

KEMEL AMIM BITTENCOURT KALIF

IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA SOBRE A  
FAUNA DE FORMIGAS E CONSEQÜÊNCIAS PARA A  
REMOÇÃO DE SEMENTES FLORESTAIS NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Zoologia da Universidade  
Federal do Pará e do Museu Paraense Emílio  
Goeldi, como requisito para a obtenção do grau  
de Mestre em Zoologia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto de Souza  
Moutinho

Belém  
2001

**IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA  
SOBRE A FAUNA DE FORMIGAS E  
CONSEQÜÊNCIAS PARA A REMOÇÃO DE  
SEMENTES FLORESTAIS NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

**Por**

**Kemel Amim Bittencourt Kalif**

**Dissertação submetida como requisito parcial para a  
obtenção do título de Mestre em Zoologia**

**Universidade Federal do Pará e Museu Paraense  
Emílio Goeldi**

**2001**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto de Souza Moutinho  
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM**

**Banca examinadora: Profª. Drª. Maria Cristina Espósito  
Departamento de Biologia – UFPA**

**Prof. Dr. William Leslie Overal  
Departamento de Zoologia – MPEG**

**Profª. Drª. Ana Y. Harada  
Departamento de Zoologia – MPEG**

**Profª. Drª. Claudia Azevedo Ramos  
Departamento de Psicologia Experimental – UFPA**



“O jogo da ciência é, em princípio, interminável. Quem decida, um dia, que os enunciados científicos não mais exigem prova, e podem ser vistos como definitivamente verificados, retira-se do jogo.”

(Karl R. Popper, 1959 – *The logic of scientific discovery*)

## **DEDICATÓRIA**

Para minha esposa, que através de incessantes revisões fortaleceu este trabalho.

Para meus pais e mestres, responsáveis pela minha formação.

## AGRADECIMENTOS

Meus mais sinceros agradecimentos ao meu orientador, Dr. Paulo R. S. Moutinho, pelo incentivo ao meu crescimento profissional, pela amizade e pelo empenho no bom andamento deste trabalho, principalmente nos momentos cruciais.

Aos Srs. Sérgio A. O. Malcher, Icléia Souza, Sanae Hayashi e Verônica R. L. Oliveira pela participação na execução do projeto, principalmente ajudando na coleta de dados em campo e na triagem do material em laboratório.

A Dra. Cláudia Azevedo Ramos (Coordenadora do projeto SOMA) e a Sra. Andréa Cristina Brito Pinto (Dedéia Power) por valiosas sugestões no desenrolar deste estudo.

Ao projeto SOMA e todos seus integrantes, Juliana (minha esposa), Oswaldo, Rosyvaldo, Puppe, Francidalva e Marcilene, pela troca de experiência e pelo companheirismo, principalmente mediante as adversidades do trabalho no campo.

Ao Sr. Yabanex pela tradução do resumo para o inglês.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Zoologia, ao Museu Emílio Goeldi e à Universidade Federal do Pará, pela oportunidade.

Ao Sr. Johan Zweed e toda a equipe da Fundação Floresta Tropical (FFT), bem como ao Sr. Damião (proprietário da Fazenda Cauaxi), pela disponibilização da área de estudo e pelo apoio logístico em campo.

Este estudo faz parte do projeto “Sociedade e Meio Ambiente” (SOMA), incluído nos programas de pesquisa do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), que contam com financiamento da Agência Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID) e do Fundo Estadual para o Desenvolvimento Tecnológico e Científico do Estado do Pará (FUNTEC). Este estudo foi realizado ainda, com auxílio de bolsa da CAPES.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	
2.1 A EXPLORAÇÃO DE MADEIRA NA AMAZÔNIA.....	06
2.2 OS EFEITOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA SOBRE A FAUNA: O CASO DAS FORMIGAS.....	07
2.3 A FAUNA DE FORMIGAS COMO BIOINDICADOR DOS IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA.....	09
2.4 A REMOÇÃO DE SEMENTES POR FORMIGAS E SEU SIGNIFICADO PARA A RECUPERAÇÃO DE FLORESTAS APÓS A EXPLORAÇÃO MADEIREIRA.....	11
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.2 AMOSTRAGEM DA FAUNA DE FORMIGAS.....	17
3.3 O EXPERIMENTO DE REMOÇÃO DE SEMENTES.....	20

<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	
4.1	DIVERSIDADE E COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES DE FORMIGAS.....	23
4.2	REMOÇÃO DE SEMENTES PELAS FORMIGAS.....	30
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	
5.1	EFEITOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA SOBRE A FAUNA DE FORMIGAS DE SERAPILHEIRA.....	36
5.2	EFEITOS DA EXPLORAÇÃO DE MADEIRA SOBRE A FAUNA DE FORMIGAS E AS IMPLICAÇÕES PARA A DISPERSÃO E PREDACÃO DE SEMENTES.....	39
5.3	OS DANOS CAUSADOS POR FORMIGAS À SEMENTES E EFEITOS SOBRE A CAPACIDADE DE GERMINAÇÃO.....	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	44
<b>7</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	46

## LISTA DE TABELAS

### MATERIAIS E MÉTODOS:

Tabela 1 - Comparação entre a exploração realizada de forma convencional (sem planejamento) pela indústria madeireira de Paragominas e um sistema de exploração alternativo de baixo impacto (veja texto para detalhes), Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará..... 17

Tabela 2 – Tamanho e tipo de dispersão das espécies de sementes utilizadas no experimento de remoção realizada por formigas, nos três ambientes (FP, FB e FC) da Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará..... 21

### RESULTADOS:

Tabela 3 – Riqueza e abundância (ocorrência) de espécies de formigas em ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, Paragominas, Pará. As coletas foram realizadas em quatro ocasiões, duas na estação chuvosa (ch1 e ch2) e duas na estação seca (sc1 e sc2). Cada valor representa o número de espécies por gênero, e o valor entre parênteses significa o número de ocorrências das espécies deste gênero. Os valores na parte inferior da tabela são médias ( $\pm$  desvio padrão) dos parâmetros calculados para cada ambiente..... 24

Tabela 4 – Diferenças na abertura do dossel, densidade de subarbustos, altura da serapilheira entre os ambientes de floresta primária, floresta sob exploração de baixo impacto e floresta sob exploração convencional, na Fazenda Cauaxi, Paragominas, Pará, Brasil. As médias e desvios de cada ambiente foram obtidos a partir das médias das transecções (n=12/ambiente)..... 29

Tabela 5 – Número médio de sementes removidas por espécie (e seu respectivo tamanho), nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional, na Fazenda Cauaxi,

Paragominas, Pará. Cada valor representa o número médio ( $\pm$  DP) de sementes removidas nos 12 pontos experimentais em cada ambiente. O tamanho está representado logo após o nome da espécie e os valores entre parênteses indicam o número total de sementes removidas..... 31

Tabela 6 – Média ( $\pm$  DP) dos valores transformados (arco seno vx) da porcentagem de sementes, e valor absoluto da porcentagem, em cada categoria de dano, nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. Sem dano indica que a semente foi encontrada intacta; dano A, indica  $\leq$  40% da semente encontra danificada; dano B, entre 40% e 70% e; dano C, mais de 70%. O valor representado entre parênteses é o número total de sementes classificadas dentro de determinada categoria em cada ambiente..... 34

Tabela 7 – Média ( $\pm$  DP) dos valores transformados (arco seno vx) da porcentagem de sementes (e valor absoluto da porcentagem) germinadas nos diferentes danos, nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. Sem dano significa que a sementes foi encontrada intacta; dano A, significa  $\leq$  40% da semente danificada; dano B, entre 40% e 70% da semente danificada e; dano C, mais de 70% da semente danificada. O valor representado entre parênteses é o número total de sementes germinadas por categoria em cada ambiente..... 35

## LISTA DE FIGURAS

### MATERIAIS E MÉTODOS:

Figura 1 – Localização da Fazenda Cauaxi (3°45'32"S, 48°10'06"W), Município de Paragominas, Nordeste do estado do Pará, onde os efeitos dos sistemas de exploração de baixo impacto e convencional sobre a fauna de formigas foram avaliados..... 15

Figura 2 – Fotografia aérea dos ambientes de floresta explorados pelo sistema convencional (FC) e pelo sistema de baixo impacto (FB), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará..... 16

### RESULTADOS:

Figura 3 – Distribuição da abundância das 30 espécies de formigas mais comuns no ambiente de floresta primária (FP), comparada àquelas de ambientes que sofreram exploração madeireira de baixo impacto (FB) e convencional (FC), na fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. A abundância é representada pelo número de ocorrências das espécies nas amostras..... 27

Figura 4 – Representação gráfica do índice de Sorensen. O número de espécies de formigas de serapilheira que podem ser encontradas na floresta primária estão representadas pelas barras pretas, enquanto que as barras brancas indicam as espécies que são exclusivas dos ambientes sob exploração de baixo impacto e convencional (Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará)..... 28

Figura 5 – Número de ocorrência de gêneros de formigas coletados nos pontos experimentais de sementes nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará..... 31

Figura 6 – Relação entre o número de sementes removidas por formigas e o tamanho da semente, nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. Análise de Regressão, FP:  $R^2=0,92$ ;  $F_{6,1}=46,14$ ;  $p < 0,005$  – FB:  $R^2=0,64$ ;  $F_{6,1}=7,02$ ;  $p = 0,05$  – FC:  $R^2=0,67$ ;  $F_{6,1}=7,98$ ;  $p < 0,05$ ..... 33

## RESUMO

A exploração madeireira na Amazônia atinge anualmente cerca de 1,5 milhões de hectares de floresta. Esta atividade promove mudanças estruturais e microclimáticas na floresta, que potencialmente afetam a diversidade e a composição das espécies animais. Como grande parte das sementes florestais são dispersas por animais, a regeneração dos ambientes explorados pode ser comprometida. Por outro lado, é possível que a fauna de florestas exploradas através de técnicas de extração madeireira com impactos reduzidos, mantenha sua integridade original, não afetando os mecanismos de dispersão de sementes. Tomando as formigas como um grupo animal ecologicamente representativo e integrado aos processos de regeneração, via dispersão e predação de sementes, foi avaliado neste trabalho se (1) a exploração madeireira afeta a fauna (diversidade e composição de espécies) destes insetos, se (2) planos de exploração de baixo impacto são capazes de preservá-la e se (3) a exploração afeta a eficiência ecológica das formigas na remoção (dispersão ou predação) de sementes.

Os efeitos da exploração madeireira sobre a diversidade e a composição de espécies de formigas, bem como sobre a remoção de sementes florestais realizada por estes insetos, foram investigados em três ambientes de floresta, no município de Paragominas, estado do Pará: uma floresta que sofreu exploração madeireira convencional (FC), outra floresta explorada por técnicas de extração de baixo impacto (FB) e uma floresta primária, como controle (FP). A fauna de formigas foi amostrada em quatro ocasiões de coleta durante o ano de 1998. Em cada ocasião, as formigas foram coletadas através do método de Winkler, em quatro transecções por área. O experimento de remoção de sementes foi realizado colocando-se sementes de seis espécies madeireiras, distribuídas em 12 pontos

por ambiente. Durante o experimento, foi quantificado diariamente o número de formigas e outros artrópodes visitando as sementes. O número total de sementes removidas por ambiente foi contado ao final do experimento.

