Weiser 2000, Rico-Gray et al. 2004, Viana-Silva & Jacobi 2012).

A diferença na composição total e na composição de espécies arborícolas entre épocas deixa claro que há, além da diminuição, a substituição de espécies nestes componentes da comunidade. Como a competição é um dos fatores que regulam a comunidade de formigas (Andersen 2008), algumas

espécies podem ser encontradas com maior frequência durante a época seca por serem inibidas por outras durante a época chuvosa. Já a similaridade da composição das formigas epigeicas entre épocas mostra que algumas espécies de solo não sofrem com a sazonalidade, pois podem apresentar grandes colônias ou são espécies generalistas que tem facilidade em encontrar recursos em diferentes épocas do ano. Na época seca, os estratos arborícola e epigeico formam um único grupo, pois apesar das formigas de diferentes estratos possuírem uma série de necessidades inerentes a cada microhábitat é possível que na época seca as formigas arborícolas tenham que intensificar seu forrageamento no solo em busca de outros recursos ou para defenderem seu território (Hahn & Wheeler 2002).

Para as formigas hipogeicas das áreas controle, a sazonalidade não afeta a riqueza e composição de espécies. A estrutura da comunidade de formigas hipogeicas ainda é pouco conhecida (Schmidt & Solar 2010, Pacheco & Vasconcelos 2012b). As possíveis explicações para nossos resultados são que neste ambiente a estrutura da comunidade pode não ser afetada por fatores abióticos relacionados ao clima e à sazonalidade, apresentando pouca variação em condições e recursos durante o ano. Além disso, na época seca, este estrato não difere do estrato epigeico quanto à riqueza, mas é mais rico que o estrato arborícola e difere de todos quanto à composição. Na Mata Atlântica o estrato epigeico é o estrato mais rico em espécies (Schmidt et al. 2013) e os campos ferruginosos são severos em suas condições, por isso, é possível que nos campos a diversidade de formigas hipogeicas contribua mais para a diversidade total que nas florestas.

Por outro lado, as formigas encontradas nas áreas em mineração, essencialmente epigeicas, não apresentam variação sazonal da riqueza ou composição em consequência da homogeneidade dos recursos nas duas épocas. Na mineração, o estrato epigeico é o mais rico na época chuvosa e na época seca

porque esse estrato é o primeiro a ser recolonizado após o impacto. O aumento na riqueza de formigas hipogeicas da época úmida para a época seca nas áreas em mineração pode ter sido acidental, pois foram encontradas formigas somente em uma armadilha na coleta desta época ou pode ser devido a um maior forrageamento das formigas epigeicas no estrato hipogeico nesta época.

4.3 Respostas da comunidade de formigas às variáveis ambientais

A riqueza e o tamanho das plantas e a diversidade da serapilheira são as variáveis mais importantes e que afetam positivamente a riqueza de formigas dos estratos epigeico, hipogeico e também o número total de espécies nas duas épocas. Tais características podem representar habitats mais heterogêneos e uma maior qualidade e quantidade de recursos para formigas que nidificam e forrageiam acima do solo (Fonseca & Benson 2003, Ribas et al. 2003, Campos et al. 2006, Campos et al. 2007, Costa et al. 2011). Estas características levam a um maior número de formigas explorarem diferentes recursos alimentares e de nidificação e permitem que nos locais mais complexos haja uma maior riqueza de espécies. Além disso, para as formigas subterrâneas, as características acima ainda representam uma maior qualidade do solo. Nos campos ferruginosos, os solos têm maior quantidade de matéria orgânica, possuem maior complexidade e número de locais para nidificação provocada pelo crescimento de diversas plantas e, conseqüentemente, suportam um maior número de espécies de plantas que podem ser ou oferecer recursos alimentares para as formigas.

As formigas arborícolas não são afetadas significativamente pelas variáveis ambientais mensuradas em nenhuma das épocas. Para tais resultados, apresentamos quatro possibilidades: i) sua distribuição espacial em campos ferruginosos ocorre ao acaso; ii) existem variáveis ambientais não mensuradas que afetam a riqueza de formigas arborícolas em campos (e.g. número de plantas

com nectários extraflorais ou associadas a insetos trofobiontes); iii) há baixa riqueza de espécies de plantas por ponto no campo sujo e na canga, fator essencial para que haja uma maior diversidade de formigas (Ribas et al. 2003); iv) em formações campestres a fauna de formigas arborícolas pode ser formada, em sua maioria, por espécies que também ocorrem em solo e um baixo número de espécies exclusivas de vegetação. Esta última é a mais provável, pois em Cerrado não existe uma estratificação vertical muito clara (Campos et al. 2008), o que também pode ocorrer nos campos ferruginosos .

Além das variáveis citadas acima, na época chuvosa, a relação entre riqueza de formigas e o peso da serapilheira indica uma maior quantidade de recursos. Esta maior quantidade reflete em um maior número de troncos, galhos e folhas que servem como abrigo para formigas ou outros animais que são fontes de recursos para elas (Andrew et al. 2000, McGlynn 2006, McGlynn et al. 2009). Já a relação da riqueza de espécies com a abertura de dossel e a densidade de plantas pode mostrar que áreas com maior cobertura vegetal, geralmente com um maior número de plantas, apresentam microclimas mais amenos para os insetos, animais que necessitam conviver com o problema da dissecação (Schowalter 2006). Além disso, as plantas provêm abrigo e outros recursos que são encontrados mais abundantemente na época chuvosa graças à sazonalidade presente em savanas tropicais como os campos ferruginosos.

As mudanças provocadas pela sazonalidade levam à homogeneização estrutural e microclimática e à diminuição dos recursos nas áreas de Cerrado (Pennington et al. 2000) e, por conseguinte, à diminuição na riqueza de formigas durante a época seca. Durante a seca, a estrutura da vegetação herbácea e arbustiva afeta positivamente a riqueza de formigas epigeicas porque as formigas podem explorar outros recursos. Diferente dos resultados encontrados por Kaspari & Weiser (2000), é possível que algumas espécies que nidificam no solo busquem a exploração de recursos na vegetação na época seca. Algumas

espécies de plantas nesses campos apresentam recursos como frutos durante todo o ano ou tem picos de frutificação durante a época seca (Garcia et al. 2009). Desta forma, algumas formigas podem estar utilizando arbustos e ervas para encontrarem esses recursos na época seca (Coelho & Ribeiro 2006).

Além da regulação da riqueza, podemos perceber que, em campos ferruginosos, quase todas as variáveis ambientais são importantes para a composição de formigas na época chuvosa, principalmente a diversidade da serapilheira e o tamanho das árvores. A estrutura dos habitats permite com que haja grupos de espécies com diferentes requerimentos que utilizem recursos distintos e é determinante para o número de espécies e frequência de interações entre as mesmas (Laiolo 2013). A diferença muito pronunciada entre recursos e condições nas áreas controle e impactadas contribui com a formação desses grupos distintos durante a época chuvosa.

Já na época seca, somente o tamanho das plantas e a estrutura da vegetação herbácea e arbustiva foram características importantes para a composição. Tal fato ocorre devido à diminuição na diferença entre recursos e condições nas duas áreas nesta época, assim, menos variáveis ambientais explicam uma parcela menor da variação na composição de espécies. Deste modo, a simples presença e a estrutura da vegetação são os principais componentes que estruturam a comunidade de formigas nos campos ferruginosos, assim como em outras formações de Cerrado (Pacheco & Vasconcelos 2012a). Estes resultados mostram implicações importantes sobre a restauração de áreas em mineração, pois estas devem ser implementadas com a utilização de plantas de porte herbáceo, arbustivo e arbóreo.

4.4 Formigas em áreas de campos ferruginosos

Nós encontramos um grande número de espécies comuns nas áreas de campos ferruginosos na época chuvosa (16), mas poucas na época seca (5). A maioria das espécies apresentou baixo valor de indicação para os campos sujos, pois, por ser uma formação campestre, as espécies que ocorrem nos campos sujos podem ser encontradas em outros habitats abertos, sendo assim pouco fiéis a esta formação (Madureira et al. 2012).

Os altos valores de indicação das espécies do gênero *Linepithema*, em cada época, na canga podem ser devidos à falta de réplicas na formação. As espécies do gênero *Linepithema* são pouco conhecidas, mas se sabe que elas podem ocupar ninhos múltiplos, condição conhecida como polidomia, com muitos indivíduos (Cuezzo 2003). Além disso, Schmidt e colaboradores (2013), em seu estudo sobre sucessão em Mata Atlântica, encontraram a espécie *Linepithema aztecoides* como indicadora de áreas abertas. É possível que espécies desse gênero possam ser típicas e indicadoras de locais abertos.

No campo sujo, *Camponotus crassus*, *Cephalotes pusillus*, *Pheidole* sp. 2 e *Solenopsis* sp. 30 foram as espécies mais frequentes nas duas épocas. As duas primeiras são comumente encontradas em áreas de Cerrado, forrageiam tanto no solo quanto na vegetação sendo frequentemente reportadas como usuárias de recursos açucarados providos por trofobiontes ou néctar extrafloral (Schoederer et al. 2010). Por outro lado, *Solenopsis* e *Pheidole* são gêneros altamente ricos em espécies e muito comuns nos neotrópicos (Fernández 2003), com diversos tipos de hábitos alimentares. As formigas encontradas em campos sujos, por serem típicas de áreas abertas, podem ter grande distribuição e também ocorrerem em áreas de mineração.

Apesar de serem encontradas em áreas em mineração *Dorymyrmex brunneus* e *Solenopsis invicta*, espécies comuns em áreas perturbadas (Ribas et

al. 2012c), não são específicas dessas áreas, pois são generalistas e provavelmente provenientes das áreas de entorno (áreas em reabilitação). Dentre as espécies encontradas, somente *Dorymmex brunneus* foi a única exclusiva das áreas em mineração, o que mostra a ocorrência desta espécie até em áreas com forte impacto.

5 CONCLUSÕES

A mineração é um impacto que possui consequências muito negativas para a biodiversidade devido à grande mudança que causa nos padrões e processos das comunidades biológicas. A riqueza e composição de formigas são afetadas pela presença, estrutura da comunidade vegetal e variação sazonal nos campos o que mostra a sensibilidade desse grupo a este impacto. Com isso, a preservação de remanescentes naturais é necessária para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos relacionados a essas áreas.

5.1 Implicações práticas

Uma vez que as reservas de minério de ferro estão em áreas naturais com pouca extensão e com grande número de endemismos, consideradas importantes para a conservação, é necessário que a iniciativa pública e privada concentre estudos para o maior conhecimento sobre os processos ecológicos destes locais. A partir disto, devem ser delimitadas áreas prioritárias para a conservação, protegidas fortemente pelas leis ambientais, e áreas potencialmente utilizadas para a extração mineral. Esta divisão pode evitar conflitos ambientais, como o exemplo da Serra do Gandarela, também no quadrilátero ferrífero (ver Marent et al. 2011).

Embora a mineração gere um grande impacto de difícil recuperação ecológica, tal prática é um dos setores que compõe a base econômica do país, além de permitir grande desenvolvimento tecnológico e social. Deste modo, é necessário que as empresas de mineração adotem as melhores técnicas de reabilitação documentadas para a recuperação da maior parte possível da diversidade e funções ecológicas dos ambientes minerados.

Esta reabilitação deve ser acompanhada de um monitoramento de fauna eficiente, que pode ser realizado com o auxílio do acesso da comunidade de formigas. O monitoramento pode ser feito somente na época chuvosa, época que tem padrões ecológicos que podem ser considerados mais robustos, pois facilita a diagnose do impacto na biota. Outra sugestão prática relacionada à metodologia seria a utilização de somente um estrato para a amostragem de formigas. Acreditamos que o estrato epigeico seria o mais adequado por congrega um maior número de espécies que nidificam tanto no solo quanto na vegetação, o que facilita a comparação e a análise do impacto. Além disso, é necessário que as empresas de mineração também invistam em pesquisas e utilizem técnicas desenvolvidas em parceria com empresas e universidades para continuar progredindo com as técnicas de reabilitação.

REFERÊNCIAS

- Andersen AN. 2008. Not enough niches: non-equilibrial processes promoting species coexistence in diverse ant communities. *Austral Ecology*, 33: 211-220.
- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E: Plymouth, UK.
- Andrew N, Rodgerson L, York A. 2000. Frequent fuel-reduction burning: the role of logs and associated leaf litter in the conservation of ant biodiversity. *Austral Ecology*, 25: 99–107.
- Armbrecht I, Perfecto I, Vandermeer J. 2004 Enigmatic biodiversity correlations: Ant diversity responds to diverse resources. *Science*, 304 (5668): 284-286.
- Bestelmeyer BT, Agosti D, Leeanne F, Alonso T, Brandão CRF, Brown WL, Delabie JHC, Silvestre R. 2000. Field techniques for the study of ground-living ants: An Overview, description, and evaluation, p. 122-144. In.: Agosti D, Majer JD, Tennant A, Schultz T (eds), *Ants: standart methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, 280p.
- Blüthgen N, Verhaagh M, Goitía W, Jaffé K, Morawetz W, Barthlott W. 2000. How plants shape the ant community in the Amazonian rainforest canopy: the key role of extrafloral nectaries and homopteran honeydew. *Oecologia*, 125:229–240.
- Bolton B. 1994. Identification guide to the ant genera of the world. Cambridge, Harvard University Press, 222 p.
- Braga DL, Louzada JNC, Zanetti R, Delabie J. 2010. Avaliação rápida da diversidade de formigas em sistemas de uso do solo no sul da Bahia. *Neotropical entomology*, 39: 464-469.
- Brandão CRF, Silva RR, Feitosa RM. 2011. Cerrado ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) as indicators of edge effects. *Zoologia*, 28: 379-387.
- Brown PH, Miller DM, Brewster CC, Fell RD. 2012. Biodiversity of ant species along a disturbance gradient in residential environments of Puerto Rico. *Urban Ecosystems*, doi: 10.1007/s11252-012-0260-5

Campos RBF, Schoereder JH, Sperber CF. 2007. Small-scale patch dynamics after disturbance in litter ant communities. *Basic and Applied Ecology*, 8: 36-43.

Campos RI, Lopes CT, Magalhães WCS, Vasconcelos HL. Estratificação vertical de formigas em cerrado strictu sensu no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás, Brasil. 2008. *Iheringia. Série Zoologia*, 98: 311-316.

Campos RI, Vasconcelos HL, Andersen AN, Frizzo TLM, Spena KC. 2011. Multi-scale ant diversity in savanna woodlands: an intercontinental comparison. *Austral Ecology*, 36: 983-992.

Campos RI, Vasconcelos HL, Ribeiro SP, Neves FS, Soares JP. 2006. Relationship between tree size and insect assemblages associated with *Anadenanthera macrocarpa*. *Ecography*, 29: 442-450.

Chapin FS III, McGuire AD, Randerson J, Pielke R, Baldocchi D, Hobbie SE, Roulet N, Eugster W, Kasichke E, Rastetter EB, Zimov SA, Running SW. 2000. Arctic and boreal ecosystems of western North America as components of the climate system. *Global Change Biology*, 6: 211-223.

Chevan A, Sutherland M. 1991. Hierarchical Partitioning. *The American Statistician*, 45: 90-96.

Coelho IR, Ribeiro SP. 2006. Environment heterogeneity and seasonal effects in ground-dwelling ant (Hymenoptera: Formicidae) assemblages in the Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brazil. *Neotropical Entomology*, 35: 19-29.

Costa FV, Neves FS, Silva JO, Fagundes M. 2011. Relationship between plant development, tannin concentration and insects associated with *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *Arthropod Plant Interactions* 5: 9-18.
Crawley MJ. 2007. *The R book*. Wiley, New York.

Cuezzo F. 2003. Subfamilia Dolichoderinae. In.: Fernández F. (ed.). *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. pp. 291-298.

Delabie JHC, Agosti D, Nascimento IC. 2000. Litter ant communities of the Brazilian Atlantic rain forest region. In.: Agosti D, Majer JD, Tennant L, Schultz T. (orgs). *Sampling Ground-dwelling Ants: Case. Studies from the Worlds' Rain Forests*. Perth, Western Australia: Curtin - School of Environmental Biology.

Diehl E, Sanhudo CED, Diehl-Fleig E. 2004. Ground-dwelling ant fauna of sites with high levels of copper. *Brazilian Journal of Biology*, 64: 33-39.