A diversidade e a abundância de espécies de formigas não foram afetadas pela exploração madeireira. Contudo, a composição de espécies foi alterada em 36% na FB e 37% na FC. O gênero *Pheidole* teve sua riqueza e abundância reduzidas exclusivamente na FC. A remoção de sementes também foi significativamente menor (ca. 33%) na FC se comparada àquela registrada na FB e FP. As formigas representaram 92% dos artrópodes que visitaram as sementes, nos três ambientes. As sementes maiores foram as mais removidas, independente de sua adaptação ao dispersor e do ambiente estudado. Os resultados obtidos sugerem que a exploração madeireira pode promover modificações na composição de espécies de formigas, sem, contudo, alterar sua diversidade (exceto de *Pheidole*). O sistema de exploração com baixo impacto é capaz de preservar a diversidade de espécies de *Pheidole*, garantindo quantitativamente, uma mobilização de sementes semelhante à de uma floresta primária. Por outro lado, a exploração convencional pode diminuir a diversidade deste gênero, resultando em um menor número de sementes removidas. Tal redução, possivelmente compromete a regeneração da floresta após a retirada da madeira.

Palavras-chave:

Exploração de madeira  
Diversidade de espécies  
Composição faunística  
Formigas  
*Pheidole*

## ABSTRACT

Logging in the Amazon Forest affects approximately 1.5 million hectares of forestlands each year. These activities result in forest structural and microclimatic changes that could potentially affect diversity and animal species composition. Regeneration of these areas could be jeopardized since animals disperse most seeds. On the other hand, it is possible not to affect seed dispersal mechanisms by maintaining forest fauna integrity through the implementation of reduced impact logging techniques.

By using ants as an ecologically representative animal group and integrated into the regeneration processes through dispersion and predation, this work evaluated; (1) if logging affects fauna (diversity and species composition), (2) if reduced impact logging techniques are capable of preserving it, and (3) if logging affects ants ecological efficiency in seed removal (dispersion and predation).

Logging effects on ants' diversity and species composition, as well as seed removal done by these insects, were studied in three different forest areas in the municipality of Paragominas in the state of Pará. The first area was a forest that went through high impact logging (FC), the second a forest affected by reduced impact logging techniques (FB), and the third one a primary forest used as the control group (FP). Ants were sampled four times during 1998 using the Winkler method at four transects per area. The seed removal experiment was conducted by distributing seeds of six wood species through twelve points in each area. During the experiment the daily number of ants and other arthropods that visited the seed points was quantified. The amount of seeds removed was counted at the end of the experiment.

Diversity and abundance of ant species were not affected by logging activities. However, species composition changed by 36% in FB and by 37% in FC. The *Pheidole* genus experienced richness and abundance reduction only in FC. Seed removal was also significantly lower (~33%) in FC compared to the ones registered in FB and FP. Ants represented 92% of all arthropods that visited the seed points in the three forest areas. The bigger seeds were the most removed ones, independently of its seed disperser adaptations and of the studied forest area. The results obtained suggest that forest logging can affect ant species composition, without affecting its diversity (except that of *Pheidole*). Reduced impact logging techniques have the capacity of preserving *Pheidole* species diversity, which guarantees seed movements similar to those of a primary forest. Nevertheless, conventional logging can reduce, both the number of species and occurrences of this genus, thus resulting in a reduced number of removed seeds. Such reduction probably jeopardizes forest regeneration after wood extraction.

## 1 - INTRODUÇÃO

Todo ano, mais de 10.000 km<sup>2</sup> (um milhão de hectares) de florestas na Amazônia são exploradas por madeireiros (Nepstad et al., 1999) sem qualquer tipo de planejamento (Frumhoff, 1995). Estima-se que para cada árvore de valor econômico que é extraída durante uma exploração não planejada, outras 26 são destruídas (Veríssimo et al., 1996). Neste processo a área explorada passa a apresentar inúmeras aberturas (clareiras) que, somadas, comprometem mais da metade da cobertura florestal (Uhl & Vieira, 1989). A abertura do dossel, em consequência da extração, leva a um aumento da quantidade de raios solares que chegam ao chão da floresta, fazendo com que a umidade no seu interior diminua e a temperatura aumente. Por sua vez, o material vegetal, que antes ocupava o dossel e que agora se acumula no solo, acaba secando e servindo de combustível para incêndios florestais (Uhl & Kauffman, 1990; Cochrane et al., 1999; Nepstad et al., 1999). A atividade madeireira, portanto, promove impactos negativos sobre a vegetação e o funcionamento das florestas da Amazônia. Contudo, os impactos sobre a fauna nativa da região ainda são praticamente desconhecidos. Perguntas fundamentais ainda permanecem sem respostas. Quais as mudanças que a diversidade e a composição de espécies animais sofrem quando uma floresta é explorada para a retirada de madeira? Quais as implicações destas mudanças para os processos de regeneração natural da floresta após a exploração?

Alguns indícios de que a exploração gera impactos negativos sobre a fauna da Amazônia, têm sido fornecidos por trabalhos recentes (veja Revisão de Literatura), mas tal questão ainda carece de estudos mais aprofundados, principalmente no sentido de como estes impactos podem afetar a recuperação da floresta após a retirada de madeira. Uma vez que as sementes de grande parte das espécies tropicais dependem de animais dispersores (Gentry,

1982; Fenner, 1985), entre eles as formigas (veja Revisão de Literatura), modificações na diversidade, composição e abundância desta fauna poderiam afetar os mecanismos de regeneração da floresta (Redford, 1992). Várias espécies de formigas, como as do gênero *Pheidole*, que são particularmente abundantes nas florestas tropicais, são removedores ativos de sementes (Fowler, 1993; Nepstad et al., 1998) e podem ter sua diversidade e composição alteradas pela exploração madeireira ou pela conversão de florestas em pastagens (Moutinho, 1998, Vasconcelos, 1999; Vasconcelos et al., 2000).

Entretanto, se por um lado a exploração de madeira potencialmente afeta a fauna, é possível que uma extração planejada, isto é, aquela executada através de um manejo florestal, possa amenizar os possíveis impactos sobre as populações animais. Na Amazônia, planos de exploração deste tipo estão sendo colocados em prática. Um deles, visando à redução dos desperdícios (veja Área de estudo) oriundos da exploração e de seus impactos sobre a vegetação, foi idealizado pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - IMAZON (Veríssimo et al., 1996; Vidal et al., 1997). Este plano, denominado de “Plano de Exploração de Baixo Impacto”, tem sido replicado e aperfeiçoado pela Fundação Floresta Tropical (FFT) em florestas no Nordeste e no Leste do Estado do Pará, e no Norte do Mato Grosso, e vem sendo ainda difundido na Amazônia (FFT, 1997). As técnicas utilizadas neste plano foram testadas experimentalmente e se mostraram capazes de reduzir pela metade a abertura do dossel da floresta após a extração da madeira, quando comparado à exploração feita de modo convencional (Veríssimo et al., 1996; FFT, 1997; Vidal et al., 1997). Esta busca por sistemas de exploração madeireira com impacto reduzido não tem sido encarada apenas como uma questão para “satisfazer” ambientalistas. Existe atualmente uma forte tendência da indústria madeireira na Amazônia de trabalhar para obter a certificação florestal. A idéia de que o “selo verde” abrirá as portas dos mercados do primeiro mundo está levando o setor para

a aplicação de um manejo sustentável (Bennett, 2000). Este selo garante ao comprador que determinado produto provém de uma exploração “manejada de forma ambientalmente adequada” (Compradores de Madeira Certificada, não publicado), o que, além de agregar valor, representa uma forma de marketing para o produto. Os sistemas de exploração de baixo impacto, tais como o desenvolvido pelo IMAZON, têm representado um grande passo para a conquista do selo verde pela indústria madeireira. Contudo, ainda não se sabe se os prejuízos para a fauna da Amazônia são reduzidos com o emprego da extração de baixo impacto, como tem sido demonstrado em relação à estrutura da floresta. Isto faz com que muitas das afirmações sobre as alternativas de exploração de madeira na Amazônia, se são ou não “ambientalmente adequadas”, sejam ainda especulativas. Portanto, a necessidade de se avaliar os impactos desta exploração sobre a fauna da Amazônia pode ser identificada como uma necessidade básica para dar sustentação teórica à adoção de planos de manejo florestal ambientalmente adequados.

Tomando-se como referência as formigas, um grupo animal representativo e participativo de diversos processos ecológicos na floresta amazônica (veja Revisão de Literatura), o objetivo geral deste trabalho foi avaliar os efeitos da exploração madeireira sobre a fauna destes insetos e sobre a representatividade de um de seus gêneros, o gênero *Pheidole*. Ainda, foram avaliadas as conseqüências destes efeitos sobre a dinâmica de remoção de sementes feita por estes animais. A escolha das formigas como grupo representante da fauna se deve a diversos atributos deste táxon (veja Revisão de Literatura), dentre os quais se pode destacar a forte relação entre a diversidade de espécies e a complexidade estrutural da vegetação (p.e., biomassa e diversidade de espécies de árvores) (Greenslade & Greenslade, 1977; Perfecto & Snelling, 1995; Moutinho, 1998; Carvalho & Vasconcelos, 1999; Vasconcelos, 1999; Vasconcelos et al., 2000). A ênfase sobre o gênero

*Pheidole* justifica-se pelo fato de ser um potencial indicador de perturbações sofridas por florestas tropicais, especialmente na Amazônia. *Pheidole* é o gênero mais diversificado do Novo Mundo (Fowler, 1993) e reduções em sua diversidade já foram observadas na Amazônia, em áreas de florestas que foram abertas (Benson & Brandão, 1987; Moutinho, 1998, Vasconcelos, 1999) ou exploradas para retirada de madeira (Vasconcelos et al., 2000).

Mais especificamente, as seguintes questões foram abordadas: (1) Quais as mudanças impostas pela exploração de madeira sobre a diversidade e composição da fauna de formigas e especificamente sobre a representatividade do gênero *Pheidole*? (2) Estas mudanças promovem alterações sobre os processos ecológicos de dispersão e predação de sementes? (3) Os planos de exploração madeireira de baixo impacto sobre a vegetação são capazes de amenizar estas mudanças?

Para tanto, as seguintes hipóteses foram testadas:

H1: A exploração de madeira realizada de modo convencional reduz a diversidade de espécies de formigas quando comparada à área de floresta primária, enquanto que a exploração de baixo impacto mantém a diversidade inalterada. Esta redução é observada também na diversidade de espécies do gênero *Pheidole*.

H2: A fauna de florestas primárias (composição de espécies) é mais distinta daquela de áreas que sofreram exploração convencional do que em relação àquela de áreas que sofreram exploração de baixo impacto.

H3: Se H1 e H2 são verdadeiras, a extração de madeira convencional deve afetar as taxas de remoção de sementes por espécies de formigas. Na área onde a exploração de madeira foi

realizada de forma convencional, a remoção de sementes será diferente daquela de uma área de floresta primária. Na área onde a exploração se deu de forma planejada (exploração de baixo impacto), a remoção de sementes deverá se manter igual à da floresta primária.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - A EXPLORAÇÃO DE MADEIRA NA AMAZÔNIA

A área atualmente explorada para retirada de madeira na Amazônia representa cerca de 30% da área explorada todos os anos nas florestas tropicais do mundo (WRI, 1998; Nepstad et al., 1999). Com o declínio das florestas asiáticas, a área explorada na região poderá aumentar, já que o Brasil tem recursos suficientes - cerca de 1/3 das florestas tropicais do mundo (WRI, 1998) - para se tornar o maior exportador mundial de madeira. O estoque madeireiro do Brasil é de aproximadamente 60 bilhões de metros cúbicos que, depois de serrados, podem alcançar um valor econômico potencial de 4 trilhões de reais (Veríssimo et al., 1996; Vidal et al., 1997). Atualmente na Amazônia cerca de 350 espécies de árvores estão sendo exploradas para algum fim madeireiro, havendo ainda algumas dezenas de espécies cujo valor comercial ainda não foi descoberto (P. Amaral, com. pes.). Assim, tanto o número de espécies quanto a quantidade em metros cúbicos explorados vêm crescendo continuamente (Vidal et al., 1997). A indústria madeireira do estado do Pará é a que mais tem crescido no âmbito nacional. Este fato é explicado, em grande parte, pela diminuição do suprimento de madeira no Sul do país durante os anos 80 (Veríssimo et al., 1996). A produção de madeira em tora na região Norte aumentou de 21% (da produção total do Brasil) para 54% em cerca de dez anos (IBGE, 1988; citado por Veríssimo et al., 1996). Contudo, a exploração realizada pela indústria na região sempre trabalhou com um elevado índice de desperdício. A falta de planejamento na extração da madeira diminui o aproveitamento do recurso e tem levado a um aumento da área explorada para compensar o que foi desperdiçado (Uhl & Kauffman, 1990; Veríssimo et al., 1996; Vidal et al., 1997). Como resultado, a atividade só se sustenta se novas áreas forem exploradas, promovendo, então, o uso da terra pelo sistema itinerante. A maior

evidência de que isto acontece é que, atualmente, as serrarias sediadas em pólos madeiros como o município de Paragominas, no nordeste do estado do Pará, têm buscado a madeira a uma distância de aproximadamente 200 km de suas sedes (Nepstad et al., 1999). Há 5-8 anos as mesmas serrarias calculavam que o custo de transporte tornaria o negócio inviável se tivessem que buscar a madeira a 50 km de distância (Moutinho com. pes.). Com o recurso mais distante, o número de serrarias, que antes chegava quase a 300, hoje não ultrapassa os 64 (A. C. Barros, com. pes) e, agora, muitas se mudaram para locais mais próximos ao recurso. Desta maneira, a capacidade da atividade madeireira em alterar o ambiente, aliada ao aumento da demanda de madeira da região, denotam a necessidade de avaliação de seus impactos locais sobre as florestas e sobre a fauna nativa.

## 2.2 - OS EFEITOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA SOBRE A FAUNA: O CASO DAS FORMIGAS

Alguns estudos recentes demonstram que o impacto da exploração madeireira sobre a fauna de florestas tropicais pode ser significativo. A exploração de madeira pode afetar a fauna de vertebrados de acordo com o grau de modificação estrutural da floresta (Laurence & Laurence, 1996; Manson, 1996). Em áreas de floresta na Guiana Francesa, por exemplo, foram observados decréscimos de 27 a 34% na riqueza e na abundância de pássaros após a retirada da madeira (Thiollay, 1992). Alguns mamíferos arborícolas da Guiana venezuelana podem ter a abundância reduzida devido à eliminação ou diminuição do estrato arbóreo promovida pela extração (Ochoa, 1997). A atividade madeireira pode também alterar a complexidade de comunidades de alguns invertebrados, como as borboletas em áreas

florestais da Indonésia, as quais podem sofrer reduções (ca. 78%) em sua diversidade (Hill et al., 1995; Hill, 1999). As mudanças na composição de espécies em áreas sujeitas à exploração madeireira, também foram observadas na Amazônia brasileira. Cerca de 38% das espécies de répteis, 24% das espécies de aves e 19% das espécies de mamíferos, presentes em florestas primárias, podem ser substituídas após a exploração madeireira (C. Azevedo-Ramos, com. pes.).

No caso das formigas, estudos recentes nas florestas da Amazônia têm fornecido indícios de que a extração madeireira também pode alterar a abundância de espécies e a composição faunística destes insetos (Vasconcelos et al., 2000), apesar de não afetar significativamente a riqueza das espécies deste grupo animal (Ketelhut, 1999, Vasconcelos et al., 2000). Tais mudanças podem estar relacionadas ao aumento da abertura do dossel observada em áreas exploradas por madeireiros, o qual pode ser responsável pela elevação da luminosidade e da temperatura, e pela queda da umidade, fatores potencialmente limitantes para algumas espécies de formigas (Torres, 1984). A redução da biomassa vegetal ocasionada pela exploração madeireira (de 10 a 40%; Nepstad et al., 1999), pode também reduzir a diversidade de espécies do grupo. Geralmente, em ambientes com menor biomassa vegetal a diversidade de formigas é menor (Greenslade & Greenslade, 1977; Perfecto & Snelling, 1995; Moutinho, 1998). Outros fatores sugeridos como determinantes da diversidade local deste táxon, tais como sítios de nidificação (Benson & Harada, 1988; Moutinho, 1998), clima e disponibilidade de alimento (Davidson, 1977; Bernstein & Gobbel, 1979; Kaspari, 1996), podem ser modificados pela exploração. Entretanto, alguns destes fatores podem sofrer pouca variação em áreas onde a exploração foi executada através de sistemas com impacto reduzido sobre a floresta (por exemplo, abertura do dossel. Veja Área de Estudo). Desta forma, é possível que a atividade madeireira altere a fauna de formigas, sendo, contudo, necessárias

investigações sistemáticas para verificar a intensidade destas alterações em decorrência da aplicação de sistemas de exploração com impactos diferenciados. Da mesma maneira, não há estudos considerando o significado das alterações sofridas pela fauna de formigas para a recuperação dos ambientes explorados pela atividade madeireira na Amazônia brasileira.

### 2.3- A FAUNA DE FORMIGAS COMO BIOINDICADOR DOS IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA

A utilização de formigas para a avaliação dos impactos da exploração madeireira justifica-se pelo fato de que estes insetos são particularmente abundantes e ricos em espécies, e participam de vários processos ecológicos de importância ecossistêmica. Em um único hectare de floresta da Amazônia, por exemplo, podem ser encontrados mais de 8 milhões de formigas (Hölldobler & Wilson, 1990) e em uma única árvore, mais espécies do que em toda a Inglaterra (Wilson, 1994; Harada & Adis, 1997). Juntamente com os cupins, contribuem com mais de 30% da biomassa animal da floresta amazônica (Fittkau & Klinge 1973; Stork, 1988), constituindo-se no grupo dominante de troncos e copas das árvores (Hölldobler & Wilson, 1990; Wilson, 1994; Harada & Adis, 1997; Guerrero, 1999). A grande diversidade de nichos e habitats ocupados por estes animais indica uma alta capacidade de refletir os diferentes estresses sofridos pelo ambiente (Hölldobler & Wilson 1990; Fowler, 1993; Wilson, 1994; Majer, 1996; Andersen, 1997), sendo, portanto, organismos sensíveis às alterações do meio florestal. Além disso, formigas são pouco influenciadas por variações climáticas, são facilmente coletadas durante todo o ano (Majer, 1987) e exigem menor esforço de coleta, se comparadas a vertebrados ou plantas vasculares, o que tem lhes conferido o

*status* de bom bioindicador de perturbações em ecossistemas terrestres, especialmente os florestais (Wilcox et al., 1986; Majer, 1987; Hölldobler & Wilson, 1990; Saertersdal & Birks, 1993; Oliver & Beattie, 1996; Andersen, 1997).

Partindo destes atributos, diversos trabalhos têm analisado as variações na riqueza, abundância e composição da fauna destes insetos em resposta à perturbações ambientais ocasionadas pelo fogo e pela atividade madeireira, especialmente na Austrália (Neumam, 1992; York, 1994; Andersen, 1997; Vanderwoude et al., 1997). No Brasil, as análises da fauna de formigas têm sido utilizadas através de protocolos para avaliar o grau de recuperação da vegetação em áreas de mineração (Majer, 1992, 1996). Estas análises estão baseadas na relação existente entre a complexidade estrutural do ambiente florestal e a diversidade de formigas (Greenslade & Greenslade 1977; Perfecto & Snelling 1995). Tal relação também vem sendo mostrada na Amazônia, através de estudos recentes, onde a diversidade de formigas foi comparada em áreas de pastagem abandonadas sob diferentes graus de recuperação (Moutinho, 1998; Vasconcelos, 1999).

Além da potencial capacidade de responder a perturbações promovidas no ambiente florestal, formigas podem ser importantes na manutenção dos mecanismos de predação e dispersão de sementes. Quanto a isso, a importância destes insetos tem sido demonstrada em ecossistemas variados (desertos, florestas australianas e pastagens amazônicas) onde podem competir com outros animais pelas sementes disponíveis (Brown & Davidson, 1977; Brown et al., 1979; Hughes & Westoby, 1990; Nepstad et al. 1998). Desta maneira, as formigas podem regular significativamente a dinâmica da população das plantas de uma determinada área (Louda, 1982; De Steven & Putz, 1984; Gomez & Espadaler, 1998). Nas florestas da Austrália, por exemplo, mais de um terço da dispersão de sementes é realizada por formigas (Rice & Westoby, 1986), sendo que algumas espécies podem aumentar em abundância após a

simplificação do ambiente por ação do fogo (Andersen & Ahston, 1985), potencialmente influenciando na recuperação da área. Os exemplos do potencial destes insetos e sua atuação na mobilização de sementes nas florestas da Amazônia são fornecidos por estudos em áreas de floresta convertidas em pastagens. Nestas áreas, formigas onívoras podem ser os principais removedores de sementes, mesmo quando comparadas a roedores, os quais são 25 vezes mais abundantes em pastagens do que em áreas de floresta, e apresentam espécies reconhecidamente predadoras de sementes (Nepstad et al., 1998).

Todos estes atributos sugerem que o grupo das formigas tem potencial para ser usado como bioindicador de alterações florestais na Amazônia. É provável que este potencial estenda-se também para a avaliação das perturbações impostas pela atividade madeireira (p.e. Vasconcelos et al., 2000). As possíveis alterações na fauna de formigas, por sua vez, podem influenciar no funcionamento de mecanismos vitais para a recuperação de florestas exploradas, como a predação e dispersão de sementes. As implicações desta última suposição serão melhor abordadas no item que se segue.

#### 2.4 – A REMOÇÃO DE SEMENTES POR FORMIGAS E SEU SIGNIFICADO PARA A RECUPERAÇÃO DE FLORESTAS APÓS A EXPLORAÇÃO MADEIREIRA.