Drummond GM, Martins CS, Machado ABM, Sebaio FA, Antonini Y (orgs.). 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais, um atlas para sua conservação*. 2ª ed. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas.

Dufrêne M, Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67:345-366.

Dutra VF, Messias MCTB, Garcia FC. 2005. Papilionoideae (Leguminosae) nos campos ferruginosos do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil: florística e fenologia. *Revista Brasileira de Botânica*, 28: 493-504.

Engelbrecht BMJ, Herz HM. 2001. Evaluation of different methods to estimate understorey light conditions in tropical forests. *Journal of Tropical Ecology*, 17: 207-224.

Fernández F. 2003. Subfamilia Myrmicinae. In.: Fernández F. (ed.). *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Fonseca CR, Benson WW. 2003. Ontogenetic succession in Amazonian ant trees. *Oikos*, 102:407-412.

Franco AC. 2002. Ecophysiology of woody plants. In.: Oliveira PS, Marquis RJ (eds.) *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, pp 178-197.

Frazer GW, Canham CD, Lertzman KP, 1999. *Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs*, User Manual and Program Documentation. Simon Fraser University/The Institute of Ecosystem Studies, Burnaby, British Columbia/Millbrook, New York.

Garcia LC. 2007. *Fenologia de espécies da Canga em Barão de Cocais, Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais*. Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais.

- Garcia LC, Barros FV, Lemos-Filho JP. 2009. Fructification phenology as an important tool in the recovery of iron mining areas in Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 69: 887-893.
- Gardner TA. 2010. *Monitoring forest biodiversity: improving conservation through ecologically-responsible management*. London: Earthscan.
- Hahn DA, Wheeler DE. 2002. Seasonal foraging activity and bait preferences of ants on Barro Colorado Island, Panamá. *Biotropica*, 34: 348-356.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4:1-9.
- Hölldobler B, Wilson EO. 1990. *The ants*. Harvard University Press, Cambridge.
- Jacobi CM, Carmo FF, Vincent RC, Stehmann JR. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16:2185–2200.
- Janzen DH. 1984. Two ways to be a tropical big moth: Santa Rosa saturniids and sphingids. *Oxford Surveys in Evolutionary Biology*, 1: 85-140.
- Kaspari M, Weiser MD. 2000. Ant activity along moisture gradients in a Neotropical Forest. *Biotropica*, 32: 703-711.
- Kaspari M, Yuan M, Alonso L. 2003. Spatial grain and the causes of regional diversity gradients in ants. *The American Naturalist*, 163: 459-477.
- Laiolo P. 2013. From inter-specific behavioural interactions to species distribution patterns along gradients of habitat heterogeneity. *Oecologia*, 171:207–215.
- MacNally, R., 2000. Regression and model-building in conservation biology, biogeography and ecology: the distinction between – and –reconciliation of – ‘predictive’ and ‘explanatory’ models. *Biodiversity and Conservation*, 9: 655–671.
- Madureira MS, Sobrinho TG, Schoereder JH. 2012. Why do ant species occur in the matrix and not in the forests? Invasion from other habitats or expansion from forest gaps (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 59: 1-12.

- Majer JD, Nichols OG. 1998. Long-term recolonization patterns of ants in Western Australian rehabilitated bauxite mines with reference to their use as indicators of restoration success. *Journal of Applied Ecology*, 35:161-182.
- Majer JD. 1983. Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Environmental Management*, 7: 375-383.
- Majer JD. 1992. Ant recolonisation of rehabilitated bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 8: 97-108.
- Majer JD. 1996. Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines at Trombetas, Pará, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 12: 257-273.
- Majer JD, Day JE, Kabay ED, Perriman WS. 1984. Recolonization by ants in bauxite mines rehabilitated by a number of different methods. *Journal of Applied Ecology*, 21: 355-375.
- Majer JD, Brennan KEC, Moir ML. 2007. Invertebrates and the restoration of a forest ecosystem: 30 Years of research following bauxite mining in Western Australia. *Restoration Ecology*, 15: 104–115.
- Marent BR, Lamounier WL, Gontijo BM. 2011. Conflitos ambientais na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero - MG: mineração x preservação. *Geografias*, 7: 99-113.
- Martins RP, Lewinsohn TM, Diniz-Filho JAF, Coutinho FA, Fonseca GAB, Drumond MA. 2007. Rumos para a formação de ecólogos no Brasil. *R B P G*, 4: 25-41.
- McCune B, Mefford MJ. 2006. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR, USA. p. 237.
- McGeoch MA. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews*, 73: 181–201.
- McGlynn TP. 2006. Ants on the move: resource limitation of a litter-nesting ant community in Costa Rica. *Biotropica* 38: 419-427.
- McGlynn TP, Fawcett RM, Clark DA. 2009. Litter biomass and nutrient determinants of ant density, nest size, and growth in a Costa Rican tropical wet forest. *Biotropica*, 41: 234-240.

Munhoz CBR, Felfili JM. 2005. Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 19: 979-988.

Muscardi DC, Almeida SSP, Schoereder JH. 2008. Response of Litter Ants (Hymenoptera: Formicidae) to Habitat Heterogeneity and Local Resource Availability in Native and Exotic Forests. *Sociobiology*, 52: 655-665.

Neves FS, Braga RF, Espírito-Santo MM, Delabie JHC, Fernandes GW, Sánchez-Azofeifa GA Arturo. Diversity of arboreal ants in a Brazilian Tropical Dry Forest: Effects Of Seasonality and Successional Stage. 2010b. *Sociobiology*, 56: 177-194.

Nobis M. 2005. SideLook 1.1 - Imaging software for the analysis of vegetation structure with true-colour photographs; <http://www.appleco.ch>

Oliveira-Filho AT, Ratter JA. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In.: Oliveira PS, Marquis RJ. (Eds.) *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, pp. 91–120.

Pacheco R, Vasconcelos HL. 2012a. Habitat diversity enhances ant diversity in a naturally heterogeneous Brazilian landscape. *Biodiversity and Conservation*. 21: 797–809.

Pacheco R, Vasconcelos HL. 2012b. Subterranean pitfall traps: Is it worth including them in your ant sampling protocol? *Psyche*, Article ID 870794.

Palacio EE, Fernández F. 2003. Claves para las subfamilias y géneros. In.: Fernández F (ed). *Introducción a las hormigas de la region Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt, Bogotá, Colômbia, pp. 233-260.

Pennington RT, Prado DE, Pendry CA. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, 27: 261–273.

R Development Core Team. 2011. *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria.

Ribas CR, Schoereder JH, Pic M, Soares SM. 2003. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale process regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology*, 28: 305–314.

Ribas CR, Schoederer JH. 2007. Ant communities, environmental characteristics and their implications for conservation in the Brazilian Pantanal. *Biodiversity and Conservation*, 16:1511–1520.

Ribas CR, Campos RBF, Schmidt FA, Solar RCC. 2012a. Ants as indicators in Brazil: A review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. *Psyche*, Article ID 636749.

Ribas CR, Solar RCC, Campos RBF, Schmidt FA, Valentim CL, Schoederer JH. 2012b. Can ants be used as indicators of environmental impacts caused by arsenic? *Journal of Insect Conservation*, 16:413–421.

Ribas CR, Schmidt FA, Solar RCC, Campos RBF, Valentim CL, Schoederer JH. 2012c. Ants as indicators of the success of rehabilitation efforts in deposits of gold mining tailings. *Restoration Ecology*, doi: 10.1111/j.1526-100X.2011.00831.x

Rico-Gray V, Oliveira PS, Parra-Tabla V, Cuautle M, Díaz-Castelazo C. 2004. Ant-plant interactions: their seasonal variation and effects on plant fitness. In: Martínez ML, Psuty N, Lubke R (eds.). *Coastal sand dunes: ecology and restoration*. Springer, Berlin, pp 221–239.

Rizzini CT. 1997. *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. Âmbito Cultural, Rio de Janeiro

Schmidt FA, Diehl E. 2008. What is the effect of soil use on ant communities? *Neotropical Entomology*, 37: 381-388.

Schmidt FA, Solar RRC. 2010. Hypogeic pitfall traps: methodological advances and remarks to improve the sampling of a hidden ant fauna. *Insect Sociaux*. 57: 261–266.

Schmidt FA, Ribas CR, Schoederer JH. 2013. How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? *Ecological Indicators*, 24: 158–166.e

Schoederer JH, Sobrinho TG, Madureira MS, Ribas CR, Oliveira PS. 2010. The arboreal ant community visiting extrafloral nectaries in the neotropical Cerrado Savanna. *Terrestrial Arthropod Review*, 3:3–27.

Schowalter TD. 2006. *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. Oxford: Academic Press.

Tscharntke T, Tylianakis JM, Rand TA, Didham RK, Fahrig L, Batáry P, Bengtsson J, Clough Y, Crist TO, Dormann CF (...) et al. 2012. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses *Biological Reviews*. doi: 10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x

Viana-Silva FEC, Jacobi C. 2012. Myrmecofauna of ironstone outcrops: Composition and diversity. *Neotropical Entomology*, 41:263–271.

Wielgoss A, Tscharntke T, Buchori D, Fiala B, Clough Y. 2010. Temperature and a dominant dolichoderine ant species affect ant diversity in Indonesian cacao plantations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135: 253–259.

Wolda H. 1978. Seasonal fluctuations in rainfall, food and abundance of tropical insects. *Journal of Animal Ecology*, 47: 369-381.

Zuur AF, Ieno EN, Walker N, Saveliev AA, Smith GM. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer.

ARTIGO 2

**BIOINDICAÇÃO POR FORMIGAS EM ÁREAS DE REABILITAÇÃO
APÓS IMPACTOS DA MINERAÇÃO**

RESUMO

Nós avaliamos a eficácia de diferentes tipos de reabilitação pós-mineração através das seguintes comparações: (I) reabilitações em diferentes idades, (II) utilização de dois capins exóticos distintos para a revegetação, (III) o uso de espécies nativas e exóticas e (IV) utilização de capim gordura em cava e sobre pilha estéril. Para tanto, verificamos o efeito das reabilitações e da sazonalidade sobre a riqueza e composição de espécies, a relação de variáveis ambientais com esses componentes de diversidade e a presença de espécies indicadoras. Nós selecionamos cinco áreas de diferentes idades de reabilitação sobre pilha de estéril revegetadas com capim gordura e capim braquiária (com idades entre dois e dez anos), duas áreas em reabilitação sobre cava revegetadas com capim gordura, duas em reabilitação com o uso de espécies nativas e sete áreas de referência (quatro áreas de campos sujos, duas de matas ciliares e uma de canga) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Em cada ponto amostral nós instalamos armadilhas do tipo pitfall nos estratos hipogeico, epigeico e arborícola para captura de formigas e mensuramos variáveis ambientais (que representam condições e recursos para formigas e a estrutura da vegetação nas reabilitações). Nós coletamos 172 espécies de formigas. As reabilitações mais antigas se aproximam em riqueza das áreas referência, mas não em composição. A utilização de capim braquiária ou capim gordura não pode ser indicada pelo fato de serem espécies exóticas e pouco eficazes. A maior eficiência da reabilitação sobre cava do que sobre a pilha de estéril também se deve a maior proximidade das áreas e estabilização do solo. Assim, vimos que as reabilitações, principalmente as com espécies exóticas, não são eficientes devido à distância das áreas referência que servem como fontes de espécies e ao tempo em que foram implementadas.

Palavras-chave: Restauração ecológica. Impacto ambiental. Técnicas de revegetação. Biodiversidade. Recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

(Bioindication by Ants in Rehabilitation Areas after Mining Impacts) We evaluated the effectiveness of different types of post-mining rehabilitation through the following comparisons: (I) rehabilitation with different ages, (II) use of different exotic grasses for revegetation, (III) use of native and exotic species and (IV) use of grass (*Melinis minutiflora*) on mining site and sterile pile. Therefore, we see the rehabilitation and seasonality effect on the species composition and richness, the relationship of environmental variables with these diversity components and the presence of indicator species. We selected five rehabilitation areas revegetated with *Melinis minutiflora* and *Brachiaria* spp. grasses (two to ten years old), two rehabilitation areas on mining sites revegetated with *Melinis minutiflora* grass, two rehabilitation areas with the use of native species and seven reference areas (four areas of “campo sujo”, two of riparian forests and a “canga”) in Nova Lima, Minas Gerais, Brazil. At each sampling point, we installed pitfall traps in hipogaic, epigaic and arboreal strata, whenever possible, to capture ants and to measure environmental variables (representing conditions and resources for ants and vegetation structure in rehabilitation). We collected 172 species. The older rehabilitation areas present ant richness similar to reference areas, but not similar composition. The use of *Brachiaria* spp. or *Melinis minutiflora* grasses cannot be recommended because they are exotic species and ineffective in rehabilitation. The greater efficiency of rehabilitation on mining site than on the sterile pile may be also due to areas proximity and, possibly, the highest soil stabilization. Thus anthropogenic impacts alter the ant community structure and the rehabilitation, especially with exotic species, are not efficient due to the distance from the source and the time they were implemented.

Keywords: Restoration ecology. Environmental impact. Revegetation techniques. Biodiversity. Recovery of degraded areas.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da biodiversidade em várias escalas e de seus padrões reguladores é um dos maiores objetivos em ecologia de comunidades (Palmer et al. 1997). No entanto, o avanço das atividades antrópicas (e.g. agropecuária, urbanização, mineração) leva à fragmentação dos ecossistemas e perda de espécies nas comunidades (Saunders et al. 1991). Assim, há um crescente aumento na necessidade de se utilizar o conhecimento dos padrões ecológicos nas estratégias de recuperação de áreas degradadas (Palmer et al. 1997).

Diversas denominações estão inseridas na área da reintegração dos ecossistemas impactados. Dentre elas, uma das mais adotadas é a reabilitação, atividade que visa recuperar danos ou funções no ecossistema (Aronson et al. 1993). Ela tem como referência o ecossistema nativo e o seu objetivo, comum com os outros tipos de restauração, é levar ao aumento da área vegetada, que seja parecida com o ambiente natural, e o retorno de espécies para a comunidade. Porém, a reabilitação, na maioria das vezes, é adotada em escala local (Hobbs & Norton 1996).

Dentre as áreas impactadas que necessitam de algum tipo de recuperação, aquelas em estado pós-mineração recebem grande atenção (Majer et al. 2007). Isto se deve a extração industrial de minério que leva a um grande dano ao ambiente. Então, a reabilitação, neste caso, também é considerada parte do desenvolvimento e manutenção da produção sustentável dos ecossistemas (Hobbs & Harris 2001). Visto que nestas áreas os componentes do sistema original são totalmente perdidos, não basta apenas excluir o agente estressor, mas também adotar estratégias para fazer com que a reabilitação ocorra (Hobbs & Norton 1996).

O Brasil produz cerca de 372 milhões de toneladas de minério de ferro por ano, sendo o segundo maior produtor, atrás apenas da China (IBRAM 2011).

De acordo com a legislação do país, artigo 225 da Constituição Federal de 1988, as empresas mineradoras são obrigadas a recuperar o local degradado seguindo as exigências do órgão público competente. Diversas técnicas de restauração têm sido propostas e utilizadas ao longo dos anos em áreas mineradas (e.g. introdução de espécies exóticas, reintrodução de espécies nativas, sucessão ecológica natural e técnicas nucleadoras). E mesmo que a recuperação de tais áreas seja difícil, alguns estudos mostram que algumas destas experiências podem ter sucesso (Majer 1983, Majer et al. 1984, Majer et al. 2007, Bechara et al. 2007).

Ao longo do processo de reabilitação, as comunidades apresentam aumento na riqueza de espécies, aproximação da composição original, retorno das funções ecológicas e desenvolvimento da vegetação (Majer 1985, Andersen & Majer 2004). Tais fatores podem ser avaliados através da bioindicação (Hobbs & Norton 1996). Dentre os grupos considerados bons bioindicadores, as formigas é um dos mais utilizados para apontar a eficiência das reabilitações (ver Majer et al. 2007, Ribas et al. 2012a). Elas são usadas como indicadoras de restauração ecológica desde a década de 1980 (Majer 1983). No entanto, esse monitoramento é feito através de acessos rápidos a comunidade e muitas vezes não se sabe quais são as dimensões dos distúrbios naturais, como a sazonalidade, nas comunidades restauradas. O que é fundamental para entender qual curso essas restaurações estão seguindo (Palmer et al. 1997).