Apesar de ser difícil o acompanhamento do destino das sementes coletadas por formigas em ambientes florestados (Guariguata, 1998), de um modo geral, a literatura sobre o assunto tem fornecido indícios de que a remoção de sementes feita por estes animais representa um evento favorável a dispersão (Van der Pijil, 1982; Roberts & Heitaus, 1986; Sudd & Franks, 1987; Andersen, 1988; Hölldobler & Wilson, 1990; Howe, 1990; Hughes &

Westoby, 1990; Gibson, 1993; Schupp, 1993; Gomez & Espadaler, 1998; Pizo & Oliveira, 1998; Guariguata 2000; Guariguata et al., 2000). Alguns autores, contudo, discutem que a maior parte destas é destruída, uma vez que as formigas consomem o endosperma e o embrião (Fowler, 1991). Mesmo que não sejam ingeridas, são geralmente levadas para os ninhos subterrâneos e, desta forma, ficam impedidas de germinar (Nepstad et al., 1998). Porém, durante o transporte destas sementes, algumas são perdidas pelo caminho, ou são depositadas intactas na entrada dos ninhos, encontrando ali as condições necessárias para germinar (Van der Pijil, 1982; Roberts & Heitatus, 1986; Hölldobler & Wilson, 1990; Gibson, 1993; Gomez & Espadaler, 1998). Por esta ótica, mesmo que grande parte das sementes removidas por formigas seja destruída por predação, a dispersão, acidental ou não, pode representar uma vantagem para a planta. Isto porque, sem a remoção as sementes zoocóricas (adaptadas a dispersão por animais) ficariam depositadas logo abaixo da planta mãe, onde a mortalidade é alta devido à competição por luz e à maior intensidade de predação (Howe, 1990; Schupp, 1993; Guariguata & Pinard, 1998; Guariguata 2000; Guariguata et al. 2000). Esta dispersão parece ser mais comum entre as sementes que desenvolvem o elaiossoma (sementes mirmecocóricas) que se constitui em uma capa protetora oleaginosa e nutritiva, podendo ser consumida pela formiga sem detrimento do embrião e da viabilidade da semente (Hughes & Westoby, 1990; Fowler, 1991; Gomez & Espadaler, 1998). Mas existem evidências que mesmo sementes não adaptadas a dispersão por formigas (dispersas por pássaros, por exemplo), podem ser favorecidas pela remoção feita por estes insetos (Pizo & Oliveira, 1998). Estas sementes possuem outras estruturas atrativas às formigas, tais como o arilo. Neste caso, as formigas são extremamente importantes para a dispersão de sementes de planta nos trópicos, onde é mais comum a ocorrência do arilo do que do elaiossoma (Hughes et al., 1993; Pizo & Oliveira, 1998).

O consumo do elaiossoma, do arilo ou de restos de polpa aderidos (Nepstad et al., 1998), realizado por formigas, pode ainda escarificar a semente, promovendo a quebra de dormência, facilitando a germinação (obs. pes.). Por exemplo, o consumo da polpa realizado por formigas da tribo Attini pode reduzir a infestação de fungos na semente, e aumentar as chances de germinação (Oliveira et al., 1995). A coleta de sementes em um local e o consumo de partes dela em outro, hábito comum em algumas espécies de formigas (Sudd & Franks, 1987; Hölldobler & Wilson, 1990; Moutinho, 1993), pode, portanto, promover a sua dispersão. Neste caso, mesmo que a semente seja levada para dentro do ninho, ela pode germinar, pois esta pode ser colocada para fora após o consumo das estruturas atrativas (elaiossoma, polpa ou arilo) (Sudd & Franks, 1987; Gomez & Espadaler, 1998). Uma vez depositadas em volta do ninho, as sementes podem encontrar as condições necessárias para germinar e para se desenvolver, pois estes locais representam microhabitats favoráveis para a sobrevivência das sementes e estabelecimento da plântula (Andersen, 1988; Gibson, 1993; Pizo & Oliveira, 1998).

Em resumo, a remoção de sementes por formigas deve garantir uma vantagem para a planta, uma vez que as evidências indicam que há maior chance de dispersão em todo o processo, desde a coleta e transporte, até o consumo de partes nutritivas e a rejeição da semente pelo ninho. Da mesma maneira, é possível que uma redução na taxa de remoção de sementes por formigas implique em uma menor taxa de dispersão de sementes, uma vez que grande parte destas estão depositadas no solo onde formigas são forrageadores ativos e dominantes (Hölldobler & Wilson, 1990). Assim, espera-se que as possíveis modificações em riqueza, abundância e composição, sofridas pela fauna de formigas em decorrência da exploração madeireira, sejam refletidas nas taxas de remoção das sementes do ambiente. A quantidade de sementes que se mantém viável após a manipulação feita por formigas também

será verificada neste estudo, visto que formigas podem utilizar sementes (consumir por inteiro, escarificar, danificar, apenas manipular) sem removê-las (obs. pes.). Neste último caso, especificamente, a importância deste estudo justifica-se pelo fato de que muitas das sementes que são encontradas em volta de ninhos são apenas fragmentos (Roberts & Heithaus, 1986; Moutinho, 1998) e não há informações mais precisas sobre o percentual que pode germinar.

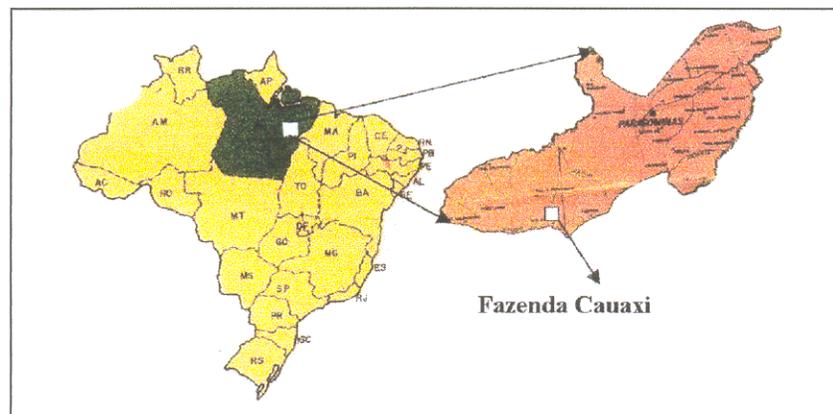
Todas estas informações podem fornecer subsídios para a compreensão do papel de formigas como dispersores ou predadores de sementes em ambientes sujeitos à exploração madeireira. A comparação quantitativa destes processos, entre áreas cuja exploração foi diferenciada pelo dano causado à vegetação, permite avaliar a efetividade de planos de exploração com impactos reduzidos sobre a floresta em garantir a preservação da dinâmica natural de sementes no ambiente após a exploração. Tal garantia deverá estar diretamente ligada ao sucesso destes planos, os quais objetivam, entre outros aspectos, a regeneração rápida da floresta, a fim de reduzir o período de pousio entre as operações de extração.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - ÁREA DE ESTUDO

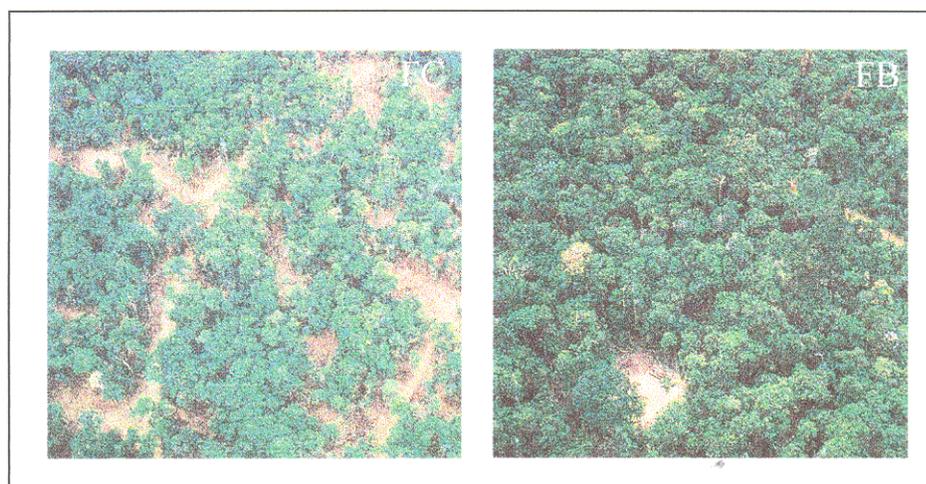
O estudo foi realizado na Fazenda Cauaxi ( $3^{\circ}45'32''S$ ,  $48^{\circ}10'06''W$ ), município de Paragominas, nordeste do estado do Pará (o maior polo madeireiro da Amazônia)(Figura 1). A região caracteriza-se por um regime de chuva marcadamente sazonal, com um período de seca que ocorre entre os meses de julho à novembro ( $< 50$  mm mensais). A média de precipitação anual fica em torno de 1750 mm (Embrapa, 1985; citado por Nepstad et al., 1998).

A FFT (Fundação Floresta Tropical) mantém dentro da Fazenda Cauaxi áreas de floresta de tamanho semelhante (1000 X 1000 m) onde os sistemas de exploração madeireira convencional (FC) e de baixo impacto (FB) foram aplicados em 1996, e comparados lado a lado. A fauna de formigas foi coletada nestas áreas e ainda em uma terceira, composta de floresta primária (FP), a qual serviu de controle (Figura 2).



**Figura 1 – Localização da Fazenda Cauaxi ( $3^{\circ}45'32''S$ ,  $48^{\circ}10'06''W$ ), Município de Paragominas, Nordeste do estado do Pará, onde os efeitos dos sistemas de exploração de baixo impacto e convencional sobre a fauna de formigas foram avaliados.**

O ambiente de floresta explorada pelo sistema de baixo impacto pode ser diferenciado daquele explorado convencionalmente, pela maior intensidade do dano que este último promove na vegetação. O sistema de exploração de baixo impacto permite que a floresta permaneça estruturalmente mais íntegra pela aplicação de um plano da extração mais organizado. Tal planejamento inclui: 1) o corte dos cipós da área, o que evita a derrubada de árvores que estão próximas àquela que será extraída; 2) o direcionamento da queda de árvores de modo a coincidir com os ramais de arraste das toras, o que reduz a abertura desnecessária do dossel da floresta; 3) a comunicação entre motosserristas e operadores do trator para que nenhuma tora abatida seja esquecida no interior da floresta; 4) a redução do número e tamanho das estradas, ramais e pátios de estocagem, minimizando o tamanho e o número de aberturas dentro da floresta (Veríssimo et al., 1996; FFT, 1997; Vidal et al., 1997). A combinação de todos estes tratamentos tem resultado na diminuição significativa dos danos resultantes da exploração (Tabela 1, Figura 2). Esta situação representa uma oportunidade impar para estudar os efeitos da atividade madeireira e do sistema de exploração de baixo impacto sobre a fauna, no caso, as formigas.



**Figura 2 – Fotografia aérea dos ambientes de floresta explorados pelo sistema convencional (FC) e pelo sistema de baixo impacto (FB), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará.**

**Tabela 1 - Comparação entre a exploração realizada de forma convencional (sem planejamento) pela indústria madeireira de Paragominas e um sistema de exploração alternativo de baixo impacto (veja texto para detalhes), Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará.**

	Exploração convencional	Exploração de Baixo Impacto
Árvores/ha danificadas	235	132
m <sup>3</sup> /ha de madeira desperdiçada	7	0
m <sup>3</sup> de madeira vendável destruída/árvore extraída	10,4	5,7
Tempo estimado em anos para a nova colheita	70-100	25 – 30

Fonte: FFT (1997)

### 3.2 – AMOSTRAGEM DA FAUNA DE FORMIGAS.

O efeito da exploração de madeira sobre a fauna de formigas foi avaliado, amostrando-se as espécies de serapilheira em quatro ocasiões no ano de 1998 (dois anos após a exploração). Para evitar os efeitos da variação sazonal do clima, duas amostras foram efetuadas durante a estação chuvosa (janeiro e abril) e outras duas durante a estação seca (julho e setembro). Cada amostra foi realizada em vinte pontos distribuídos ao longo de quatro linhas de transecção (de 500m cada), estabelecidas aleatoriamente nos ambientes FP, FB e FC (cinco pontos por linha, quatro linhas por ambiente). Para evitar o efeito de borda da floresta sobre as amostras (Carvalho, 1998; Carvalho & Vasconcelos, 1999), as linhas de transecção foram estabelecidas a uma distância mínima de 50m das estradas de acesso aos ambientes estudados. Para garantir a independência espacial entre as linhas, estas nunca distaram menos de 100m umas das outras.