O objetivo do nosso trabalho é avaliar a eficácia de diferentes tipos de reabilitação pós-mineração (Tabela 1). Para tanto, verificamos como as comunidades de formigas se comportam frente às técnicas de reabilitação nas épocas chuvosa e seca, para assim apontar as vantagens e desvantagens dos métodos utilizados. Desta forma, nós avaliamos os seguintes parâmetros das comunidades de formigas: i) a variação na riqueza e composição de espécies entre as áreas controle, o tempo e a técnica de reabilitação; ii) a relação entre a

riqueza de espécies e as condições e recursos pra formigas nas áreas controle e em reabilitação; iii) a presença de espécies indicadoras para cada tipo de recuperação e para áreas não impactadas.

Tabela 1 Comparações dos tipos de reabilitações utilizados em áreas pós-mineração na região de Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

	Tipos de reabilitações utilizadas	Substrato	Área de referência
I	Áreas com 2 a 10 anos de reabilitação	Minério estéril	Mata ciliar
II	Áreas em reabilitação feitas com duas espécies de capins exóticos, os capins braquiária e gordura	Minério estéril	Mata ciliar
III	Áreas em reabilitação com espécie exótica e espécies nativas em substratos distintos	Minério estéril e Cava	Campo sujo e Canga
IV	Áreas em reabilitação com capim gordura em substratos distintos	Minério estéril e Cava	Mata ciliar e campo sujo

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Realizamos duas coletas (épocas chuvosa e seca) nos meses de fevereiro/março e julho de 2012, respectivamente, em três unidades da empresa Vale S.A.: *Mina do Tamanduá* (20°5'17" S e 43°56'27" W), *Mina Capão Xavier* (20°2'47" S e 43°58'59" W) e *Mina da Mutuca* (20°1'43" S e 43°57'10" W) localizadas na cidade de Nova Lima, Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Sudeste do Brasil. A altitude média nas áreas de coleta foi de 1400 m. O clima local apresenta invernos secos, de abril a setembro, e verões chuvosos, de outubro a março. Nas três unidades amostramos áreas de preservação permanente (controle) e áreas em reabilitação no entorno da cava ou sobre pilha de estéril.

Na unidade *Mina do Tamanduá* amostramos três áreas controle com formações savânicas (campos sujos) no entorno da cava e duas áreas em reabilitação sobre a rocha da cava pós-lavra, reabilitadas por capim gordura (*Melinis minutiflora*), uma vez que esta espécie de gramínea exótica foi utilizada para a reabilitação.

Na unidade *Mina Capão Xavier*, amostramos duas áreas controle, uma de campo sujo e outra de canga, e duas áreas de reabilitação com reintrodução de espécies nativas sobre pilha de estéril. A reabilitação com espécies nativas foi feita em substrato de canga sobre pilha estéril no ano 2009. Nestas áreas, as espécies nativas utilizadas foram selecionadas com base em levantamentos florísticos e de acordo com a disponibilidade das mudas no viveiro. Algumas outras espécies foram introduzidas, pois estavam presentes no topsoil. Assim, as

mais comuns nas parcelas eram *Arthrocerus glaziovii* e *Hoffmansegella crispata* (Lobo 2010).

Na unidade *Mina da Mutuca* amostramos duas áreas controle com matas ciliares e cinco áreas em reabilitação sobre pilha de estéril com diferentes idades e tipos de reabilitação. Duas destas áreas de reabilitação são mais recentes, tem dois e quatro anos, e são dominadas por capim gordura e feijão guandu (*Cajanus cajan*). As outras três áreas possuem seis, oito e dez anos de reabilitação e são dominadas por capim braquiária (*Brachiaria* spp.), que foi utilizada na reabilitação além de feijão guandu e outras plantas nativas que colonizaram o local naturalmente.

Todas as áreas apresentam ocorrência de campos ferruginosos compostos por formações savânicas, como campos sujos, campos rupestres sobre canga, e formações florestais, e estão inseridos na transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (Rizzini 1997).

2.2 Amostragem

Nós demarcamos 16 transectos, um em cada uma das áreas descritas anteriormente. Em cada transecto amostramos dez pontos, com exceção da área de canga e das reabilitações na *Mina Capão Xavier*, com oito pontos devido ao tamanho das mesmas. Assim, no total, nós demarcamos 16 transectos e 154 pontos amostrais com distância mínima de 20 m entre eles.

A fim de amostrar o maior número possível de segmentos da comunidade de formigas em cada ponto, nós instalamos armadilhas do tipo *pitfall* sem iscas nos estratos arborícola, epigeico e hipogeico (Ribas et al. 2003, Bestelmeyer et al. 2000, Schmidt & Solar 2010), as quais permaneceram em campo por 48 horas. Em seguida, fizemos a identificação dos gêneros de

formigas com o auxílio de chaves de identificação (Bolton 1994; Palacio & Fernández 2003) e as morfoespeciamos para calcular a riqueza e composição de espécies presente em cada armadilha. Exemplares de todas as morfoespécies foram depositados na coleção do Laboratório de Ecologia de Formigas da Universidade Federal de Lavras - UFLA.

Nas áreas de canga e em reabilitação com espécies nativas, devido à compactação do solo ou à formação de lajedo, não foram amostradas formigas hipogeicas. Já nas áreas em reabilitação com capim gordura sobre cav as, formigas do estrato arbóreo não foram amostradas devido à ausência de plantas que permitiam a instalação da armadilha.

Para a determinação das variáveis ambientais demarcamos quadrantes de 6x6 m em torno de cada armadilha e mensuramos as seguintes variáveis: riqueza (RPL), densidade (DPL), altura (APL) e circunferência à altura da base (CPL) de plantas, estruturada vegetação herbácea e arbustiva (EHA); peso (PSE) e diversidade da serapilheira (DSE) e abertura do dossel (ADO). Estas variáveis (e.g. estrutura, heterogeneidade do habitat, disponibilidade de recursos e variação microclimática) representam condições e recursos para as formigas (Fonseca & Benson 2003, Armbrecht et al. 2004, Muscardi et al. 2008, Wielgoss et al. 2010).

Em cada quadrante nós morfoespeciamos e contamos todas as plantas para o cálculo da riqueza e densidade de árvores, estimamos sua altura e mensuramos a circunferência à altura da base (cab) dessas mesmas árvores. Foram consideradas todas as plantas que apresentavam circunferência à altura da base mínima de 5 cm medida a 30 cm de altura do solo. Nas áreas da unidade *Mina da Mutuca* a variável riqueza de plantas não foi amostrada devido à imprecisão na morfoespeciação das plantas em campo.

Para mensurarmos a densidade da vegetação herbácea e arbustiva nós fotografamos sistematicamente quatro locais do ponto amostral em torno da armadilha em quatro direções distintas. As fotografias foram tiradas com um anteparo de fundo branco de 100x100 cm, a uma distância de 3 m do pano de fundo e a 1 m de altura do solo (Nobis 2005). Nós calculamos a densidade da vegetação herbácea e arbustiva utilizando a opção de “Análise Global” do software SideLook (Nobis 2005) com a porcentagens de pixels negros presentes na imagem.

Com auxílio de um quadrado de 25x25 cm nós coletamos a serapilheira no interior do mesmo, contamos os itens presentes (e.g. folhas, troncos, sementes, flores etc.) na mesma e calculamos a heterogeneidade através do índice de Shannon (Paolucci et al. *em preparação*). Após este procedimento, nós levamos a serapilheira à estufa por 96 horas, para obtenção do peso seco, e a pesamos em balança de precisão.

Para calcular a abertura do dossel obtivemos uma fotografia digital hemisférica do dossel com o auxílio de uma câmera fotográfica com uma lente olho-de-peixe 0,20x acoplada. A câmera foi posicionada a 1,5 m de altura do solo e próxima ao ponto amostral. Com essas fotografias, é possível calcular, de forma indireta, a cobertura do dossel (Engelbrecht & Herz 2001). Analisamos as fotografias através do software Gap Light Analyser 2.0 (GLA), o qual fornece a porcentagem da abertura do dossel (Frazer et al. 1999).

2.3 Análise dos dados

Nós fizemos todas as análises de dados utilizando como base as comparações dos tipos de reabilitações que remetem aos objetivos do trabalho (ver Tabela 1). Desta forma, as análises foram repetidas para cada comparação

descrita no objetivo a fim de indicar quais foram as melhores estratégias de reabilitação utilizadas. Em todas elas nós utilizamos os dados de toda a comunidade de formigas unindo os dados coletados nos três estratos. As curvas de acumulação de espécies entre épocas e as análises de partição hierárquica e DISTLM foram feitas em conjunto para as comparações I e II, pois apesar de serem comparações distintas foram amostrados os mesmos pontos.

Para inferir sobre quais áreas (controle vs. em reabilitação) ou época (chuvosa vs. seca) possuíam maior riqueza de espécies, nós fizemos curvas de acumulação de espécies com o auxílio do pacote `vegan` no software R 2.14 (R Development Core Team 2011). Nós construímos as curvas de acumulação de espécies utilizando o número de espécies observado com randomizações, acrescentando os locais de coleta em ordem aleatória, para gerar intervalos de confiança.

Para verificar se a composição de espécies é afetada pelos tipos de reabilitação e pela sazonalidade, nós realizamos análises de similaridade (ANOSIM) usando o índice de similaridade de Jaccard, adequado para matrizes de presença e ausência, no software PAST (Hammer et al. 2001).

Utilizamos a partição hierárquica para avaliar os efeitos independentes das variáveis ambientais na riqueza de espécies de formigas nas duas épocas (Chevan & Sutherland 1991). A partição hierárquica é uma técnica de regressão múltipla na qual todos os modelos lineares possíveis são considerados de forma conjunta para identificar os principais fatores que efetivamente influenciam a variável resposta (Chevan & Sutherland 1991; MacNally 2000). O modelo foi criado com a distribuição de erros Poisson, adequada para dados de contagem. A significância dos efeitos independentes foi obtida através da randomização com 500 aleatorizações (MacNally 2000). A análise de dados foi feita com o pacote `hier.part`, do software R 2.14 (R Development Core Team 2011).

A fim de identificar relações entre as variáveis ambientais e a composição de espécies nós realizamos duas análises multivariadas baseadas em distância para um modelo linear (DISTLM), uma para a época chuvosa e outra para a época seca utilizando a composição total de espécies. Estas análises foram realizadas com o software Primer 6 e Permanova + (Anderson et al. 2008).

Nós também realizamos o teste IndVal (Indicator Species Analyses) para apontar espécies indicadoras, a partir de seu valor de indicação, para cada área (Dufrene & Legendre 1997). Foram feitos testes para cada época. As significâncias foram obtidas pelo teste de Monte Carlo com 4999 randomizações. Nós realizamos os testes com o auxílio do software PC-ORD 5.1 (McCune & Mefford 2006).

3 RESULTADOS

Nós amostramos 172 espécies de formigas pertencentes a 30 gêneros de oito subfamílias. Neste estudo as espécies mais comuns pertenceram ao gênero *Pheidole* e a subfamília Myrmicinae (Tabela 2). Além disso, encontramos diferenças no número de espécies de formigas nas épocas chuvosa e seca em todas as comparações (Figuras 1a, 1b e 1c). Assim, todas as análises posteriores foram realizadas em separado para ambas as épocas. As curvas de acumulação da riqueza de espécies foram feitas em conjunto para as comparações I e II, pois os dados de riqueza são provenientes dos mesmos pontos amostrais.

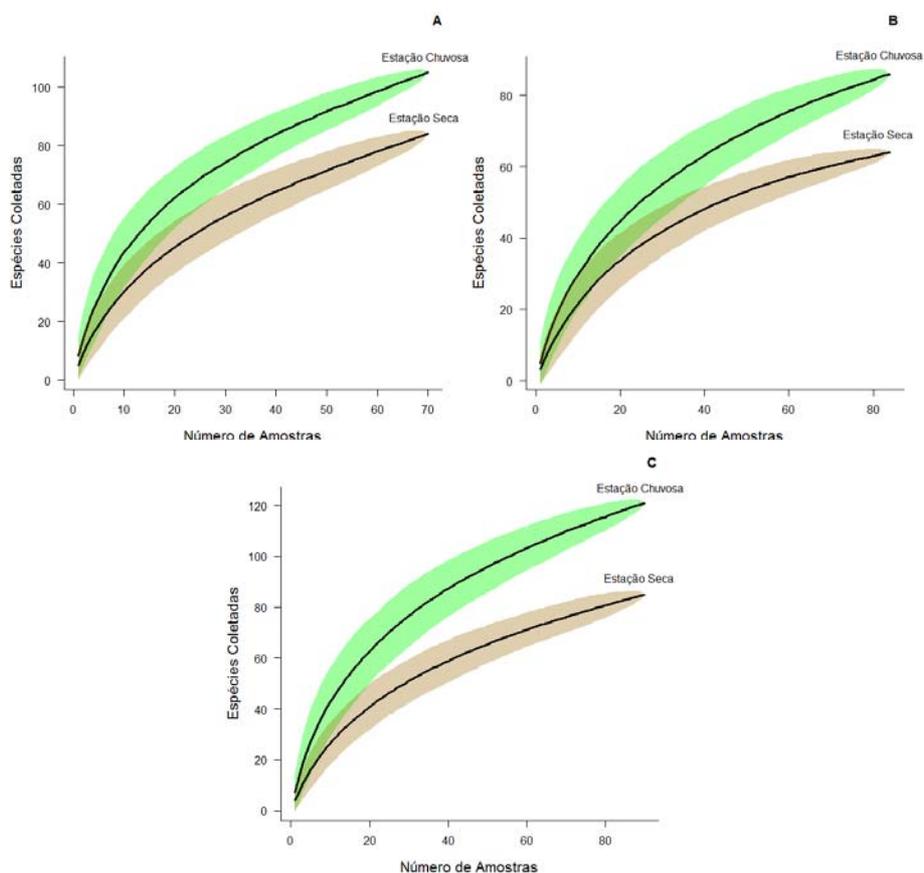


Figura 1 Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa e seca com a riqueza total de espécies das comparações dos tempos das reabilitações e tipos de gramíneas exóticas utilizadas (a), da comparação entre reabilitações feitas com espécie exótica e espécies nativas (b) e a comparação reabilitações feitas com capim gordura em cava e sobre pilha estéril (c) com intervalos de confiança de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

Tabela 2 Número de espécies de formigas, distribuídas por gênero, coletadas em campos ferruginosos, mata ciliar e áreas em reabilitação pós-mineração nas épocas chuvosa (C) e seca (S), coletadas em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

Gênero	R2		R4		R6		R8		R10		GE		BE		GC		RN		MC		CG		CS		
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	
<i>Acantosticus</i>																									1
<i>Acromyrmex</i>	1	1			2		2	1	1	1	1	1	3	1	1				4	1					4
<i>Atta</i>																			1	1					
<i>Brachymyrmex</i>	4	2	2	2	2	2	3	1	4	4	5	3	5	5	5	6	1	3	4	6	1	1	5	5	
<i>Camponotus</i>	4	4	4	3	3	5	7	7	8	5	5	4	10	9	8	5	4	3	12	9		1	9	6	
<i>Cardiocondila</i>																		1	1	1					
<i>Carebara</i>																								1	1
<i>Cephalotes</i>			1	1	3	1	2	2	1	1	1	1	3	2	1				2	1	1	1	2	2	
<i>Crematogaster</i>	1		1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1					4	2
<i>Cyphomyrmex</i>		1	1	1	1	1	1				1	1	2	1	1	1	1	1						2	
<i>Dolicoderus</i>																			1						
<i>Dorymyrmex</i>			1								1				1	1		1							
<i>Ectatomma</i>																			2	1				1	1
<i>Gnamptogenys</i>			1			1				1				1					3					2	1
<i>Hylomyrma</i>																			1						
<i>Hypoconera</i>				1		1	2		1			1	2	1					1	1					
<i>Labidus</i>								1						1					1						3

“Tabela 2, conclusão”

<i>Linepithema</i>			2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	1		3	2	1	3	3	3
<i>Myrmelachysta</i>	1				1			1	1		1		2	1		1	1		1	1	2	1	2	1
<i>Neivamyrmex</i>																								1
<i>Nesomyrmex</i>																								1
<i>Nylanderia</i>	1		1	1		1				1	1		1			1	2						1	1
<i>Odontomachus</i>									1				1						1	1			1	
<i>Pachycondyla</i>									1	1			1	1	1	1			1	1			3	
<i>Pheidole</i>	2	3	5	5	5	6	3	5	6	5	6	5	8	9	11	7	5	4	9	7			11	13
<i>Pseudomyrmex</i>			5	1	6	5	4	4	4	2	5	1	8	7	1	2	1	1	1				2	3
<i>Solenopsis</i>	2	2	3	1	6	3	5	3	4	3	3	2	9	5	4	3	1	1	9	4			6	3
<i>Strumigenys</i>					1	1	1		1				1	1	1					1				
<i>Trachymyrmex</i>																		2						1
<i>Wasmannia</i>				1	1		1		1	1		1	1	1	2	1							3	1
Total	16	1	2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	5	5	43	3	1	1	6	3	5	7	66	45

Reabilitação com 2 anos (R2), reabilitação com 4 anos (R4), reabilitação com 6 anos (R6), reabilitação com 8 anos (R8), reabilitação com 10 anos (R10), reabilitação com capim gordura sobre estéril (GE), reabilitação com braquiária sobre estéril (BE), reabilitação com capim gordura sobre cava (GC), reabilitação com espécies nativas (RN), mata ciliar (MC), canga (CG) e campo sujo (CS).