Em cada um dos pontos estabelecidos ao longo das transecções, uma área de 0,25m<sup>2</sup> foi demarcada e a serapilheira foi removida. Em seguida o material foi peneirado e depositado em um “mini funil” de Winkler (veja Delabie et al., 2000 para detalhes do método) por um período de 48 horas. Os espécimes extraídos da serapilheira foram identificados ao nível de gênero e, posteriormente, em “morfoespécies”. A utilização de morfoespécies tem sido cada vez mais aceita, uma vez que a riqueza de espécies de uma coleção pode não diferir significativamente quando estas são identificadas seguindo a classificação taxonômica vigente ou simplesmente separadas em morfoespécies (Oliver & Beattie, 1996). O método de Winkler tem sido indicado para coletas em ambientes florestados tropicais por garantir a coleta de um maior número de espécies de formigas quando comparado a outros métodos (Kalif & Moutinho, 2000, Delabie et al. 2000). Além disso, possui a vantagem de possibilitar a obtenção da densidade de espécies (espécies/m<sup>2</sup>) que pode ser usada como índice de diversidade (Frith & Frith, 1990; Olson, 1991; Delabie et al., 2000).

Uma vez que as formigas coletadas foram identificadas, a densidade média de espécies foi calculada para cada linha de transecção, a partir do número de espécies em cada ponto de amostragem (n=5). Uma segunda média foi obtida para cada ambiente, a partir das médias das linhas de transecção (n=4). Desta forma, a unidade amostral considerada para os testes estatísticos foram as linhas de transecção. Este tratamento dos dados foi também aplicado para cada ocasião de coleta (quatro transecções por ambiente em quatro ocasiões de coleta, n<sub>total</sub> = 48).

Do mesmo modo que se calculou a densidade média de espécies, obteve-se a média da abundância de formigas, e da representatividade de espécies de *Pheidole*. A abundância de formigas, no entanto, foi considerada como sendo o número de ocorrências das diferentes espécies em cada linha de transecção, e não o número de indivíduos. Este procedimento se fez

necessário, pois a abundância medida através do número de indivíduos é fortemente influenciada pelo tipo de recrutamento das diferentes espécies de formigas (Romero & Jaffe, 1989). A representatividade de *Pheidole* foi obtida calculando-se a porcentagem de espécies do gênero para o total de espécies encontradas em cada linha de transecção. A utilização da porcentagem pode facilitar a comparação com os resultados de outros trabalhos.

As mudanças na composição de espécies formigas foram visualizadas através da abundância relativa de ocorrências das espécies em cada ambiente, e da representação gráfica do índice de Soresen (Krebs, 1989).

Os efeitos dos ambientes explorados sobre a fauna de formigas também foram avaliados através dos parâmetros que refletem as modificações estruturais da vegetação impostas pela exploração. Os parâmetros medidos foram a abertura do dossel, a densidade de subarbustos e a altura da serapilheira, os quais foram relacionados às variáveis faunísticas (densidade e abundância de espécies de formigas e representatividade de *Pheidole*).

Estas variáveis foram medidas em 30 pontos distribuídos ao longo de três linhas de transecção (10 pontos por linha), sorteadas dentre as quatro utilizadas para a coleta da fauna de formigas, em cada um dos três ambientes (três transecções por ambiente em quatro ocasiões de coleta,  $n_{\text{total}}=36$ ). Nos pontos, foram obtidos quatro valores de cada variável, tomados dos vértices de um quadrado imaginário de 2 x 2 m. A abertura do dossel foi medida nestes pontos, através de um densiômetro de copa. A densidade de subarbustos foi medida contando-se o número de "contatos" de folhas e galhos em uma vara de 2,5m de altura, e 0,02m de diâmetro, disposta verticalmente. Para medir a profundidade da serapilheira, uma régua foi introduzida nesta até tocar o solo.

A significância estatística das diferenças entre as médias da densidade de espécies de formigas (hipótese H1) de cada área (FP, FB e FC), foi verificada através de Análises de

Variância (ANOVA). Como pós-teste, afim de determinar quais os pares significativamente diferentes (FP-FB; FP-FC), foi utilizado o Teste de Comparação Múltipla de Tukey (Sokal & Rohlf, 1981; Zar, 1984). A mesma análise foi utilizada para verificar as diferenças entre as médias dos valores da abundância de formigas e da representatividade de espécies de *Pheidole*. Já as diferenças na distribuição de abundância das espécies e do índice de Soresen entre os ambientes (hipótese H2) foram avaliadas por comparação direta dos valores obtidos.

Provas gráficas foram utilizadas para verificar a normalidade dos dados (Zar, 1984). As variáveis expressas em porcentagem, como a representatividade de *Pheidole*, foram transformadas pelo arco seno da raiz quadrada (Zar, 1984), uma vez que a porcentagem pode apresentar uma distribuição binomial.

### 3.3 – O EXPERIMENTO DE REMOÇÃO DE SEMENTES

Para verificar se a remoção de sementes sofreu alterações devido às mudanças na composição ou diversidade da mirmecofauna promovidas pela exploração madeireira (hipótese H3), as sementes foram fornecidas experimentalmente. O experimento constou da distribuição de sementes ao longo de 12 pontos em três linhas de transecção (quatro pontos por linha), dispostas em cada um dos ambientes (FP, FB e FC, total = 36 pontos). Uma vez que a remoção realizada por animais pode variar de acordo com a espécie da semente (Schupp, 1993), foram utilizadas sementes de seis espécies florestais, escolhidas a partir dos seguintes critérios: 1) sementes de tamanho compatível com a capacidade de remoção realizada por formigas; 2) ocorrência na área de estudo (espécies nativas); 3) disponibilidade de sementes em número suficiente para manter o tamanho da amostra igual entre as espécies

e, por fim; 4) diferenças de adaptações para a forma de dispersão (Tabela 2). As sementes foram fornecidas pelo Laboratório de Sementes da EMBRAPA e foram desprovidas de polpa, arilo ou qualquer outra estrutura facilmente deteriorável.

**Tabela 2 – Tamanho e tipo de dispersão das espécies de sementes utilizadas no experimento de remoção realizada por formigas, nos três ambientes (FP, FB e FC) da Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará.**

Nome científico	Nome Vulgar	Tamanho (cm <sup>2</sup> )	Tipo de dispersão
<i>Sclerobium guianensis</i>	Taxi branco	3,6	?
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba verdadeira	0,8	Vento (Joly, 1983)
<i>Cedrela angustifolia</i>	Cedro branco	3,0	Zoocoria ou vento (Joly, 1983)
<i>Cordia goeldiana</i>	Frejó cinza	2,0	?
<i>Jacaranda copaia</i>	Parapará	0,5	Vento (Vieira et al., 1996; Grariguata, 2000)
<i>Bagassa guianensis</i>	Tatajuba	0,3	Mamíferos (Vieira et al., 1996)

Um total de dez sementes por espécie foi distribuído em cada ponto ao longo das transecções. Em cada ponto, a serapilheira foi previamente removida com a finalidade de facilitar a visualização das sementes (Hughes & Westoby, 1990), e estas foram protegidas por uma pequena caixa telada para evitar a remoção por vertebrados. Um pequeno teto de plástico foi também instalado sobre a caixa, para evitar a remoção das sementes por ação mecânica de gotas de chuvas. As sementes permaneceram expostas durante quatro dias, ao longo dos quais foram realizadas cinco verificações (5, 14, 26, 46 e 75 horas após o início do experimento). A cada verificação, foi anotado o número de ocorrências de formigas, bem como o de outros artrópodes que visitavam as sementes. Após 26 horas (terceira verificação) a fauna de formigas encontrada junto as sementes foi coletada utilizando-se pinças e aspiradores entomológicos. Esta observação, seguida da coleta da fauna, possibilitou a determinação da

contribuição relativa das formigas ao processo de remoção de sementes, através da simples observação do número de suas visitas ao recurso (Schupp, 1993), e também pôde revelar quais os gêneros que utilizaram o recurso em cada um dos ambientes amostrados (Andersen & Ahston, 1985; Hughes & Westoby, 1990).

Ao final do experimento, efetuou-se a contagem das sementes que foram removidas em cada ponto experimental. Posteriormente, calculou-se a média da quantidade de sementes removidas em todos os pontos de cada ambiente (FP, FB e FC). O número médio de sementes removidas também foi discriminado por espécie de semente. Este procedimento possibilitou a comparação, espécie por espécie, quanto a quantidade de sementes removidas por formigas.

Tendo em vista que algumas sementes são danificadas por formigas sem que sejam removidas e, devido à possibilidade de que esta atividade promova a quebra da dormência ou a morte do embrião, tais danos foram quantificados e estas sementes foram plantadas. Este procedimento permitiu avaliar qual a intensidade de dano sofrido pela semente que configura predação, ou seja, que inviabiliza sua germinação. Os danos observados foram classificados por categoria: 1) dano A:  $\leq 40\%$  da semente danificada; 2) dano B: entre 40% e 70% da semente danificada e; 3) dano C: mais de 70% da semente danificada. As sementes não danificadas foram utilizadas como testemunhas. O plantio foi realizado em recipientes de plástico tendo como substrato, areia e serragem. No máximo quatro sementes de uma mesma espécie, pertencentes à uma mesma categoria de dano, foram colocadas em cada recipiente. O experimento foi conduzido em local protegido de chuva à temperatura ambiente. Uma rega uniforme foi efetuada duas vezes por semana. A germinação da semente foi considerada positiva quando verificada a presença de broto. Esta verificação foi realizada a cada rega.

As diferenças no número médio de sementes removidas entre os ambientes também foi avaliada através de Análise de Variância

## 4 – RESULTADOS

### 4.1- DIVERSIDADE E COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES DE FORMIGAS

Um total de 74 espécies, distribuídas em 30 gêneros e quatro subfamílias, foi coletado ao longo deste estudo. A subfamília Myrmicinae foi a mais rica em espécies (64 % do total de espécies encontradas), seguida da subfamília Ponerinae (20%), Formicinae (11%), e Dolichoderinae (5%). Os quatro gêneros mais abundantes (número de ocorrências), foram: *Pheidole* (cerca de 22% das ocorrências de espécies), *Solenopsis* (19%), *Neostruma* (14%) e *Crematogaster* (11%). O gênero *Pheidole* foi também o mais rico em espécies na amostra, representando 17,6 % do total de espécies coletadas.

A densidade e a abundância de formigas não diferiram entre as estações (ANOVA, densidade:  $F_{48,1}=0,792$ ;  $p>0,05$  – abundância:  $F_{48,1}=0,017$ ;  $p>0,05$ ). O mesmo aconteceu com a riqueza e a abundância do gênero *Pheidole* e com a abundância dos gêneros *Solenopsis*, *Neostruma* e *Crematogaster*, quando analisados separadamente (ANOVA, abundância de *Pheidole*:  $F_{48,1}=3,62$ ;  $p>0,05$ ; porcentagem de espécies de *Pheidole*:  $F_{48,1}=1,67$ ;  $p>0,05$  – abundância de *Solenopsis*:  $F_{48,1}= 0,45$ ;  $p>0,05$  – abundância de *Neostruma*:  $F_{48,1}= 0,40$ ;  $p>0,05$  – abundância de *Crematogaster*:  $F_{48,1}=0,09$ ;  $p>0,05$ )(Tabela 3). Tendo em vista que a variação sazonal do clima não afetou os parâmetros supracitados, as amostras foram consideradas independentes (n=16 transecções por ambiente).

Desta maneira, a densidade média de espécies de formigas foi de  $7,8 \pm 2,4$  sp/m<sup>2</sup> na FP;  $7,7 \pm 3,2$  na FB, e  $8,4 \pm 3,3$  na FC. Este índice, contudo, não variou significativamente entre os ambientes estudados (ANOVA:  $F_{48,2} = 0,302$ ;  $p > 0,05$ ) (Tabela 3). Também não foram encontradas diferenças significativas na abundância de formigas entre os ambientes

estudados ( $17,1 \pm 6,7$  ocorrências de espécies na FP;  $16,1 \pm 7,6$  na FB e  $16,0 \pm 8,7$  na FC) (ANOVA:  $F_{48,2}=0,090$ ;  $p>0,05$ ). Em contraste, as espécies dos gêneros *Pheidole* sofreram diminuição na riqueza e abundância devido à exploração. A representatividade de espécies do gênero *Pheidole* (proporção de espécies na amostra) foi semelhante entre os ambientes FP (21,4%) e FB (26%), sendo reduzida no ambiente FC (14,8%) (ANOVA de valores transformados:  $F_{48,2} = 4,99$ ;  $p < 0,05$ ). Da mesma maneira, a abundância de espécies deste gênero foi semelhante entre FP ( $4,9 \pm 2,6$ ) e FB ( $3,4 \pm 1,9$ ) e menor na FC ( $2,7 \pm 1,6$ ) (ANOVA:  $F_{48,2}=4,577$ ;  $p<0,05$ ).

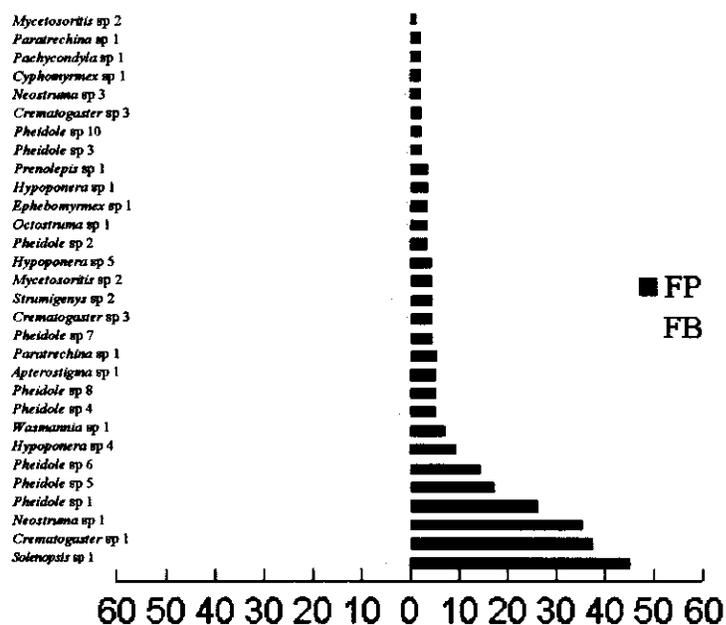
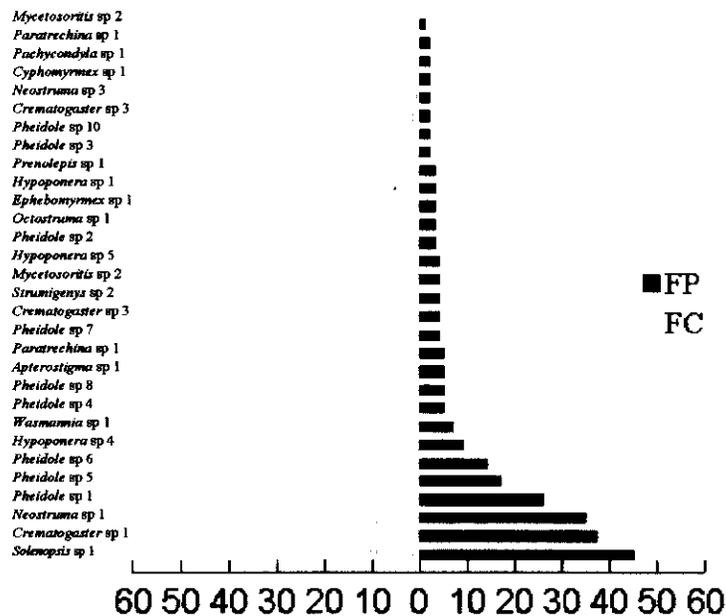
**Tabela 3 – Riqueza e abundância (ocorrência) de espécies de formigas em ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, Paragominas, Pará. As coletas foram realizadas em quatro ocasiões, duas na estação chuvosa (ch1 e ch2) e duas na estação seca (sc1 e sc2). Cada valor representa o número de espécies por gênero, e o valor entre parênteses significa o número de ocorrências das espécies deste gênero. Os valores na parte inferior da tabela são médias ( $\pm$  desvio padrão) dos parâmetros calculados para cada ambiente.**

Táxon	Floresta primária					Floresta c/ exploração de baixo impacto					Floresta c exploração convencional				
	ch 1	ch 2	sc 1	sc 2	Total	ch 1	ch 2	Sc 1	sc 2	Total	ch 1	ch 2	sc 1	sc 2	Total
<b>Myrmicinae</b>															
<i>Pheidole</i>	6(19)	8(24)	6(28)	5(8)	9(79)	6(18)	6(18)	5(14)	4(5)	13(55)	5(11)	4(15)	5(14)	3(5)	8(44)
<i>Iolenopsis</i>	1(3)	1(14)	1(17)	3(13)	3(47)	1(15)	2(18)	1(17)	2(9)	2(59)	1(6)	2(15)	1(17)	3(6)	4(44)
<i>Trematogaster</i>	3(9)	2(12)	1(11)	1(11)	3(43)	2(2)	1(11)	1(7)	1(2)	2(22)	3(8)	1(4)	2(8)	1(1)	4(21)
<i>Leostruma</i>	2(3)	2(11)	1(13)	1(10)	2(37)	2(6)	3(19)	1(15)	1(2)	3(42)	1(1)	2(10)	1(16)	1(2)	2(29)
<i>Vasmannia</i>	1(2)	1(3)	1(1)	1(2)	2(8)	1(3)	2(7)	1(4)	1(3)	1(17)	1(1)	1(7)	1(8)	1(3)	1(19)
<i>Trumigenys</i>	-	-	2(4)	1(1)	2(5)	-	2(2)	3(4)	-	2(6)	-	-	2(2)	1(1)	2(3)
<i>Pterostigma</i>	1(1)	1(3)	-	1(1)	1(5)	1(1)	1(1)	1(2)	1(3)	1(7)	1(2)	1(2)	1(4)	-	1(8)
<i>Lcstrotruma</i>	1(1)	1(1)	2(2)	-	2(4)	1(1)	-	-	2(2)	2(3)	1(2)	2(3)	1(1)	-	3(6)
<i>Cycetosoritis</i>	-	-	1(2)	1(2)	1(4)	-	-	-	-	-	-	-	1(1)	1(1)	1(2)
<i>Phebomyrmex</i>	-	1(2)	1(1)	-	1(3)	-	1(1)	1(1)	-	1(2)	-	1(2)	1(3)	-	1(5)
<i>Yphomyrmex</i>	-	-	1(1)	1(1)	1(2)	1(2)	1(2)	1(1)	-	1(7)	-	1(4)	1(2)	-	1(7)
<i>Reightonidris</i>	-	-	1(1)	-	1(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lycocarpus</i>	1(1)	-	-	-	1(1)	-	-	1(1)	1(1)	1(2)	-	2(2)	-	1(1)	2(3)
<i>Rachymyrmex</i>	-	1(1)	-	-	1(1)	1(1)	1(1)	-	1(1)	2(3)	1(1)	1(1)	-	-	2(2)
<i>Ephalotes</i>	-	-	-	-	-	1(1)	1(1)	-	2(2)	2(4)	-	2(4)	-	-	2(4)

<i>Megalomyrmex</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1(1)	-	-	-	1(1)
<i>Smithistruma</i>	-	-	-	-	-	-	-	1(1)	-	1(1)	1(1)	-	-	-	1(1)
<b>Ponerinae</b>															
<i>Hypoponera</i>	-	3(4)	3(8)	3(5)	4(17)	-	2(5)	3(5)	1(1)	3(11)	3(6)	2(2)	3(10)	3(3)	5(21)
<i>Pachycondyla</i>	-	1(1)	-	1(1)	1(2)	-	-	1(1)	-	1(1)	1(1)	1(2)	1(1)	-	1(3)
<i>Odontomachus</i>	-	-	-	1(1)	1(1)	-	1(1)	-	-	1(1)	1(1)	-	1(1)	-	1(2)
<i>Leptogenys</i>	-	-	1(1)	-	1(1)	-	-	1(1)	1(1)	1(2)	1(1)	1(2)	1(2)	-	1(5)
<i>Discothyrea</i>	-	-	1(1)	-	1(1)	-	-	1(1)	-	1(1)	-	-	-	-	-
<i>Ectatomma</i>	-	-	-	-	-	1(1)	2(3)	2(2)	-	3(6)	2(2)	-	1(2)	-	2(4)
<b>Formicinae</b>															
<i>Paratrechina</i>	-	1(3)	1(3)	-	3(6)	-	-	1(1)	-	1(1)	-	-	-	-	2(2)
<i>Prenolepis</i>	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)	1(4)	-	1(1)	-	-	1(1)	1(1)	-	1(4)	-	1(5)
<i>Brachymyrmex</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1(1)	-	-	1(1)
<i>Acropyga</i>	-	-	-	-	-	-	-	1(1)	-	1(1)	-	-	-	-	-
<i>Myrmelachista</i>	-	-	-	-	-	-	-	1(1)	-	1(1)	-	1(3)	1(1)	-	1(4)
<b>Dolichoderinae</b>															
<i>Hypoclinea</i>	-	-	-	-	-	-	-	2(3)	-	2(3)	1(2)	-	-	-	2(2)
<i>Dolichoderus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1(2)	-	1(1)	1(3)
<b>Total</b>	<b>17(40)</b>	<b>24(80)</b>	<b>25(95)</b>	<b>21(57)</b>	<b>42(272)</b>	<b>18(51)</b>	<b>27(91)</b>	<b>28(83)</b>	<b>18(32)</b>	<b>50(259)</b>	<b>25(47)</b>	<b>28(81)</b>	<b>26(97)</b>	<b>16(24)</b>	<b>54(251)</b>
<b>Abundância</b>	<b>10,0</b>	<b>20,5</b>	<b>23,5</b>	<b>14,3</b>	<b>17,1</b>	<b>12,7</b>	<b>23,3</b>	<b>20,7</b>	<b>7,7</b>	<b>16,1</b>	<b>12,0</b>	<b>20,7</b>	<b>25,2</b>	<b>6,0</b>	<b>16,0</b>
	$\pm 3,5$	$\pm 2,4$	$\pm 4,1$	$\pm 6,6$	$\pm 6,7$	$\pm 1,7$	$\pm 6,6$	$\pm 3,9$	$\pm 4,9$	$\pm 7,6$	$\pm 1,6$	$\pm 5,9$	$\pm 4,4$	$\pm 3,8$	$\pm 8,7$
<b>Densidade de espécies(sp/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,6</b>	<b>9,6</b>	<b>8,8</b>	<b>7,4</b>	<b>7,8</b>	<b>6,2</b>	<b>10</b>	<b>9,8</b>	<b>4,8</b>	<b>7,7</b>	<b>8,0</b>	<b>10,8</b>	<b>10,2</b>	<b>4,8</b>	<b>8,4</b>
	$\pm 0,6$	$\pm 1,4$	$\pm 2,6$	$\pm 2,8$	$\pm 1,7$	$\pm 1,3$	$\pm 3,1$	$\pm 2,2$	$\pm 2,7$	$\pm 2,6$	$\pm 1,7$	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 2,7$
<b>Porcentagem de espécies de Pheidole</b>	<b>35,2</b>	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>23,8</b>	<b>21,4</b>	<b>33,3</b>	<b>20</b>	<b>18,5</b>	<b>23,5</b>	<b>26,0</b>	<b>20</b>	<b>14,3</b>	<b>18,5</b>	<b>18,7</b>	<b>14,8</b>
<b>Abundância de espécies de Pheidole</b>	<b>4,7</b>	<b>6,0</b>	<b>7,0</b>	<b>2,0</b>	<b>4,9</b>	<b>4,2</b>	<b>4,5</b>	<b>3,5</b>	<b>1,2</b>	<b>3,4</b>	<b>2,5</b>	<b>3,7</b>	<b>3,5</b>	<b>1,2</b>	<b>2,7</b>
	$\pm 3,1$	$\pm 2,2$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$	$\pm 2,6$	$\pm 0,9$	$\pm 2,6$	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 1,9$	$\pm 1,3$	$\pm 2,1$	$\pm 1,3$	$\pm 0,9$	$\pm 1,6$