3.1 Comparação I - Tempo de reabilitação

A riqueza de espécies diferiu entre os tempos de reabilitação na época chuvosa, quando houve maior número de espécies nas áreas controle, reabilitações mais antigas, e por fim as reabilitações mais novas (Figura 2a). Entretanto, na época seca apenas a reabilitação apresentou claramente um menor número de espécies (Figura 2b).

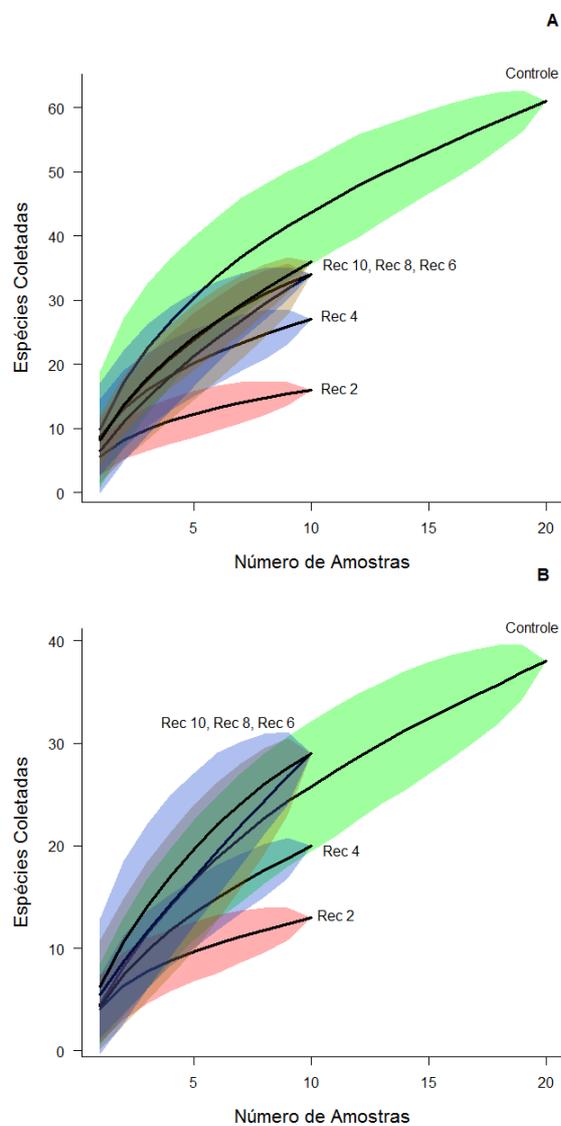


Figura 2 Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) dos tempos de reabilitação e área de mata ciliar com intervalos de confiança de 95%. Reabilitação com 10 anos (Rec 10), reabilitação com 8 anos (Rec 8), reabilitação com 6 anos (Rec 6), reabilitação com 4 anos (Rec 4) e reabilitação com 2 anos (Rec 2) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

Nós encontramos diferenças significativas na composição de espécies de formigas entre as áreas nas épocas chuvosas (ANOSIM: $R = 0,4986$; $p < 0,0001$) e seca (ANOSIM: $R = 0,3372$; $p < 0,0001$). Na época chuvosa, apenas a composição de espécies das áreas em reabilitação com seis e oito anos não foram distintas. Para a época seca foram formados quatro grupos: a reabilitação com dois anos, a reabilitação com quatro anos, a reabilitação com seis anos similar a área controle e as reabilitações com oito e dez anos, que também não apresentaram diferenças (Tabela 3).

Tabela 3 Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações com diferentes idades de recuperação nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.

Época		R2	R4	R6	R8	R10
Chuvosa	R4	0,237 (**)				
	R6	0,779 (**)	0,667 (**)			
	R8	0,953 (**)	0,904 (**)	0,107 (-)		
	R10	0,739 (**)	0,764 (**)	0,168 (*)	0,145 (*)	
	C	0,826 (**)	0,734 (**)	0,418 (**)	0,284 (**)	0,456 (**)
Seca	R4	0,223 (**)				
	R6	0,706 (**)	0,735 (**)			
	R8	0,825 (**)	0,652 (**)	0,199 (**)		
	R10	0,708 (**)	0,607 (**)	0,106 (*)	0,024 (-)	
	C	0,485 (**)	0,501 (**)	0,055 (-)	0,135 (*)	0,131 (*)

Valores de p: (-) não significativos; (*) $p < 0,05$; e (**) $p < 0,01$.

Reabilitação com 2 anos (R2), reabilitação com 4 anos (R4), reabilitação com 6 anos (R6), reabilitação com 8 anos (R8), reabilitação com 10 anos (R10) e Controle (C).

Nesta primeira comparação, encontramos 22 espécies como potenciais indicadoras na época chuvosa e 13 na época seca. As que apresentaram os maiores valores de indicação na época chuvosa foram *Ectatomma edentatum* e *Pachycondyla striata*, encontradas nas áreas controle e *Pseudomyrmex* sp. 5, encontrada em áreas de reabilitação com quatro anos. As espécies encontradas

na época seca com maior valor de indicação foram *Solenopsis invicta*, na reabilitação com dois anos, *Camponotus crassus*, para a reabilitação com quatro anos, e *Pheidole* sp. 25 para as áreas controle (Tabela 4).

Tabela 4 Espécies de formigas indicadoras de áreas de mata e reabilitações com diferentes idades nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia ou reabilitação da espécie indicadora. IndVal – valor de indicação. *p* – probabilidade, resultado do teste de permutação.

Espécie	Área	Época chuvosa		Época Seca	
		IndVal	<i>p</i>	IndVal	<i>p</i>
<i>Brachymyrmex</i> sp. 11	R2	26,1	0,0146		
<i>Brachymyrmex</i> sp. 12	R2			26,3	0,0172
<i>Camponotus crassus</i>	R2	41,7	0,0002		
<i>Camponotus melanoticus</i>	R2	24,5	0,0228	25,7	0,0148
<i>Brachymyrmex</i> sp. 11	R2	26,1	0,0146		
<i>Solenopsis invicta</i>	R2			62,3	0,0002
<i>Camponotus crassus</i>	R4			40,0	0,0004
<i>Nylanderia</i> sp. 1	R4	35,7	0,0012	32,0	0,0052
<i>Pheidole</i> sp. 5	R4			30,0	0,0112
<i>Pheidole</i> sp. 10	R4	25,7	0,0142		
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 5	R4	51,4	0,0002		
<i>Solenopsis invicta</i>	R4	40,5	0,0002		
<i>Camponotus rufipes</i>	R6			33,3	0,0006
<i>Camponotus</i> sp. 24	R8	37,6	0,0002	26,7	0,0152
<i>Cephalotes pusillus</i>	R8	22,6	0,0482	26,7	0,0140
<i>Linepithema</i> sp. 1	R8	30,3	0,0040	31,2	0,0020
<i>Acromyrmex</i> sp. 4	R10			22,5	0,0430
<i>Brachymyrmex</i> sp. 9	R10	30,0	0,0028		
<i>Pheidole</i> sp. 18	R10	26,7	0,0156		
<i>Camponotus lespesii</i>	C	27,0	0,0066		
<i>Camponotus</i> sp. 13	C	25,0	0,0082		
<i>Camponotus</i> sp. 14	C	22,3	0,0134		
<i>Camponotus</i> sp. 19	C	35,0	0,0028		
<i>Camponotus</i> sp. 21	C			20,0	0,0466
<i>Ectatomma edentatum</i>	C	55,0	0,0002		
<i>Gnamptogenys</i> sp. 1	C	22,5	0,0340		
<i>Myrmelachysta</i> sp. 4	C	30,0	0,0020		
<i>Pachycondila striata</i>	C	50,0	0,0002	22,5	0,0348
<i>Pheidole</i> sp. 25	C	32,0	0,0016	45,0	0,0006

Reabilitação com 2 anos (R2), reabilitação com 4 anos (R4), reabilitação com 6 anos (R6), reabilitação com 8 anos (R8), reabilitação com 10 anos (R10) e controle (C).

3.2 Comparação II - Tipos de gramíneas exóticas utilizadas na reabilitação

As curvas de acumulação da época chuvosa mostraram maior riqueza nas áreas controle, seguidas pelas áreas em reabilitação com capim braquiária e, por fim, as reabilitações com capim gordura (Figura 3a). Porém, na época seca, as riquezas das áreas em reabilitação com capim braquiária e controle foram similares e maiores que a riqueza das áreas com capim gordura (Figura 3b).

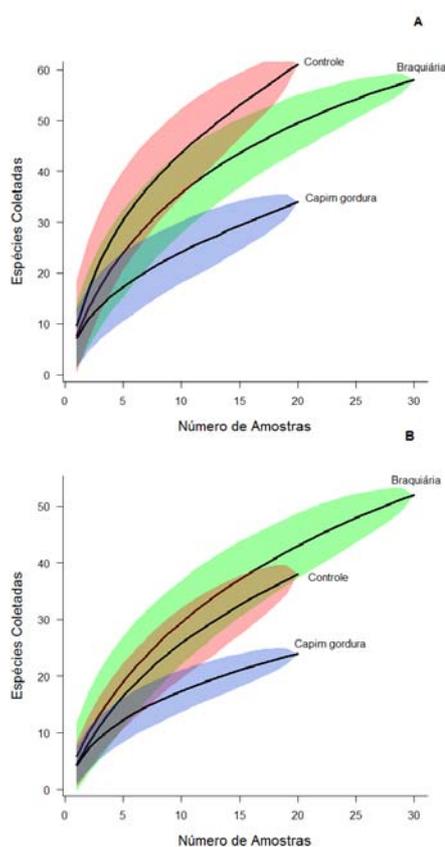


Figura 3 Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) das reabilitações revegetadas com os capins braquiária e gordura e áreas de mata ciliar com intervalos de confiança de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

Quanto à composição de espécies de formigas nós encontramos diferença significativa entre as áreas nas épocas chuvosas (ANOSIM: $R = 0,6637$; $p < 0,0001$) e seca (ANOSIM: $R = 0,5317$; $p < 0,0001$). Nesta análise, todas as áreas controle e tipos de reabilitação apresentaram diferença na composição de espécies tanto na época chuvosa quanto na época seca (Tabela 5).

Tabela 5 Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações revegetadas com duas espécies de capins nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.

Época		Capim gordura	Capim Braquiária
Chuvosa	Capim Braquiária	0,681 (**)	
	Controle	0,863 (**)	0,488 (**)
Seca	Capim Braquiária	0,656 (**)	
	Controle	0,607 (**)	0,353 (**)

Valores de p: (-) não significativos; (*) $p < 0,05$; e (**) $p < 0,01$.

Nós encontramos 27 espécies como potenciais indicadoras na época chuvosa e 23 na seca. Nas reabilitações com capim gordura sobre pilha de estéril nas duas épocas as espécies *Camponotus crassus* e *Solenopsis invicta*, apresentaram alto valor de indicação. As demais espécies destacadas foram *Linepithema* sp. 1 para a área revegetada com capim braquiária nas duas épocas e *Ectatomma edentatum* e *Pheidole* sp. 25 para as áreas controle nas épocas chuvosa e seca, respectivamente (Tabela 6).

As variáveis DPL, EHA e PSE afetaram significativamente e positivamente a riqueza de formigas na época chuvosa (Figura 4a). Na época seca, as variáveis que afetaram a riqueza de formigas significativamente e positivamente foram CPL e APL (Figura 4b).

Tabela 6 Espécies de formigas indicadoras de áreas de mata e reabilitações com diferentes espécies de capins exóticos nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia ou reabilitação da espécie indicadora. IndVal – valor de indicação. p – probabilidade, resultado do teste de permutação.

Espécie	Área	Época chuvosa		Época Seca	
		IndVal	p	IndVal	p
<i>Brachymyrmex</i> sp. 11	CG	45,2	0,0004		
<i>Camponotus crassus</i>	CG	88,2	0,0002	49,1	0,0002
<i>Camponotus melanoticus</i>	CG	54,4	0,0002	46,5	0,0002
<i>Crematogaster</i> sp. 5	CG	25,0	0,0026		
<i>Nylanderia</i> sp. 1	CG	35,0	0,0002	17,1	0,0264
<i>Pheidole</i> sp. 2	CG	36,8	0,0002	30,0	0,0014
<i>Pheidole</i> sp. 5	CG			15,0	0,0408
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 5	CG	27,0	0,0020		
<i>Solenopsis invicta</i>	CG	76,1	0,0002	65,0	0,0002
<i>Acromyrmex</i> sp. 4	CB			13,3	0,0408
<i>Camponotus rufipes</i>	CB			32,5	0,043
<i>Camponotus</i> sp. 16	CB			13,3	0,0444
<i>Camponotus</i> sp. 24	CB			20,0	0,0152
<i>Cephalotes pusillus</i>	CB	35,3	0,0016	32,0	0,0012
<i>Crematogaster</i> sp. 7	CB			16,7	0,0372
<i>Linepithema</i> sp. 1	CB	55,9	0,0002	60,0	0,0002
<i>Pheidole</i> sp. 18	CB	20,0	0,0162		
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 4	CB			13,3	0,0418
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 8	CB			16,7	0,0392
<i>Solenopsis</i> sp. 30	CB	30,4	0,0058	30,4	0,0036
<i>Wasmannia</i> sp. 1	CB	13,3	0,0396		
<i>Acromyrmex</i> sp. 2	CT			15,0	0,0384
<i>Atta</i> sp. 1	CT			15,0	0,0382
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1	CT			15,0	0,0424
<i>Camponotus lespesii</i>	CT	36,8	0,0002	15,0	0,0410
<i>Camponotus</i> sp. 13	CT	25,0	0,0024		
<i>Camponotus</i> sp. 14	CT	29,4	0,0020		
<i>Camponotus</i> sp. 19	CT	35,0	0,0002		
<i>Camponotus</i> sp. 21	CT	16,0	0,0500	20,0	0,0100
<i>Ectatomma edentatum</i>	CT	55,0	0,0002		
<i>Gnamptogenys</i> sp. 1	CT	25,7	0,0032		
<i>Myrmelachysta</i> sp. 4	CT	30,0	0,0004		
<i>Odontomachus chelifer</i>	CT	15,0	0,0424		
<i>Pachycondila striata</i>	CT	50,0	0,0002	27,0	0,0020
<i>Pheidole</i> sp. 5	CT	15,0	0,0430		
<i>Pheidole</i> sp. 25	CT	35,6	0,0004	45,0	0,0002
<i>Solenopsis</i> sp. 14	CT	19,7	0,0162		
<i>Trachymyrmex</i> sp. 2	CT	15,0	0,0382		

Reabilitação com capim gordura (CG), reabilitação com capim braquiária (CB) e controle (CT).