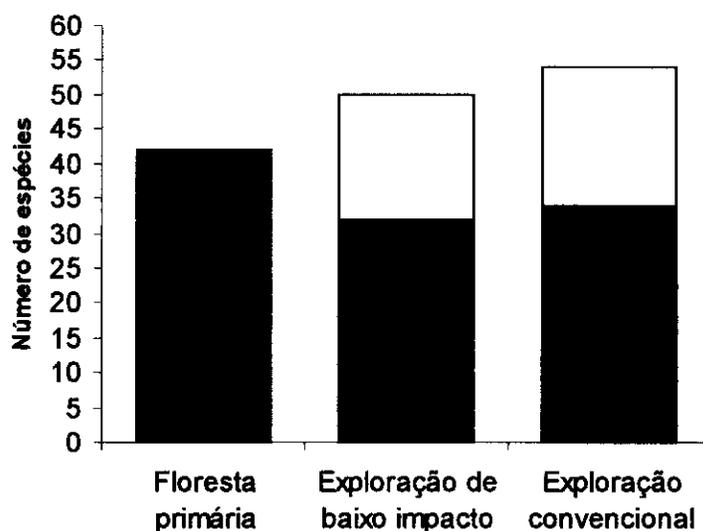
Além das espécies do gênero *Pheidole*, as populações de várias espécies comuns na floresta primária foram claramente alteradas tanto na floresta sob exploração convencional, quanto na floresta sob exploração de baixo impacto (Figura 3). As 30 espécies mais comuns na floresta primária, relacionadas da mais abundante para a menos abundante, foram: *Solenopsis* sp 1, *Crematogaster* sp 1, *Neostruma* sp 1, *Pheidole* sp 1, *Pheidole* sp 5, *Pheidole* sp 6, *Hypoconera* sp 4, *Wasmannia* sp 1, *Pheidole* sp 4, *Pheidole* sp 8, *Apterostigma* sp 1, *Paratrechina* sp 1, *Pheidole* sp 7, *Crematogaster* sp 3, *Strumigenys* sp 2, *Mycetosoritis* sp 2,

*Hypoponera* sp 5, *Pheidole* sp 2, *Octostruma* sp 1, *Ephebomyrmex* sp 1, *Hypoconerops* sp 1, *Prenolepis* sp 1, *Pheidole* sp 3, *Pheidole* sp 10, *Crematogaster* sp 3, *Neostruma* sp 3, *Cyphomyrmex* sp 1, *Pachycondyla* sp 1, *Paratrechina* sp 2, *Mycetosoritis* sp 2. Algumas destas espécies apresentaram reduções de 20 a 60% em sua abundância nos ambientes exploradas (ex: *Pheidole* sp 5, *Pheidole* sp 6, *Hypoconerops* sp 4, *Pheidole* sp 4, *Pheidole* sp 8, *Paratrechina* sp 1, *Strumigenys* sp 2), enquanto outras apresentaram respostas inversas, tendendo a aumentar em abundância com a exploração madeireira (ex: *Wasmannia* sp 1, *Cyphomyrmex* sp 1, *Hypoconerops* sp 1) (Figura 3).



**Figura 3 – Distribuição da abundância das 30 espécies de formigas mais comuns no ambiente de floresta primária (FP), comparada àquelas de ambientes que sofreram exploração madeireira de baixo impacto (FB) e convencional (FC), na fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. A abundância é representada pelo número de ocorrências das espécies nas amostras.**

A composição de espécies de formigas foi afetada tanto pela exploração madeireira convencional como pela de baixo impacto. Do total de espécies coletadas no ambiente FB e no ambiente FC, 18 (36 %) e 20 (37 %) espécies, respectivamente, não foram encontradas na amostra do ambiente FP (Figura 4).



**Figura 4 - Representação gráfica do índice de Sorensen. O número de espécies de formigas de serapilheira que foram encontradas na floresta primária está representado pelas barras pretas, enquanto que as barras brancas indicam as espécies que são exclusivas dos ambientes sob exploração de baixo impacto e convencional (Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará).**

A comparação das variáveis ambientais entre o ambiente de floresta primária e os ambientes explorados, demonstrou que a exploração convencional afetou significativamente a estrutura da vegetação, enquanto que o sistema de exploração de baixo impacto preservou-a (Tabela 4). A abertura do dossel na FC foi seis vezes maior do que aquela encontrada na FP. A diferença em densidade de subarbustos entre a FC e FP também foi significativa. Contudo, a

altura da serapilheira foi similar nos três ambientes (Tabela 4). Nenhuma relação significativa foi encontrada entre estas variáveis ambientais e o número médio de espécies de formigas por unidade de área (densidade), nem com a representatividade ou a abundância das espécies de *Pheidole*. Variações na riqueza ou abundância de *Pheidole* também não mostraram-se influenciadas por variações na riqueza ou abundância de formigas competitivas e mutuamente excludentes, como as da subfamília Formicinae (Fowler, 1993) (Análise de Regressão, riqueza de *Pheidole* x riqueza de Formicinae:  $R^2 = 0,03$ ;  $n=48$ ;  $p>0,05$  - abundância *Pheidole* x abundância Formicinae:  $R^2 = 0,016$ ;  $n=48$ ;  $p>0,05$ ).

**Tabela 4 - Diferenças na abertura do dossel, densidade de subarbustos, altura da serapilheira entre os ambientes de floresta primária, floresta sob exploração de baixo impacto e floresta sob exploração convencional, na Fazenda Cauaxi, Paragominas, Pará, Brasil. As médias e desvios de cada ambiente foram obtidos a partir das médias das transecções (n=12/ambiente).**

	Floresta Primária	Floresta sob exploração de baixo impacto	Floresta sob exploração de alto impacto
Abertura do dossel <sup>1</sup>	0.6 ± 0.9 <sup>a</sup>	1.6 ± 1.3 <sup>a</sup>	4.0 ± 3.1 <sup>b</sup>
Densidade de subarbustos <sup>2</sup>	1.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	1.8 ± 0.6 <sup>a</sup>	2.0 ± 0.4 <sup>b</sup>
Altura da serapilheira (cm) <sup>3</sup>	4.9 ± 1.2 <sup>a</sup>	5.2 ± 1.9 <sup>a</sup>	5.1 ± 1.2 <sup>a</sup>

a, b – letras diferentes indicam diferenças estatísticas ao nível 5%

1 - ANOVA:  $F_{36,1} = 9,42$ ;  $p<0,05$

2 - ANOVA:  $F_{36,1} = 4,673$ ;  $p<0,05$

3 - ANOVA:  $F_{36,1} = 0,29$ ;  $p>0,05$

## 4.2 – REMOÇÃO DE SEMENTES PELAS FORMIGAS

Das 2160 sementes utilizadas no experimento de remoção, 37,5% foram removidas, em sua maioria, pelas formigas. O número total de avistamentos de formigas correspondeu à 92% do número total de avistamentos de artrópodes visitando as sementes durante o experimento. Este parâmetro (avistamentos de formigas) apresentou relação negativa com o número de avistamentos de outros artrópodes (Análise de Regressão:  $R^2=0,69$ ;  $n=12$ ;  $p<0,005$ ), ou seja, a presença de formigas limitou 69% das ocorrências de outros artrópodes nos pontos experimentais de sementes, no total dos três ambientes.

Seis gêneros de formigas foram coletados utilizando as sementes no ambiente FP e seis no ambiente FB. No ambiente FC o número de gêneros caiu pela metade. Curiosamente, não foram registradas formigas do gênero *Pheidole* no ambiente FC durante esta coleta (Figura 5).

Menos sementes foram removidas no ambiente sob exploração convencional (FC). O número médio ( $\pm$  DP) de sementes removidas por ponto experimental neste ambiente (FC =  $17,1 \pm 11,4$ ) foi menor do que o do ambiente FP ( $25 \pm 6,8$ ). Já no ambiente FB ( $26,8 \pm 6,9$ ) este parâmetro não foi estatisticamente diferente de FP (ANOVA;  $F_{36,2}=4,32$ ;  $p<0,05$ ). No entanto, quando o efeito dos ambientes na remoção de sementes foi avaliado dentro das espécies separadamente, apenas as sementes de parará (*Jacaranda copaia*) foram menos removidas no ambiente FC ( $2,9 \pm 2,8$ ) em relação a FP ( $6,3 \pm 2,8$ ) (ANOVA:  $F_{36,2} = 3,969$ ;  $p < 0,05$ ) (Tabela 5).

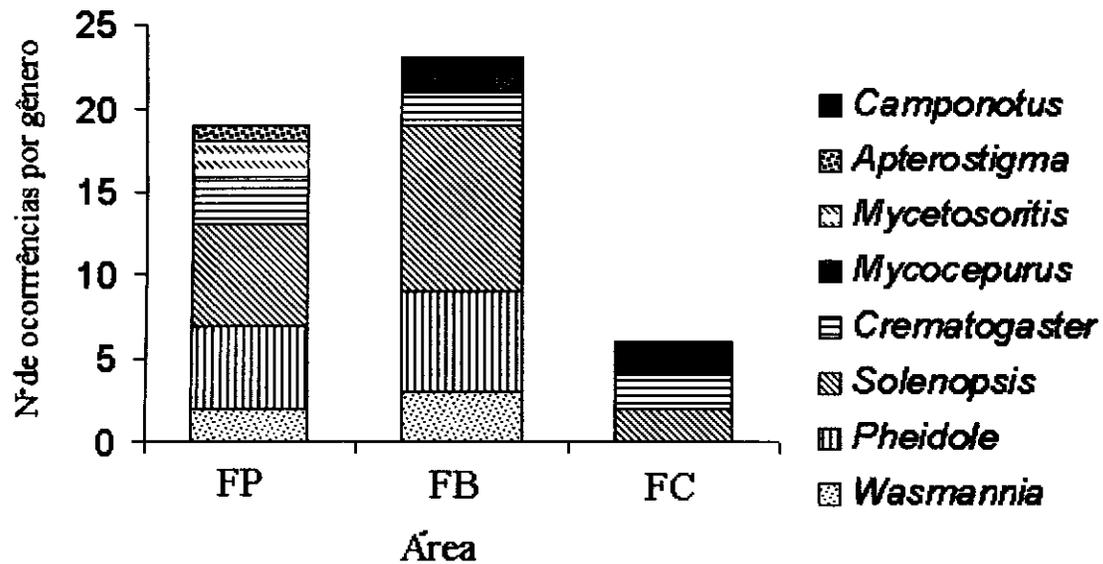


Figura 5 – Número de ocorrência de gêneros de formigas coletados nos pontos experimentais de sementes nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará.