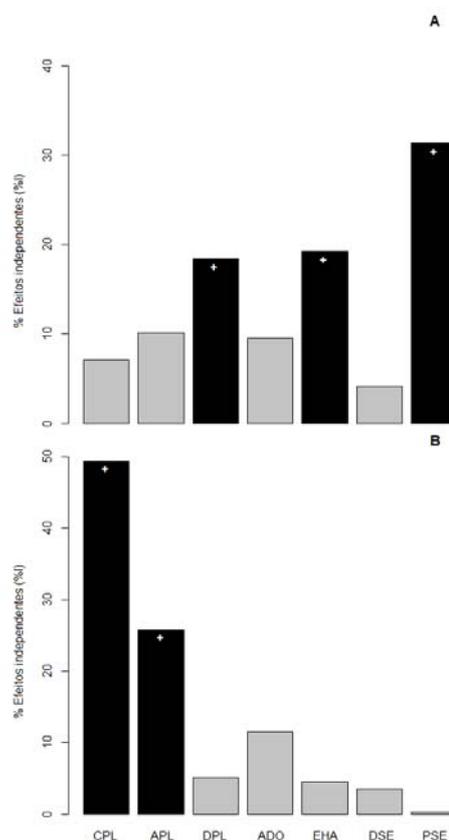


Figura 4 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas das comparações dos tempos das reabilitações e tipos de gramíneas exóticas utilizadas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: Cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,47$; $z^{\text{Seca}} = 5,21$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,98$; $z^{\text{Seca}} = 2,25$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,25$; $z^{\text{Seca}} = -0,15$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,86$; $z^{\text{Seca}} = 0,61$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,39$; $z^{\text{Seca}} = -0,20$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,04$; $z^{\text{Seca}} = -0,33$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 4,02$; $z^{\text{Seca}} = -0,69$).

As sete variáveis ambientais mensuradas explicaram em conjunto 20,6% da variação na composição de espécies da comunidade durante a época chuvosa. As variáveis mais importantes foram CPL (9,4%), PSE (6,0%) e EHA (4,7%) (Tabela 7). Na época seca foram encontradas seis variáveis que em conjunto explicam 46,5 % da variação na comunidade de formigas entre áreas. As mais importantes nesta época também foram ADO (9,5%), DSE (8,3%) e APL (8,2%). A única variável não significativa foi EHA (Tabela 7).

Tabela 7 Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independente a composição de espécies de formigas das áreas controle e das comparações dos tempos das reabilitações e tipos de gramíneas exóticas utilizadas nas épocas chuvosa nas épocas chuvosa e seca.

Variável	Chuvosa		Seca	
	<i>p</i>	Proporção %	<i>p</i>	Proporção %
DPL	0,0001	0,12	0,0001	7,44
APL	0,0001	0,13	0,0001	8,19
CPL	0,0001	9,43	0,0001	6,90
EHA	0,0017	4,67	0,1891	1,92
DSE	0,0001	0,13	0,0001	8,31
PSE	0,0002	5,98	0,0011	4,24
ADO	0,0001	0,15	0,0001	9,56

Densidade de plantas (DPL), altura de plantas (APL), cab de plantas (CPL), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA), diversidade da serapilheira (DSE), peso da serapilheira (PSE) e abertura de dossel (ADO).

3.3 Comparação III – Comparação entre reabilitações feitas com espécie exótica e espécies nativas

As curvas de acumulação da época chuvosa mostram que há maior número de espécies nas áreas de campo sujo em reabilitação com capim gordura e menor número de espécies nas áreas de reabilitação com espécies nativas e de canga (Figura 5a). Para a época seca, as curvas mostram um padrão diferente

com uma única área com número de espécies inferior, a área de canga (Figura 5b).

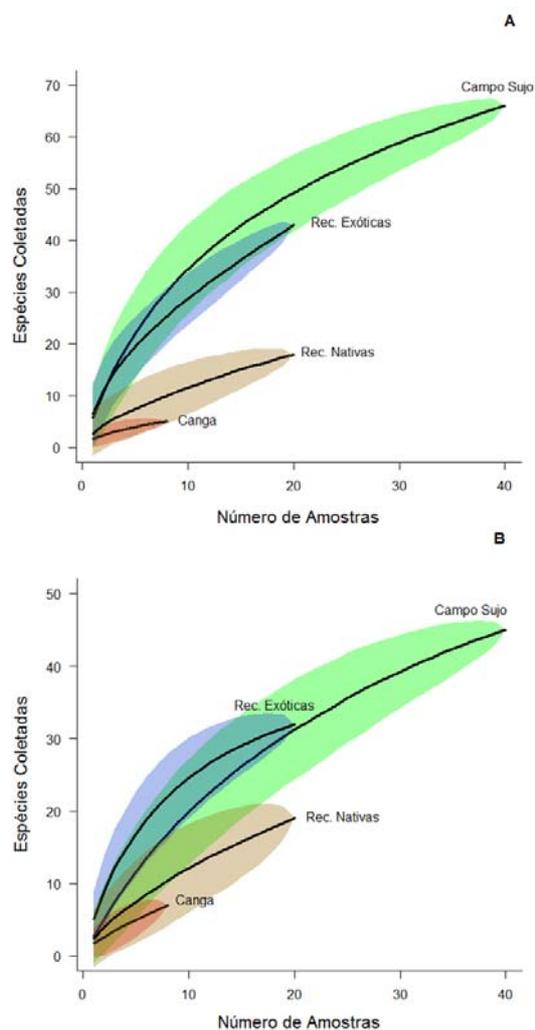


Figura 5 Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) das reabilitações revegetadas com espécies nativas e exóticas, áreas de campos sujo e canga com intervalos de confinça de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

Nós encontramos diferenças significativas na composição de espécies de formigas entre as áreas na época chuvosa (ANOSIM: $R = 0,2528$; $p < 0,0001$) e na seca (ANOSIM: $R = 0,1672$; $p < 0,0001$). As áreas em recuperação e controle, em ambas as épocas, apresentaram diferença na composição de espécies, mas houveram duas exceções. Na época chuvosa, as áreas em reabilitações com capim gordura não apresentaram diferença na composição de espécies com as áreas controle de campo sujo, e na época seca não houve diferença na composição de espécies entre as áreas controle de campo sujo e reabilitações com espécies nativas (Tabela 8).

Tabela 8 Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações revegetadas com espécie exótica e espécies nativas nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.

Época		Exótica	Nativa	Campo Sujo
Chuvosa	Nativa	0,361 (**)		
	Campo Sujo	0,016 (-)	0,220 (**)	
	Canga	0,864 (**)	0,969 (**)	0,443 (**)
Seca	Nativa	0,228 (**)		
	Campo Sujo	0,071 (*)	0,065 (-)	
	Canga	0,531 (**)	0,880 (**)	0,2353 (**)

Valores de p: (-) não significativos; (*) $p < 0,05$; e (**) $p < 0,01$.

As relações encontradas na época chuvosa mostram que as variáveis CPL e EHA afetaram a riqueza negativamente enquanto o PSE afetou positivamente a riqueza de formigas (Figura 6a). Contudo, na época seca, as variáveis que afetaram significativamente e negativamente a riqueza de formigas foram CPL, EHA e DPL (Figura 6b).

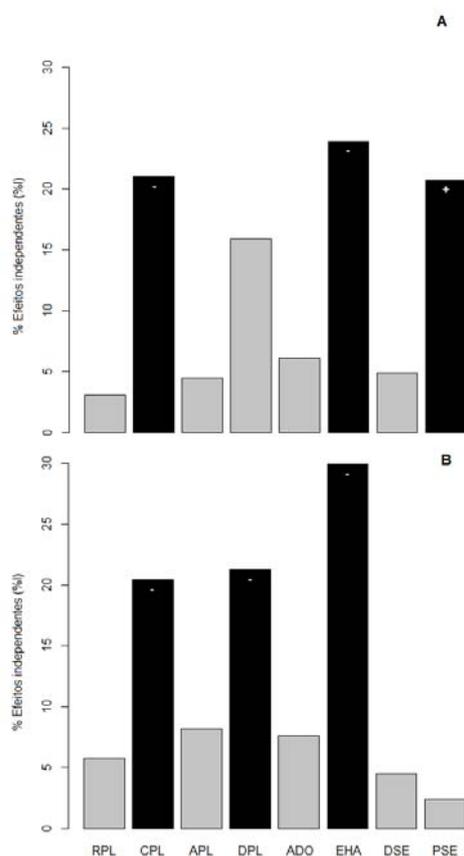


Figura 6 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas das reabilitações revegetadas com espécies nativas e exóticas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: Riqueza de plantas (RPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,41$; $z^{\text{Seca}} = 0,16$), cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,81$; $z^{\text{Seca}} = 2,35$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,20$; $z^{\text{Seca}} = 0,53$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,02$; $z^{\text{Seca}} = 2,58$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,04$; $z^{\text{Seca}} = 0,41$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,03$; $z^{\text{Seca}} = 4,50$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = -0,18$; $z^{\text{Seca}} = 0,01$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,79$; $z^{\text{Seca}} = -0,37$).

Todas as oito variáveis explicaram de forma conjunta 30,45% da variação na composição de formigas entre áreas. As variáveis mais importantes foram DSE (7,3%), PSE (5,5%) e DPL (4,8%) (Tabela 9). Na época seca as oito variáveis também foram significativas, mas em conjunto explicaram 27,09% da variação na composição de formigas entre áreas. As mais importantes nesta época foram DPL (5,2%), ADO (4,2%) e RPL (4,1%) (Tabela 9).

Tabela 9 Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independente a composição de espécies de formigas das áreas controle e das reabilitações revegetadas com espécies nativas e exóticas nas épocas chuvosa e seca.

Variável	Chuvosa		Seca	
	<i>p</i>	Proporção %	<i>p</i>	Proporção %
RPL	0,0004	4,21	0,0005	4,15
DPL	0,0001	4,81	0,0001	5,22
APL	0,0037	3,13	0,0006	4,05
CPL	0,0055	2,99	0,0081	2,80
EHA	0,0194	2,51	0,0007	3,61
DSE	0,0001	7,28	0,0005	3,77
PSE	0,0001	5,52	0,0015	3,49
ADO	0,0004	3,82	0,0003	4,21

Riqueza de plantas (RPL), densidade de plantas (DPL), altura de plantas (APL), cab de plantas (CPL), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA), diversidade da serapilheira (DSE), peso da serapilheira (PSE) e abertura de dossel (ADO).

Nesta comparação, encontramos 17 espécies como potenciais indicadoras na época chuvosa e 10 na época seca. Duas em canga, uma para a época chuvosa e uma para a época seca, as espécies *Linepithema* sp. 2 e *Linepithema* sp. 3, respectivamente, que apresentaram alto valor de indicação. As espécies *Camponotus* sp. 3 e *Camponotus crassus* foram frequentes nas reabilitações com espécies nativas nas épocas chuvosa e seca, respectivamente.

A espécie com maior valor de indicação para as áreas de recuperação com capim gordura em ambas as épocas foi *Camponotus leydigi* (Tabela 10).

Tabela 10 Espécies de formigas indicadoras de áreas de campos ferruginosos e reabilitações feitas com espécies de nativas e um capim exótico nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia ou reabilitação da espécie indicadora. IndVal – valor de indicação. p – probabilidade, resultado do teste de permutação.

Espécie	Área	Época chuvosa		Época Seca	
		IndVal	p	IndVal	p
<i>Brachymyrmex</i> sp. 12	Exótico	29,4	0,0220		
<i>Camponotus leydigi</i>	Exótico	38,6	0,0018	37,6	0,0020
<i>Dorymyrmex brunneus</i>	Exótico	20,0	0,0166	20,0	0,0180
<i>Linepithema</i> sp. 2	Exótico	21,2	0,0320		
<i>Pachycondila verena</i>	Exótico	15,0	0,0328	15,0	0,0416
<i>Pheidole</i> sp. 1	Exótico	32,7	0,0060	34,5	0,0014
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 3	Exótico			15,0	0,0416
<i>Solenopsis invicta</i>	Exótico	18,5	0,0262	24,8	0,0180
<i>Solenopsis</i> sp. 7	Exótico			15,0	0,0364
<i>Camponotus crassus</i>	Nativas	48,5	0,0004	48,5	0,0002
<i>Camponotus</i> sp. 3	Nativas	51,3	0,0002	35,7	0,0022
<i>Crematogaster</i> sp. 8	Nativas	12,5	0,0382		
<i>Acromyrmex</i> sp. 1	Campo Sujo	23,3	0,0212		
<i>Ectatomma edentatum</i>	Campo Sujo	17,5	0,0416		
<i>Nylanderia</i> sp. 3	Campo Sujo	20,0	0,0334		
<i>Solenopsis</i> sp. 30	Campo Sujo	23,3	0,0198		
<i>Brachymyrmex</i> sp. 3	Canga	25,0	0,0098		
<i>Linepithema</i> sp. 2	Canga			76,9	0,0002
<i>Linepithema</i> sp. 3	Canga	80,8	0,0002		
<i>Myrmelachysta</i> sp. 1	Canga	16,7	0,0468		

3.4 Comparação IV – Comparação entre reabilitações feitas com capim gordura em cava e sobre pilha de estéril

Na época chuvosa as áreas controle de mata ciliar apresentaram maior número de espécies, em seguida vêm as áreas controle de campo sujo e as reabilitações sobre cava, e por último as áreas em reabilitação sobre pilha de estéril (Figura 7a). Para a época seca também encontramos maior número de espécies nas áreas controle de mata, mas as áreas com riqueza intermediária são as áreas em recuperação sobre a cava, e por fim, as áreas em reabilitação sobre pilha de estéril e controle de campo sujo (Figura 7b).

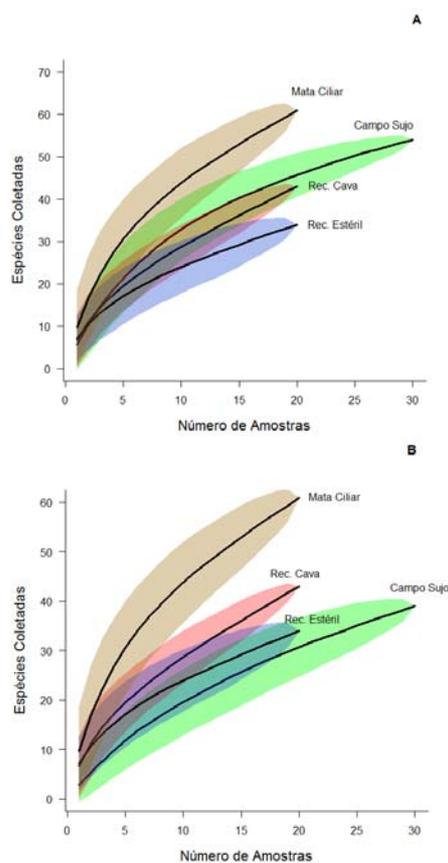


Figura 7 Curvas de acumulação de espécies de formigas nas épocas chuvosa (a) e seca (b) das reabilitações revegetadas com capim gordura sobre cava e pilha estéril, áreas de campos sujo e mata ciliar com intervalos de confiança de 95% em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

Nós encontramos diferenças significativas na composição de espécies de formigas entre as áreas na época chuvosa (ANOSIM: $R = 0,4269$; $p < 0,0001$) e seca (ANOSIM: $R = 0,2751$; $p < 0,0001$). Todas as áreas em reabilitação com capim gordura e controles distintos, campo sujo e mata, apresentaram diferença na composição de espécies nas duas épocas (Tabela 11).

Tabela 11 Dissimilaridade entre grupos (valores de R) de formigas em áreas controle e reabilitações revegetadas com capim gordura com objetivos distintos nas épocas chuvosa e seca obtidas com a ANOSIM. Quanto maior o valor de R maior é a dissimilaridade entre os grupos.

Época		Capim em Cava	Campo Sujo	Capim em Estéril
Chuvosa	Campo Sujo	0,119 (**)		
	Capim em Estéril	0,478 (**)	0,297 (**)	
	Mata Ciliar	0,805 (**)	0,430 (**)	0,863 (**)
Seca	Campo Sujo	0,121 (**)		
	Capim em Estéril	0,229 (**)	0,138 (**)	
	Mata Ciliar	0,552 (**)	0,247 (**)	0,607 (**)

Valores de p: (-) não significativos; (*) $p < 0,05$; e (**) $p < 0,01$.

O CPL e a APL afetaram positivamente a riqueza de formigas nas áreas e a ADO foi negativamente relacionada à riqueza de formigas durante a época chuvosa (Figura 8a). Não obstante, na época seca as variáveis que afetaram a riqueza de formigas significativa e negativamente foram EHA, DPL e ADO enquanto a APL afetou positivamente a riqueza de formigas (Figura 8b).

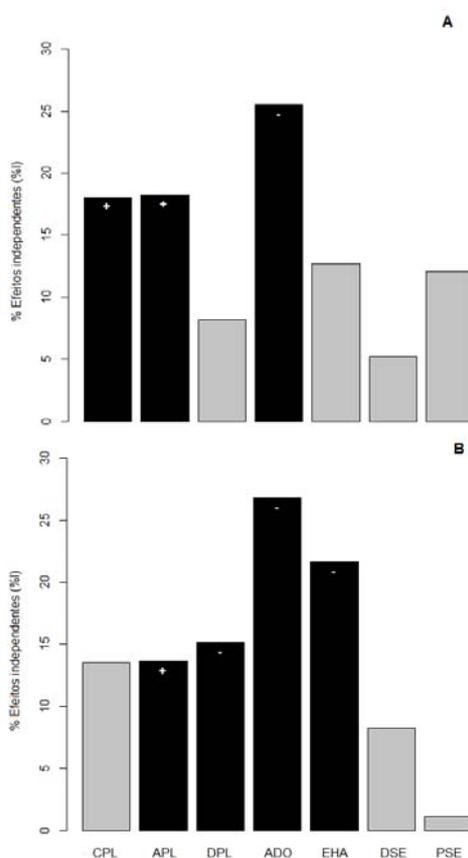


Figura 8 Distribuição da porcentagem dos efeitos independentes de cada variável mensurada na riqueza de formigas das reabilitações revegetadas com capim gordura sobre cava e pilha estéril nas épocas chuvosa (a) e seca (b) em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Barras negras representam efeitos significativos ($p < 0,05$), obtidos com testes de aleatorização. Relações positivas são representadas com o símbolo (+) e as negativas com o símbolo (-). As variáveis ambientais e seus valores z em cada época foram: Cab de plantas (CPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,80$; $z^{\text{Seca}} = 1,52$), altura de plantas (APL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 2,02$; $z^{\text{Seca}} = 1,69$), densidade de plantas (DPL) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,49$; $z^{\text{Seca}} = 1,69$), abertura de dossel (ADO) ($z^{\text{Chuvosa}} = 3,99$; $z^{\text{Seca}} = 4,21$), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,34$; $z^{\text{Seca}} = 3,12$), diversidade da serapilheira (DSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 0,20$; $z^{\text{Seca}} = 0,56$) e peso da serapilheira (PSE) ($z^{\text{Chuvosa}} = 1,16$; $z^{\text{Seca}} = -0,57$).

Durante a época chuvosa todas as sete variáveis explicaram em conjunto 9,86% da variação na composição de espécies entre áreas. As variáveis mais importantes foram EHA (4,4%), e PSE (4,7%) (Tabela 12). Na época seca as mesmas variáveis explicaram em conjunto 35,61% da variação na composição de formigas entre áreas. As mais importantes nesta época foram DPL (9,8%), CPL (8,6%) e DSE (8,3%) (Tabela 12).

Tabela 12 Resultados da DistLM utilizada para avaliar se o conjunto de variáveis ambientais descrevem em proporções significativas e independente a composição de espécies de formigas das áreas controle e das reabilitações revegetadas com capim gordura sobre cava e pilha estéril nas nas épocas chuvosa e seca.

Variável	Chuvosa		Seca	
	<i>P</i>	Proporção %	Variável	<i>p</i>
DPL	0,0001	0,12	0,0001	9,80
APL	0,0001	0,14	0,0001	-
CPL	0,0001	0,13	0,0001	8,66
EHA	0,0002	4,45	0,0001	3,97
DSE	0,0001	0,14	0,0001	8,31
PSE	0,0001	4,74	0,0001	4,77
ADO	0,0001	0,14	0,0001	0,10

Densidade de plantas (DPL), altura de plantas (APL), cab de plantas (CPL), estrutura da vegetação herbácea e arbustiva (EHA), diversidade da serapilheira (DSE), peso da serapilheira (PSE) e abertura de dossel (ADO).

Nós encontramos para a época chuvosa 38 espécies como potenciais indicadoras enquanto na época seca encontramos 20 espécies. Na época chuvosa, as espécies com maior valor de indicação foram encontradas nas áreas de reabilitação sobre minério estéril, elas foram *Camponotus crassus*, *Brachymyrmex* sp. 11 e *Solenopsis invicta*. Na seca outras duas espécies podem ser destacadas como indicadoras, a *Camponotus leydigi* na reabilitação sobre cava e a *Pheidole* sp. 25 em áreas controle de mata ciliar (Tabela 13).

Tabela 13 Espécies de formigas indicadoras de áreas de mata ciliar, campo sujo e reabilitações feitas com o capim gordura sobre cava e minério estéril nas épocas chuvosa e seca, em Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. Área – Fitofisionomia ou reabilitação da espécie indicadora. IndVal – valor de indicação. p – probabilidade, resultado do teste de permutação.

Espécie	Época chuvosa			Época Seca	
	Área	IndVal	p	IndVal	p
<i>Brachymyrmex</i> sp. 12	SC	33,3	0,0002		
<i>Camponotus crassus</i>	SC			27,9	0,0108
<i>Camponotus leydigi</i>	SC	36,8	0,0002	36,9	0,0002
<i>Camponotus</i> sp. 3	SC	25,3	0,0012	16,0	0,0248
<i>Dorymyrmex brunneus</i>	SC	16,0	0,0294	25,0	0,0006
<i>Linepithema</i> sp. 2	SC			25,7	0,0010
<i>Pachycondila verenae</i>	SC	15,0	0,0290	15,0	0,0262
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 3	SC			15,0	0,0304
<i>Pheidole</i> sp. 1	SC	25,6	0,0090	27,0	0,0022
<i>Acromyrmex</i> sp. 1	CS	32,3	0,0004		
<i>Acromyrmex</i> sp. 10	CS	13,3	0,0154		
<i>Linepithema</i> sp. 4	CS	16,7	0,0154		
<i>Nylanderia</i> sp. 3	CS	13,3	0,0172		
<i>Solenopsis</i> sp. 30	CS	17,5	0,0236		
<i>Brachymyrmex</i> sp. 11	SE	65,3	0,0002		
<i>Camponotus crassus</i>	SE	52,2	0,0002		
<i>Camponotus melanoticus</i>	SE	32,0	0,0020	36,3	0,0004
<i>Crematogaster</i> sp. 5	SE	25,0	0,0018		
<i>Nylanderia</i> sp. 1	SE	35,0	0,0002	20,0	0,0056
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 5	SE	30,0	0,0002		
<i>Solenopsis invicta</i>	SE	63,7	0,0002	44,5	0,0002
<i>Acromyrmex</i> sp. 2	MC	15,6	0,0372	15,0	0,0326
<i>Acromyrmex</i> sp. 9	MC	15,0	0,0270		
<i>Atta</i> sp. 1	MC			15,0	0,0316
<i>Brachymyrmex</i> sp. 9	MC	19,3	0,0158	15,0	0,0288
<i>Camponotus lespesii</i>	MC	45,0	0,0002	20,0	0,0068
<i>Camponotus</i> sp. 13	MC	25,0	0,0012		

“Tabela 13, conclusão”

<i>Camponotus</i> sp. 14	MC	35,0	0,0002		
<i>Camponotus</i> sp. 19	MC	35,0	0,0002		
<i>Camponotus</i> sp. 21	MC	16,0	0,0282	20,0	0,0064
<i>Camponotus</i> sp. 24	MC	40,0	0,0002		
<i>Ectatomma edentatum</i>	MC	38,6	0,0002		
<i>Gnamptogenys</i> sp. 1	MC	23,5	0,0024		
<i>Linepithema</i> sp. 1	MC	41,7	0,0002	35,6	0,0002
<i>Myrmelachysta</i> sp. 4	MC	30,0	0,0004		
<i>Pachycondila striata</i>	MC	46,9	0,0002	30,0	0,0002
<i>Pheidole</i> sp. 25	MC	32,0	0,0004	45,0	0,0002
<i>Pheidole</i> sp. 26	MC	15,0	0,0314		
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 7	MC	15,0	0,0282		
<i>Solenopsis</i> sp. 3	MC			15,0	0,0258
<i>Solenopsis</i> sp. 14	MC	25,0	0,0014		
<i>Solenopsis</i> sp. 32	MC	15,0	0,0306		
<i>Trachymyrmex</i> sp. 2	MC	15,0	0,0298		

Reabilitação sobre cava (SC), campo sujo (CS), reabilitação sobre pilha estéril (SE) e mata ciliar (MC).

4 DISCUSSÃO

Nenhuma das técnicas de reabilitação utilizadas foi eficiente na recuperação da riqueza e composição de espécies. As reabilitações mais similares as áreas de mata como referência foram as mais antigas, com distância curta das áreas fonte e que possuíam como espécie exótica o capim braquiária. Já nas áreas que possuíam canga e campo sujo como referência as reabilitações implementadas com a espécie exótica capim gordura e com espécies nativas apresentaram riqueza próxima as áreas de referência, mas a composição não se aproxima da área de canga e sim das áreas de campos sujos, o que depende da estação. Além disso, o capim gordura é mais próximo em riqueza e composição a sua área de referência em áreas de cava que em pilha estéril.

Dentre as 172 espécies de formigas amostradas neste trabalho, o gênero mais comum foi *Pheidole* e a subfamília Myrmicinae. Estes são o gênero e a subfamília mais diversos da região neotropical (Pie & Traniello 2006), inclusive em estudos que utilizam formigas como bioindicadoras (Ribas et al. 2012b, Schmidt et al. 2013). Devido à grande diversidade de hábitos e dietas desses grupos suas espécies ocupam diversos locais, perturbados ou preservados.

O padrão encontrado nas curvas de riqueza de espécies nas épocas chuvosa e seca mostra que há diferença sazonal nas comunidades de formigas. A riqueza varia em decorrência das mudanças nas condições climáticas, de disponibilidade de recursos e da estrutura da vegetação a partir do fim do período chuvoso. A perda de folhas pelas plantas, o aumento da incidência solar e diminuição de recursos levam os insetos a desenvolverem estratégias como a diminuição da atividade ou migração dos ninhos (Wolda 1978, McGlynn 2012).

4.1 Comparação I - Tempo de reabilitação

Na época chuvosa, as áreas controle e as reabilitações mais antigas apresentam maior número de espécies de formigas. Áreas que estão em estágios mais avançados apresentam maior diversidade de espécies e complexidade ambiental enquanto áreas mais recentes possuem a estrutura da vegetação e da comunidade vegetal mais simplificada (Madeira et al. 2009). As reabilitações recentes têm poucas espécies de plantas, mas com o passar do tempo há uma mudança na comunidade vegetal e, concomitantemente, nas comunidades de animais, como as formigas (Ribas et al. 2012b). A maior complexidade e heterogeneidade do ambiente, como maior densidade de plantas e biomassa de serapilheira, proporcionam maior quantidade e qualidade de recursos e melhores condições para as formigas e, desta forma, suportam mais espécies (Ribas et al. 2003, Corrêa et al. 2006, Neves et al. 2010a, Dos-Santos & Perfecto 2011).

Durante a época seca, a riqueza da reabilitação mais nova continua menor, pois a menor disponibilidade de recursos e as condições microclimáticas da mesma não é favorável a maior parte das espécies de formigas. A semelhança na riqueza de espécies entre estágios intermediários e tardios é comumente documentada e uma das explicações é a similaridade de recursos disponíveis nestas áreas (Coelho et al. 2009, Neves et al. 2010b, Silva et al. 2012). É possível que as espécies das áreas controle e reabilitações mais antigas sofram mais com a sazonalidade, pois diminuem substancialmente sua riqueza. Provavelmente, as áreas mais complexas sofrem maior alteração na estrutura da vegetação com a sazonalidade, o que afeta condições microclimáticas e recursos, e as áreas mais jovens são mais estáveis. Como as espécies de áreas iniciais são predominantemente generalistas, os efeitos negativos da sazonalidade refletem menos nesta parcela da comunidade que pode se sobressair em outros estágios

com a simplificação do ambiente na época seca (Sobrinho et al. 2003, Neves et al. 2010b). Na época seca, somente os locais com árvores maiores abrigam um maior número de espécies. Com a diminuição dos recursos na época seca é possível que a estratificação vertical dos locais de nidificação (Campos et al. 2006, Costa et al. 2011), que são mais disponíveis à medida que se passa o tempo de reabilitação, seja o fator mais importante para determinação da riqueza de formigas.

Além do acréscimo no número de espécies dos estágios iniciais para os intermediários e tardios, também pode haver a substituição de espécies vegetais com o aumento do tempo de reabilitação (Majer 1992, Neves et al. 2010b, Schmidt et al. 2013). As áreas com idade de reabilitação de seis e oito anos foram as únicas a não apresentarem diferenças entre si, na composição de espécies na época chuvosa, pois são bem parecidas estruturalmente e devem apresentar as mesmas vantagens e desvantagens para as espécies durante a época chuvosa. Uma vez que, nesta época, os recursos e o clima são mais abundantes e amenos, respectivamente, há o favorecimento de uma maior segregação da comunidade de espécies entre as áreas que na época seca (Neves et al. 2010b).

Já na época seca, a maior similaridade de espécies nas áreas mais jovens mostra que a partir de seis anos a comunidade passa a apresentar um maior número de espécies mais especializadas. A área com seis anos é similar às áreas controle na época seca devido à proximidade da mesma com uma área preservada que pode servir como fonte de espécies. Porém, a similaridade de espécies nas reabilitações com oito e dez anos, e a dissimilaridade destas com as demais, mostram que com o tempo a composição das comunidades de formigas se estabiliza. Assim, é necessário que haja áreas preservadas próximas as reabilitações para que essas sirvam como fonte de recursos e espécies para as áreas em reabilitação (Gardner 2010, Putz & Redford 2010, Colón et al. 2011).

A composição de espécies nas áreas distintas é influenciada pela variação em todas as medidas relacionadas à vegetação em ambas as épocas. Em áreas com maior cobertura, por exemplo, é possível encontrar um maior número de espécies de formigas predadoras comuns em áreas nativas do Cerrado como do gênero *Odontomachus*. As diferenças na diversidade da serapilheira, no tamanho das árvores ou de quaisquer outras variáveis ao longo da reabilitação proporcionam gradientes de recursos e condições para formigas. Assim, estas diferentes áreas podem sustentar parcelas distintas da comunidade de formigas de vários níveis tróficos, como as predadoras nos estágios mais avançados (Dominguez-Haydar & Armbrecht 2011).

A mata ciliar possui espécies especialistas como *Pheidole* sp. 25 e predadoras generalistas, comuns em Cerrado, como *Ectatomma edentatum* e *Pachycondyla striata* (Brandão et al. 2012) por ser um local pouco perturbado (Ottonetti et al. 2006). A *Pseudomyrmex* sp. 5, presente na reabilitação com quatro anos, ter sido associada à esta área, pois muitas espécies do gênero são predadoras que exploram a vegetação e na área em questão observamos uma grande abundância de outros insetos nas plantas. *Solenopsis invicta* e *Camponotus crassus*, espécies generalistas e oportunistas, foram frequentemente encontradas em áreas com dois anos, em início de reabilitação.

4.2 Comparação II - Tipos de gramíneas exóticas utilizadas na reabilitação

Sabe-se que a troca de vegetação nativa por pastagens exóticas pode levar à perda de espécies (Vasconcelos 1999, Almeida et al. 2011), mas com a utilização de gramíneas exóticas na reabilitação há a criação de um novo ambiente. Esses novos ambientes também possuem menor riqueza de espécies que as áreas que possuem maior cobertura de vegetação nativa (Ribas et al.

2012c). Por outro lado, a diferença de riqueza entre as áreas com os diferentes capins pode ser, simplesmente, em decorrência da idade média das reabilitações.

As que são revegetadas com braquiária são mais antigas, e reabilitações mais antigas possuem um maior número de espécies como observado na comparação anterior e por outros autores (Majer & Nichols 1998, Van-Hamburg et al. 2004). Além disso, de forma análoga ao resultado da comparação entre as idades, podemos dizer que há um maior número de espécies dependentes de recursos ou condições que ocorrem exclusivamente na época chuvosa.

A inserção de gramíneas em reabilitações visa, acima de tudo, a estabilização e aumento da matéria orgânica do solo. Porém, o uso de vegetação exótica nessas áreas pode levar ao atraso ou impedimento da reabilitação das áreas (Walker & Del-Moral 2003) e retorno das espécies (Ribas et al. 2012c). Devido às baixas quantidades de matéria orgânica, biomassa de microorganismos e nutrientes nos solos de estágios iniciais (Berendse 1990), os mesmos apresentam baixa número de espécies vegetais.

Assim, as formigas, animais com distribuição intimamente relacionada às espécies de plantas, apresentam diferenças de composição nas áreas em reabilitação e controle (Andersen & Majer 2004). Enquanto nas áreas com capim gordura só existe a presença do capim e de feijão guandu, as áreas com braquiária já apresentam outras espécies nativas de porte arbóreo (observações pessoais). Ademais, a inserção de espécies vegetais exóticas leva a formação de ambientes simplificados e pode facilitar também a chegada de animais invasores e dificultar a recolonização da fauna nativa (Rizali et al. 2012). Deste modo, a composição de espécies das reabilitações só poderá ser semelhante às áreas controle após a recolonização das espécies nativas e subjugação das espécies invasoras.

Camponotus crassus e *Solenopsis invicta* foram apontadas como potenciais indicadoras em áreas em reabilitação dominadas por capim gordura. A primeira é reportada em alguns estudos como indicadora em áreas perturbadas (e.g. Ribas et al. 2012a), mas também é encontrada em áreas em recuperação (Ribas et al. 2012c). Esta formiga é muito comum no Cerrado, frequentemente associada a nectários extraflorais e insetos trofobiontes da vegetação (Kaminski et al. 2012, Madureira et al. 2012, Neves et al. 2012), e descrita como uma formiga agressiva na presença de outros insetos. A *Solenopsis invicta* é uma das mais importantes formigas invasoras do mundo, e causa inúmeros impactos negativos, inclusive à comunidades de formigas nativas de outros países (Morrison 2002, Suarez et al. 2010). *S. invicta* é uma espécie generalista que pode indicar que estas áreas ainda não estão efetivamente recuperadas (Ribas et al. 2012c). As espécies deste gênero são agressivas e territorialistas e ainda podem passar por longos períodos de escassez de alimento (Costa et al. 2010).

Linepithema sp. 1 é característica das áreas dominadas por capim braquiária. Este gênero pode apresentar espécies numericamente dominantes em diversos ambientes da região tropical, principalmente regiões montanhosas (Wild 2007). Não se sabe se esta espécie impede que outras formigas possam se estabelecer nesta reabilitação, nem se com o aumento da cobertura elas serão excluídas do sistema, mas é possível que isso aconteça devido a sua baixa frequência na mata.

4.3 Comparação III – Comparação entre reabilitações feitas com espécie exótica e espécies nativas

As áreas nativas de campo sujo possuem um maior número de espécies, pois áreas preservadas concentram grande parte da diversidade nativa

(Vasconcelos 1999, Mathieu et al. 2008). As áreas em reabilitação com capim gordura têm um número de espécies próximo ao encontrado nos campos, provavelmente, devido à proximidade das áreas. Neste caso as áreas de campos servem como fonte de espécies que colonizam as áreas em reabilitação (Philpott et al. 2010). As formigas da recuperação feita com espécies nativas podem apresentar baixa riqueza graças à idade da recuperação ou pela baixa diversidade de plantas que ocorrem no local (Andersen & Majer 2004). A mirmecofauna que ocorre em canga carece de estudos e é composta por um pequeno número de espécies adaptadas as condições adversas deste local (Viana-Silva & Jacobi 2012). Na canga, existem poucos sítios de nidificação para as formigas de solo e subterrâneas, pois os únicos lugares disponíveis são fendas entre rochas. Como locais para nidificação são recursos limitados e as condições na canga são extremas para muitas espécies, como a escassez de água e exposição ao vento, por exemplo, poucas espécies são capazes de se estabelecer nesses locais. Na época seca somente a riqueza da área de canga é inferior, mas o número ainda é próximo do encontrado na época chuvosa. Desta forma, é possível que a canga apresente maior homogeneidade de disponibilidade de recursos ao longo do ano, o que ajuda a explicar a pouca variação na riqueza entre épocas.

Nesta comparação, a presença de plantas com maior porte, estrutura da vegetação herbácea e arbustiva mais abundante e maior densidade de plantas afetam negativamente a riqueza de espécies. Estes resultados reforçam a idiosincrasia nos padrões ecológicos em comunidades de formigas, principalmente em ambientes abertos. Uma possível explicação é que as áreas mais simplificadas, como as reabilitações com a espécie exótica, são mais suscetíveis a colonização por espécies oportunistas e generalistas (Lassau & Hochuli 2004, Schoereder et al. 2004, Piper et al. 2009). A relação positiva entre riqueza de espécies e peso da serapilheira mostra que independente da estrutura

do hábitat as formigas estão em melhor situação em áreas com maior acúmulo da serapilheira.

A semelhança da composição de espécies de formigas dos campos controle com as reabilitações que utilizam a espécie exótica, na época chuvosa, e com as que utilizam espécies nativas, na época seca, mostra que a sazonalidade pode ter um importante papel no sucesso da reabilitação. Como os campos controle e a reabilitação com a espécie exótica são próximos e possuem maior aporte de recursos durante a época chuvosa há a formação de um continuum entre as áreas. Em alguns lugares, as formigas são menos diversas na época seca (Torchote et al. 2010), e isso pode ser resultado da diminuição no forrageamento das espécies devido ao custo energético desta atividade (Dornhaus & Powell 2010). Assim, é possível que as formigas não sejam afetadas com as diferenças entre áreas durante a época chuvosa, mas quando há a mudança de época elas passam a ficar mais em seus próprios territórios. Desta forma, devido à menor exploração de recursos na época seca, podemos perceber que a recuperação com espécies nativas apresenta composição de espécies de formigas parecida com as áreas de campos sujos.

A variação nas características da serapilheira e a estrutura da vegetação herbácea e arbustiva podem explicar a diferença na composição de espécies entre as áreas nas épocas chuvosa e seca, respectivamente. As formigas que forrageiam com maior frequência na época chuvosa se deslocam no solo e, provavelmente, para elas a reabilitação com a espécie exótica é estruturalmente igual aos campos sujos, pois em ambas as áreas há grande presença de gramíneas. Na época seca, devido à diminuição no forrageamento, as formigas de solo e arborícolas passam a explorar mais os recursos locais e assim a estrutura da vegetação se torna um componente mais essencial para a estrutura destas comunidades.

Encontramos duas espécies indicadoras em área de canga, ambas do gênero *Linepithema*, uma em cada época. Os altos valores de indicação das espécies nesta formação se devem ao fato da formação não possuir réplicas. As espécies do gênero *Linepithema* são pouco conhecidas, mas podem ser consideradas dominantes numericamente, pois elas podem ocupar ninhos múltiplos, condição conhecida como polidomia, com muitos indivíduos (Cuezzo 2003).

As espécies *Camponotus* sp. 3 e *Camponotus crassus* são frequentes na reabilitação com espécies nativas. Espécies deste gênero podem ser encontradas facilmente no domínio cerrado associadas à vegetação, um dos seus locais de forrageamento (Schoereder et al. 2010). A espécie *Camponotus leydigi* é potencial indicadora de reabilitação com a gramínea exótica capim gordura. *Camponotus* é um dos gêneros mais comuns nos trópicos e muitas de suas espécies são encontradas em áreas de reabilitação com espécies nativas ou gramíneas (Costa et al. 2010, Ribas et al. 2012c).

4.4 Comparação IV – Comparação entre reabilitações feitas com capim gordura em cava e sobre pilha de estéril

Nesta comparação, a maior riqueza ocorre em áreas de mata em ambas as épocas, pois no Cerrado, as formações com maior cobertura da vegetação possuem maior número de espécies (Pacheco & Vasconcelos 2012). O campo sujo e a reabilitação da cava apresentam riqueza parecida, principalmente devido à proximidade com as áreas controle, como dito anteriormente. Pelo fato de as áreas em reabilitação sobre pilha de estéril terem sido revegetadas, em média, há menos tempo, o número de espécies no local pode ter sido mais influenciado pela interação entre o tempo e substrato (cava vs. estéril) o que justifica o menor

número de espécies sobre a pilha de estéril. Além disso, o solo da cava é mais estável o que facilita o sucesso da revegetação. Na época seca, as áreas em recuperação sobre a cava passam a ser a segunda área com maior número de espécies, pois nestas áreas os efeitos da sazonalidade são menos contrastantes.

Plantas maiores podem oferecer maior número de locais para nidificação e recursos alimentares para formigas arborícolas (Fonseca & Benson 2003, Campos et al. 2006). Além disso, árvores maiores contribuem para a maior quantidade de serapilheira no solo devido à queda das folhas e troncos mortos. Assim, indiretamente, beneficiam as formigas do solo com esses recursos e as subterrâneas com a matéria orgânica e aeração do solo feita pelo crescimento das raízes. Os ambientes mais fechados também possuem microclimas mais amenos para as espécies de formigas, por isso há maior riqueza de espécies nestes locais (Graham et al. 2004). Já na época seca a densidade de plantas e a estrutura da vegetação herbácea e arbustiva afetam negativamente a riqueza, pois além da diminuição do número de espécies especialistas e sensíveis às mudanças de clima, as espécies oportunistas são as únicas que continuam forrageando, e a menor complexidade do hábitat facilita este forrageamento (Lassau & Hochuli 2004).

As diferenças na composição de espécies entre todas as áreas podem ser explicadas pelo fato das mesmas serem estruturalmente distintas, estarem em diferentes idades de reabilitação, substratos e áreas fonte. A composição de espécies das áreas de mata apresenta um número bem maior de espécies predadoras de serapilheira como espécies dos gêneros *Odontomachus*, *Pachycondyla*, *Ectatomma*, *Hylomyrma* e *Gnamptogenys* (Brandão et al. 2012). Enquanto isso, os campos possuem uma composição de espécies mais parecida com outras áreas abertas do bioma Cerrado. Os campos apresentam alto número de *Camponotus*, *Cephalotes* e *Pheidole*, gêneros que apresentam em sua dieta

recursos provenientes de carboidratos (Brandão et al. 2012) e o bioma rico é em plantas com nectários extraflorais e organismos trofobiontes (Oliveira & Freitas 2004, Schoereder et al. 2010).

Já as espécies que ocorrem nas reabilitações são na sua grande maioria generalistas e oportunistas típicas de áreas impactadas. Provavelmente estas áreas só são diferentes entre si devido às áreas fontes, uma vez que a reabilitação em cava é circundada por áreas de campos e as reabilitações sobre pilha de estéril são circundadas por áreas antropizadas e outros tipos de recuperações. É interessante notar que as espécies presentes nas reabilitações, ambas com capim gordura, tenham composições distintas nas duas áreas. A área sobre pilha de estéril possui a presença de inúmeras plantas, mesmo que de uma única espécie, enquanto a área sobre cava não. A presença de uma “monocultura” neste caso pode ser um fator chave para a presença de algumas espécies, mas só com um maior prazo de tempo podemos chegar a alguma conclusão sobre estas hipóteses.

As espécies apontadas como indicadoras mais importantes para a reabilitação sobre pilha de estéril foram *Camponotus crassus* e *Solenopsis invicta* e na reabilitação sobre cava a espécie *Camponotus leydigi*. Espécies oportunistas são típicas de áreas abertas (Ottonetti et al. 2006) e todas as espécies supracitadas tem em comum o fato de serem capazes de resistir a ambientes estressantes.

5 CONCLUSÕES

As comunidades de formigas são afetadas por fatores determinantes como: tipo de estratégia de revegetação adotada, tempo e local onde as reabilitações são implementadas. O presente trabalho mostra que o estudo das comunidades de formigas pode apontar a eficiência das reabilitações. Porém, a fidelidade das espécies indicadoras aos habitats diminui na época seca, uma vez que as mesmas diminuem suas áreas de forrageamento, e conseqüentemente, são menos capturadas nesta época. A sazonalidade, a complexidade do habitat, a disponibilidade e qualidade de recursos e condições são essenciais para a estruturação das comunidades de espécies nestas áreas. Deste modo, as espécies animais recolonizam as áreas em reabilitação assim que estas apresentam as condições e recursos mais parecidos com as áreas nativas preservadas.

5.1 Implicações práticas

- As reabilitações mais antigas se aproximam em riqueza as áreas controle, mas não em composição. Assim, a revegetação com espécies exóticas como os capins gordura e braquiária se mostraram pouco eficientes a curto e longo prazos se não forem implementadas próximas às áreas controle que servem como fonte de espécies.
- A utilização de capim braquiária ou capim gordura não pode ser indicada pelo fato de serem espécies exóticas. Também são necessários mais estudos sobre a diferença dos dois capins em tal prática, pois há a necessidade de um maior tempo de estabelecimento do capim gordura e possível colonização de espécies arbóreas nativas para que a comparação seja eficiente.

- A reabilitação que utiliza capim gordura, uma espécie exótica, mostrou-se eficiente somente devido à proximidade com a área preservada. Porém, a proximidade das áreas em reabilitação e controle também pode ser um fator importante e que leve a um sucesso muito maior em reabilitações conduzidas com espécies nativas. Neste tipo de reabilitação houve sucesso mesmo com pouco tempo de existência e distância de áreas fonte, pois a área já apresentou uma composição de espécies próxima das áreas de campo. Também é importante salientar que a reabilitação com espécies nativas dificilmente levará a uma fauna próxima à das áreas de canga, mas é possível que essa área recuperada seja, em termos de composição de fauna e flora, mais parecida com outras formações de campos ferruginosos como os campos sujos.
- A maior eficiência da reabilitação sobre cava do que sobre a pilha de estéril também se deve a maior proximidade das áreas e a maior estabilização do solo. Como as áreas possuem como referências áreas controle com distintas formações ainda é necessário que sejam feitos mais estudos que avaliem a eficiência desta espécie exótica.

O tempo da revegetação deve ser considerado na avaliação do sucesso de uma reabilitação. A colonização de espécies arbóreas nativas é um fator determinante para o sucesso das reabilitações, uma vez que estas criam microhabitats através do sombreamento, no incremento de matéria orgânica no solo e serapilheira além de recursos que propiciam a recolonização da fauna, tornando este ecossistema autossustentável. Assim, deve-se pensar em como aumentar a matéria orgânica e inserir um banco de sementes nas reabilitações antes de escolher uma espécie de capim exótico para ser plantado. Porém, como

o capim é necessário, e neste caso indispensável, devem ser usados capins nativos, de preferência.

Há um grande risco em executar a reabilitação com espécies de plantas exóticas. Uma vez estabelecidas, estas podem causar uma série de impactos, como alterar a diversidade, reduzir a eficiência da reabilitação ou até impedi-la (Palmer et al. 1997). As espécies invasoras atrapalham a recolonização da fauna nativa, e isso pode levar a um maior gasto de dinheiro por parte do órgão executor na reabilitação, pois o mesmo teria que retirar as espécies causadoras deste problema.

O abandono das áreas impactadas e a cobertura do solo com matéria orgânica e camadas de topsoil favorecem a colonização natural, ou mesmo a combinação da colonização natural com o plantio de espécies nativas podem levar a melhores resultados na restauração. Então, além de executar a reabilitação com espécies nativas, a mesma deve ser planejada utilizando as áreas controle como referência em todos os aspectos e ser implementada próxima às mesmas. Assim, é necessário que as restaurações sejam pensadas e aplicadas em uma escala maior, antes mesmo do impacto, facilitando a interação entre conservação e produção nos ecossistemas (Hobbs & Norton 1996).

Com a análise das respostas das comunidades de formigas é possível avaliar o sucesso das reabilitações. O monitoramento pode ser feito somente na época chuvosa, pois esta época apresenta padrões ecológicos de mais fácil interpretação o que facilita a diagnose da eficiência da reabilitação. Além disso, a utilização da riqueza e composição de espécies de formigas do estrato epigeico, o estrato que possui maior número de espécies, é suficiente para este tipo de estudo, pois vimos que em muitas destas áreas não há a possibilidade de instalar armadilhas subterrâneas e na vegetação.

REFERÊNCIAS

- Almeida S, Louzada J, Sperber C, Barlow J. 2011. Subtle land-use change and Tropical Biodiversity: Dung beetle communities in cerrado grasslands and exotic pastures. *Biotropica*, 43: 704–710.
- Andersen AN, Majer JD. 2004. Ants show the way down under: invertebrate as bioindicators in land management. *Frontiers in Ecology and Environment*, 2: 291–298.
- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E: Plymouth, UK.
- Armbrecht I, Perfecto I, Vandermeer J. 2004. Enigmatic biodiversity correlations: ant diversity responds to diverse resources. *Science*, 304 (5668): 284-286.
- Aronson J, Floret C, Le Floc'h E, Ovalle C, Pontanier R. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. i. A View from the South. *Restoration Ecology*, 8-17
- Bechara FC, Campos-Filho EM, Barreto KD, Gabriel, VA, Antunes AZ, Reis A. 2007. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras de biodiversidade. *Revista Brasileira de Biociências*, 5: 9-11.
- Berendse F. 1990. Organic matter accumulation and nitrogen mineralization during secondary succession in heathland ecosystems. *Journal of Ecology*, 78: 413-427.
- Bestelmeyer BT, Agosti D, Leeane F, Alonso T, Brandão CRF, Brown WL, Delabie JHC, Silvestre R. 2000. Field techniques for the study of ground-living ants: An Overview, description, and evaluation, p. 122-144. In.: Agosti D, Majer JD, Tennant A, Schultz T (eds), *Ants: standart methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, 280p.
- Bolton B. 1994. Identification guide to the ant genera of the world. Cambridge, Harvard University Press, 222 p.

Brandão CRF, Silva RR, Delabie JHC. 2012. Neotropical ants (Hymenoptera) functional groups: Nutritional and applied implications. In.: Panizzi AR, Panizzi JRP. (Orgs.). Insect bioecology and nutrition for integrated pest management. Boca Raton: CRS Press. pp. 213-236.

Campos RI, Vasconcelos HL, Ribeiro SP, Neves FS, Soares JP. 2006. Relationship between tree size and insect assemblages associated with *Anadenanthera macrocarpa*. *Ecography*, 29: 442-450.

Chevan A, Sutherland M. 1991. Hierarchical Partitioning. *The American Statistician*, 45: 90-96.

Coelho MS, Fernandes GW, Santos JC, Delabie JHC. 2009. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as Bioindicators of land restoration in Brazilian Atlantic Forest Fragment. *Neotropical Biology and Conservation*, 4: 69-76.

Colón SM, Lugo AE, González OMR. 2011. Novel dry forests in southwestern Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 262: 170–177.

Corrêa MM, Fernandes WD, Leal IR. 2006. Diversidade de formigas epigeicas (Hymenoptera: Formicidae) em capões do Pantanal Sul Matogrossense: Relações entre riqueza de espécies e complexidade estrutural da área. *Neotropical Entomology*, 35:724-730

Costa CB, Ribeiro SP, Castro PTA. 2010. Ants as bioindicators of natural succession in savanna and riparian vegetation impacted by dredging in the Jequitinhonha River Basin, Brazil. *Restoration Ecology*, 18: 148–157.

Costa FV, Neves FS, Silva JO, Fagundes M. 2011. Relationship between plant development, tannin concentration and insects associated with *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *Arthropod Plant Interactions* 5: 9–18.

Dominguez-Haydar Y, Armbrrecht I. 2011. Response of ants and their seed removal in rehabilitation areas and forests at El Cerrejón Coal Mine in Colombia. *Restoration Ecology*, 19: 178-184.

Dornhaus A, Powell S. 2010. Foraging and defence strategies In.: Lach L, Parr C, Abbott K. *Ant Ecology*, Oxford University Press.

Dos Santos IA, Perfecto I. 2011. Impacts of agroecosystems on ant biodiversity in the Amazon in Brazil. *Forestry Research Newsletter*, 18: 20-29.

Dufrêne M, Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67:345-366.

Engelbrecht BMJ, Herz HM. 2001. Evaluation of different methods to estimate understorey light conditions in tropical forests. *Journal of Tropical Ecology*, 17: 207-224.

Fonseca CR, Benson WW. 2003. Ontogenetic succession in Amazonian ant trees. *Oikos*, 102:407-412.

Frazer GW, Canham CD, Lertzman KP, 1999. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, User manual and program documentation. Simon Fraser University/The Institute of Ecosystem Studies, Burnaby, British Columbia/Millbrook, New York.

Gardner TA. 2010. Monitoring forest biodiversity: improving conservation through ecologically-responsible management. London: Earthscan.

Graham JH, Hughie HH, Jones S, Wrinn K, Krzysik AJ, Duda JJ, Freeman DC, Emlen JM, Zak JC, Kovacic DA, Chamberlin-Graham C, Balbach H. 2004. Habitat disturbance and the diversity and abundance of ants (Formicidae) in the Southeastern Fall-Line Sandhills. *Journal of Insect Science*, 4:30.

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1): 1-9.

Hobbs RJ, Harris JA. 2001. Restoration ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9: 239-246.

Hobbs RJ, Norton DA. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 4:93-110.

IBRAM. 2011. Ferro. Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira. 6ª edição.

Kaminski LA, Rodrigues D, Freitas AVL. 2012. Immature stages of *Parrhasius polibetes* (Lepidoptera: Lycaenidae): host plants, tending ants, natural enemies and morphology. *Journal of Natural History*, 46: 645-667.

Lassau SA, Hochuli DF. 2004. Effects of habitat complexity on ant assemblages. *Ecography*, 27: 157-164.

Lobo L. 2010. Reabilitação de campos ferruginosos degradados pela atividade minerária no Quadrilátero Ferrífero. Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa.

MacNally, R., 2000. Regression and model-building in conservation biology, biogeography and ecology: the distinction between – and –reconciliation of – ‘predictive’ and ‘explanatory’ models. *Biodiversity and Conservation*, 9: 655–671.

Madeira BG, Espírito-Santo MM, D'Ângelo-Neto S, Nunes YRF, Sánchez-Azofeifa GA, Fernandes GW, Quesada M. 2009. Changes in tree and liana communities along a successional gradient in a tropical dry forest in south-eastern Brazil. *Plant Ecology*. 201: 291-304.

Madureira MS, Sobrinho TG, Schoereder JH. 2012. Why do ant species occur in the matrix and not in the forests? Invasion from other habitats or expansion from forest gaps (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 59: 1-12.

Majer JD, Nichols OG. 1998. Long-term recolonization patterns of ants in Western Australian rehabilitated bauxite mines with reference to their use as indicators of restoration success. *Journal of Applied Ecology*, 35: 161-182.

Majer JD. 1983. Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Environmental Management*, 7: 375-383.

Majer JD. 1985. Recolonization by ants of rehabilitated mineral sand mines on North Stradbroke Island, Queensland, with particular reference to seed removal. *Australian Journal of Ecology*, 10: 31-48.

Majer JD. 1992. Ant recolonisation of rehabilitated bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 8: 97-108.

Majer JD, Day JE, Kabay ED, Perriman WS. 1984. Recolonization by ants in bauxite mines rehabilitated by a number of different methods. *Journal of Applied Ecology*, 21: 355-375.

Majer JD, Brennan KEC, Moir ML. 2007. Invertebrates and the restoration of a forest ecosystem: 30 years of research following bauxite mining in Western Australia. *Restoration Ecology*, 15: 104–115.

Marinho CGS, Zanetti R, Delabie JHC, Schlindwein MN, Ramos LS. 2002. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serapilheira em eucaliptais (Myrtaceae) e área de cerrado de Minas Gerais. *Neotropical Entomology*, 31: 187-195.

Mathieu J, Rossi JP, Mora P, Lavelle P, Martins PFS, Rouland C, Grimaldi M. 2008. Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. *Conservation Biology*, 19: 1598–1605.

McCune B, Mefford MJ. 2006. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR, USA. p. 237.

McGlynn TP. 2012. The ecology of nest movement in social insects. *Annual Review of Entomology*, 57:291–308.

Morrison LW. 2002. Long-term impacts of an arthropod community invasion by the imported Pre ant, *Solenopsis invicta*. *Ecology*, 83: 2337-2345.

Muscardi DC, Almeida SSP, Schoereder JH. 2008. Response of litter ants (Hymenoptera: Formicidae) to habitat heterogeneity and local resource availability in native and exotic forests. *Sociobiology*, 52: 655-665.

Neves FS, Oliveira VHF, Espírito-Santo MM, Vaz-de-Mello FZ, Louzada J, Sánchez-Azofeifa GA, Fernandes GW. 2010a. Successional and seasonal changes in a community of Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a Brazilian Tropical Dry Forest. *Natureza & Conservação*, 8: 160-164.

Neves FS, Braga RF, Espírito-Santo MM, Delabie JHC, Fernandes GW, Sánchez-Azofeifa GA Arturo . Diversity of arboreal ants in a Brazilian Tropical Dry Forest: Effects of seasonality and successional stage. 2010b. *Sociobiology*, 56: 177-194.

Neves FS, Braga RF, Araújo LS, Campos RI, Fagundes M. 2012. Differential effects of land use on ant and herbivore insect communities associated with *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). *Revista de Biología Tropical*, 60: 1065-1073.

Nobis M. 2005. SideLook 1.1 - Imaging software for the analysis of vegetation structure with true-colour photographs; <http://www.appleco.ch>

Oliveira PS, Freitas AVL. 2004. Ant-plant-herbivore interactions in the neotropical Cerrado Savanna. *Naturwissenschaften* 91:557–570.

Ottonetti L, Tucci L, Santini G. 2006. Recolonization Patterns of Ants in a rehabilitated lignite mine in Central Italy: Potential for the use of mediterranean ants as indicators of restoration process. 14: 60-66.

Pacheco R, Vasconcelos HL. 2012. Habitat diversity enhances ant diversity in a naturally heterogeneous Brazilian landscape. *Biodiversity and Conservation*. 21: 797–809.

Palacio EE, Fernández F. 2003. Claves para las subfamilias y géneros. In.: Fernández F (ed). *Introducción a las hormigas de la region Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt, Bogotá, Colômbia, pp. 233-260.

Palmer MA, Ambrose RF, Poff NL. 1997. Ecological theory and community restoration ecology, 5: 291–300.

Philpott SM, Perfecto I, Armbrrecht I, Parr C. 2010. Disturbance and habitat transformation. In.: Lach L, Parr C, Abbott K. (eds.). *Ant Ecology*. Oxford University Press. pp. 137-156.

Pie MR, Traniello JFA. 2006. Morphological evolution in a hyperdiverse clade: the ant genus *Pheidole*. *Journal of Zoology*, 27: 99.

Piper SD, Catterall CP, Kanowski JJ, Proctor HC. 2009. Biodiversity recovery during rainforest reforestation as indicated by rapid assessment of epigaeic ants in tropical and subtropical Australia. *Austral Ecology*, 34, 422–434.

Putz FE, Redford FE. 2010. The Importance of Defining ‘Forest’: Tropical Forest Degradation, Deforestation, Long-term Phase Shifts, and Further Transitions. *Biotropica*, 42: 10–20.

R Development Core Team. 2011. *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria.

Ribas CR, Schoereder JH, Pic M, Soares SM. 2003. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale process regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology*, 28: 305–314.

Ribas CR, Campos RBF, Schmidt FA, Solar RCC. 2012a. Ants as indicators in Brazil: A review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. *Psyche*, Article ID 636749.

Ribas CR, Solar RCC, Campos RBF, Schmidt FA, Valentim CL, Schoereder JH. 2012b. Can ants be used as indicators of environmental impacts caused by arsenic? *Journal of Insect Conservation*, 16:413–421.

Ribas CR, Schmidt FA, Solar RCC, Campos RBF, Valentim CL, Schoereder JH. 2012c. Ants as indicators of the success of rehabilitation efforts in deposits of gold mining tailings. *Restoration Ecology*, doi: 10.1111/j.1526-100X.2011.00831.x

Rizali A, Clough Y, Buchori D, Hosang MLA, Bos MM, Tschardt T. 2012. Long-term change of ant community structure in cacao agroforestry landscapes in Indonesia. *Insect Conservation and Diversity*, doi: 10.1111/j.1752-4598.2012.00219.x

Rizzini CT. 1997. *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. Âmbito Cultural, Rio de Janeiro

Saunders DA, Hobbs RJ, Margules CR. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 7: 18-32.

Schmidt FA, Solar RRC. 2010. Hypogeic pitfall traps: methodological advances and remarks to improve the sampling of a hidden ant fauna. *Insect Societies*, 57: 261–266.

Schmidt FA, Ribas CR, Schoereder JH. 2013. How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? *Ecological Indicators*, 24: 158–166.

Schoereder JH, Sobrinho TG, Ribas CR, Campos RBF. 2004. Colonization and extinction of ant communities in a fragmented landscape. *Austral Ecology*, 29: 391-398.

Schoederer JH, Sobrinho TG, Madureira MS, Ribas CR, Oliveira PS. 2010. The arboreal ant community visiting extrafloral nectaries in the neotropical Cerrado Savanna. *Terrestrial Arthropod Review*, 3:3–27.

Silva JO, Espírito-Santo MM, Melo GA. 2012. Herbivory on *Handroanthus ochraceus* (Bignoniaceae) along a successional gradient in a tropical dry forest. *Anthropod-Plant Interactions*, 6: 45-57.

Sobrinho TG, Schoederer JH, Sperber CF, Madureira MS. 2003. Does fragmentation alter species composition in ant communities (Hymenoptera : Formicidae)? *Sociobiology*, 42: 329-342.

Suarez AV, McGlynn TP, Tsutsui ND. 2010. Biogeographic and taxonomic patterns of introduced ants. In.: Lach L, Parr C, Abbott K. (eds.). *Ant Ecology*. Oxford University Press. pp. 233-245.

Torchote P, Sitthicharoenchai D, Chaisuekul C. 2010. Ant species diversity and community composition in three different habitats: mixed deciduous forest, teak plantation and fruit orchard. *Tropical Natural History*, 10: 37-51.

Van-Hamburg H, Andersen AN, Meyer WJ, Robertson HG. 2004. Ant community development on rehabilitated ash dams in the South African Highveld. *Restoration Ecology*, 12: 552–558.

Vasconcelos HL. 1999. Effects of forest disturbance on the structure of groundforaging ant communities in central Amazonia. *Biodiversity and Conservation*, 8: 409-420.

Viana-Silva FEC, Jacobi C. 2012. Myrmecofauna of ironstone outcrops: Composition and diversity. *Neotropical Entomology*, 41:263–271.

Walker LR, Del Moral R. 2003. *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Cambridge University Press, Cambridge.

Wielgoss A, Tschirntke T, Buchori D, Fiala B, Clough Y. 2010. Temperature and a dominant dolichoderine ant species affect ant diversity in Indonesian cacao plantations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 135: 253 – 259.

Wild AL. 2007. Taxonomic Revision of the ant genus *Linepithema* (Hymenoptera: Formicidae). University of California Press, Paper vol 126.

Wolda H. 1978. Seasonal fluctuations in rainfall, food and abundance of Tropical Insects. *Journal of Animal Ecology*, 47: 369-381.

CONCLUSÕES GERAIS

A atividade de mineração causa impactos ambientais que levam a consequências muito negativas para a biodiversidade devido à grande mudança que causa nos padrões e processos das comunidades biológicas. No entanto, para contornar esta situação e promover a restauração destes ambientes a estratégia de revegetação adotada, o tempo e o local onde as reabilitações são implementadas são essenciais para o seu sucesso.

O presente trabalho mostra que as comunidades de formigas são sensíveis aos impactos causados pela mineração e podem apontar a eficiência das reabilitações pós-impacto. Além disso, a sazonalidade, a estrutura do hábitat, a disponibilidade e qualidade de recursos e condições são importantes componentes para a estruturação das comunidades de formigas nos campos ferruginosos e áreas adjacentes. Assim, os grupos vegetais e animais só recolonizam as áreas em reabilitação pós-mineração quando estas apresentam as condições e recursos mais parecidos com as áreas nativas preservadas e são mais eficientes com a preservação de remanescentes naturais nas áreas de entorno.

Desta forma, para a conservação e restauração das comunidades é necessário que:

- O uso de espécies exóticas nas reabilitações seja evitado devido aos impactos negativos diretos e indiretos que estas podem causar na flora e na fauna associada.
- As espécies nativas devem ser preferencialmente utilizadas na revegetação das áreas a serem restauradas ou reabilitadas.
- As reabilitações devem ser implementadas próximas às áreas conservadas que sirvam como fontes de espécies.

- Haja a preservação de remanescentes naturais, essenciais tanto para a manutenção da biodiversidade nativa e dos processos ecológicos relacionados a essas áreas quanto para o sucesso das reabilitações.