Tabela 5 – Número médio de sementes removidas por espécie (e seu respectivo tamanho), nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional, na Fazenda Cauaxi, Paragominas, Pará. Cada valor representa o número médio ( $\pm$  DP) de sementes removidas nos 12 pontos experimentais em cada ambiente. O tamanho está representado logo após o nome da espécie e os valores entre parênteses indicam o número total de sementes removidas.

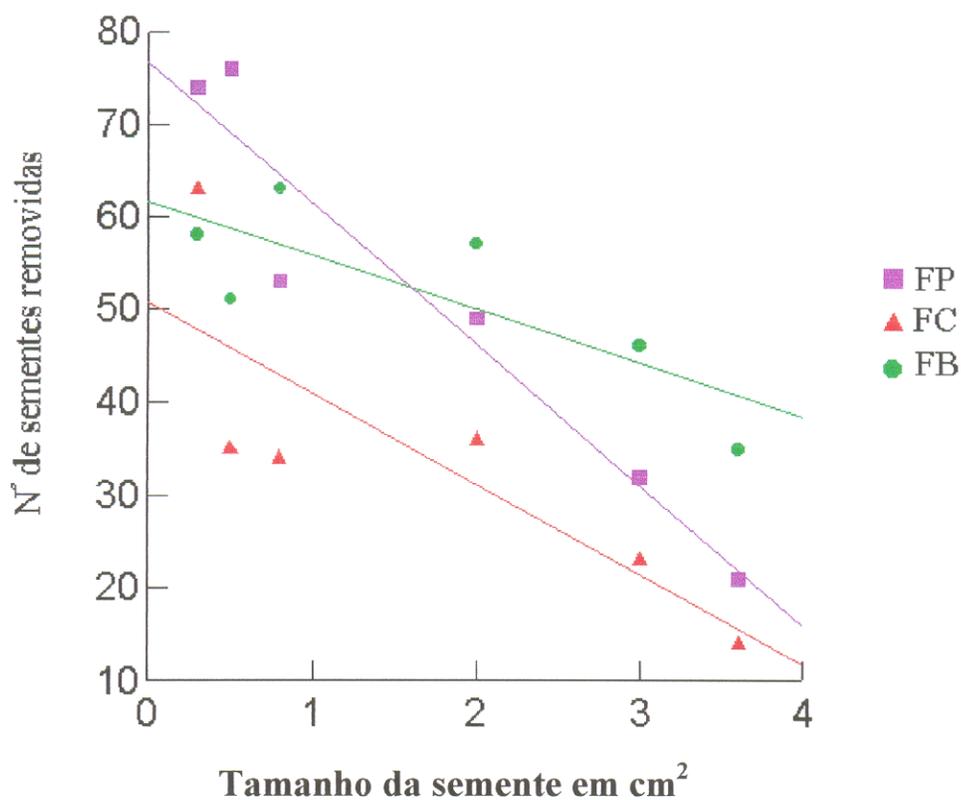
Ambiente	<i>Sclerobium guianensis</i> , 3,6cm <sup>2</sup>	<i>Cedrela angustifolia</i> , 3,0cm <sup>2</sup>	<i>Cordia goeldiana</i> , 2,0cm <sup>2</sup>	<i>Vochysia maxima</i> , 0,8cm <sup>2</sup>	<i>Jacaranda copaia</i> , 0,5cm <sup>2</sup>	<i>Bagassa guianensis</i> , 0,3cm <sup>2</sup>	Total
FP	1,7 $\pm$ 1,6 (21)	2,7 $\pm$ 2,5 (32)	3,7 $\pm$ 1,7 (49)	4,4 $\pm$ 2,8 (53)	6,3 $\pm$ 2,8 (76)	6,2 $\pm$ 3,0 (74)	25 $\pm$ 6,8 (305)
FB	3,9 $\pm$ 3,3 (35)	3,9 $\pm$ 2,5 (46)	4,7 $\pm$ 2,5 (57)	5,2 $\pm$ 2,2 (63)	4,2 $\pm$ 2,4 (51)	4,8 $\pm$ 2,9 (58)	26,8 $\pm$ 6,9 (310)
FC	1,2 $\pm$ 1,1 (14)	1,9 $\pm$ 1,8 (23)	3,0 $\pm$ 2,9 (36)	2,8 $\pm$ 3,8 (34)	2,9 $\pm$ 2,8 (35)	5,2 $\pm$ 3,7 (63)	17,1 $\pm$ 11,4 (205)
Média Total	1,9 $\pm$ 2,5 (70)	2,8 $\pm$ 2,4 (101)	3,8 $\pm$ 2,7 (142)	4,2 $\pm$ 3,1 (150)	4,5 $\pm$ 3,2 (162)	5,4 $\pm$ 3,2 (195)	

A remoção de sementes variou em função do tamanho. As sementes menores foram mais removidas que as maiores, independente do ambiente estudado (Tabela 5 e Figura 6). Analisando o efeito da espécie no número de sementes removidas sem o efeito do ambiente (6 espécies por ponto x 12 pontos x 3 ambientes = 216 casos), observou-se que as sementes de tatajuba (*Bagassa guianensis*, tamanho= 0,3 cm<sup>2</sup>) foram mais removidas que as sementes maiores como as de taxi (*Sclerobium guianensis*, tamanho= 3,6 cm<sup>2</sup>) ou as de cedro (*Cedrela angustifolia*, tamanho= 3 cm<sup>2</sup>). Sementes também consideradas pequenas como as de quaruba (*Vochysia maxima*, tamanho= 0,5 cm<sup>2</sup>) e de parapará (*Jacaranda copaia*, tamanho= 0,8 cm<sup>2</sup>) foram estatisticamente mais removidas que as de taxi (ANOVA:  $F_{216,5} = 6,625$ ;  $p < 0,005$ ). A maior remoção das sementes de tamanho reduzido foi um padrão encontrado em todos os ambientes (Tabela 5, Figura 6).

Das sementes não removidas (1353), 862 (64%) foram classificadas dentro de alguma das categorias de dano utilizadas. Das não danificadas (487), 335 (69%) germinaram, e das 862 danificadas, 474 (55%) germinaram. O número de sementes danificadas e a porcentagem de sementes germinadas não foram alterados significativamente entre os ambientes FP, FB e FC (Tabela 6, Tabela 7). Contudo, a intensidade do dano causado por formigas às sementes limitou a germinação (Tabela 7). A tabela 6 mostra o total de sementes não removidas e a distribuição destas nas diferentes categorias de danos. Uma análise estatística dos dados desta tabela demonstra que o fator “ambiente” não representou uma fonte de variação significativa para o dano sofrido pela semente, pois o número de sementes danificadas variou apenas entre as categoria de dano sofrido (ANOVA para dois fatores: Efeito do dano,  $F_{316,3} = 14,22$ ,  $p < 0,001$  - Efeito do ambiente,  $F_{316,2} = 3,968$ ,  $p > 0,05$  - Efeito da interação dano x ambiente,  $F_{316,6} = 1,47$ ,  $p > 0,05$ ). Da mesma maneira, o número de sementes presentes na categoria “sem dano” foi maior que o número de sementes presentes em qualquer

outra categoria, independente do efeito do ambiente (ANOVA,  $F_{3,316}=13,772$ ;  $p < 0,005$ )

(Tabela 6).



**Figura 6 - Relação entre o número de sementes removidas por formigas e o tamanho da semente, nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. Análise de Regressão, FP:  $R^2=0,92$ ;  $F_{6,1}=46,14$ ;  $p < 0,005$  – FB:  $R^2=0,64$ ;  $F_{6,1}=7,02$ ;  $p = 0,05$  – FC:  $R^2=0,67$ ;  $F_{6,1}=7,98$ ;  $p < 0,05$ .**

**Tabela 6 – Média ( $\pm$  DP) dos valores transformados (arco seno vx) da porcentagem de sementes, e valor absoluto da porcentagem, em cada categoria de dano, nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. Sem dano indica que a semente foi encontrada intacta; dano A, indica  $\leq$  40% da semente encontra danificada; dano B, entre 40% e 70% e; dano C, mais de 70%. O valor representado entre parênteses é o número total de sementes classificadas dentro de determinada categoria em cada ambiente.**

Ambiente	Sem dano	%	Dano A	%	Dano B	%	Dano C	%	Total
FP	1,1 $\pm$ 0,4 (158)	37,6	1,1 $\pm$ 0,5 (86)	20,5	1,0 $\pm$ 0,4 (114)	27,1	1,0 $\pm$ 0,4 (62)	14,8	420
FB	1,2 $\pm$ 0,4 (162)	38,8	1,1 $\pm$ 0,43 (141)	33,7	0,9 $\pm$ 0,5 (70)	16,7	0,8 $\pm$ 0,4 (41)	9,8	418
FC	1,1 $\pm$ 0,4 (167)	32,4	0,9 $\pm$ 0,4 (110)	21,4	0,8 $\pm$ 0,2 (134)	27,4	0,7 $\pm$ 0,4 (97)	18,8	515
Total	487	-	337	-	318	-	200	-	1353

A porcentagem de sementes germinadas foi negativamente influenciada pelo dano sofrido pela semente, o que se deu sem efeito do ambiente (ANOVA para dois fatores: Efeito do dano,  $F_{265,2}=142,52$ ,  $p<0,001$  - Efeito do ambiente,  $F_{265,2}= 0,59$ ,  $p>0,05$  - Efeito da interação dano x ambiente,  $F_{265,4}= 0,63$ ,  $p>0,05$ ). Cerca de 70% das sementes sem dano germinaram. Já dentro da categoria “dano A” houve 47% de germinação, enquanto que apenas 3% das sementes da categoria “dano B” germinaram. Na categoria “dano C” não houve germinação de sementes (Tabela 7). A porcentagem de germinação das sementes variou também entre as espécies testadas, independente do tipo de ambiente (ANOVA para dois fatores: Efeito da espécie,  $F_{263,5}=4,59$ ,  $p<0,005$  – Efeito da espécie x ambiente,  $F_{263,10}=0,46$ ,  $p>0,05$ ).

**Tabela 7 – Média ( $\pm$  DP) dos valores transformados (arco seno vx) da porcentagem de sementes (e valor absoluto da porcentagem) germinadas nos diferentes danos, nos ambientes de floresta primária (FP), floresta sob exploração de baixo impacto (FB) e floresta sob exploração convencional (FC), na Fazenda Cauaxi, município de Paragominas, Pará. Sem dano significa que a sementes foi encontrada intacta; dano A, significa  $\leq 40\%$  da semente danificada; dano B, entre 40% e 70% da semente danificada e; dano C, mais de 70% da semente danificada. O valor representado entre parênteses é o número total de sementes germinadas por categoria em cada ambiente.**

Ambiente	Sem dano	%	Dano A	%	Dano B	%	Dano C	Total
FP	1,1+0,5 (97)	62	0,8+0,5(36)	41,9	0,07+0,2 (5)	4,4	0	138
FB	1,2+0,4 (113)	70,4	0,6+0,4(50)	35,5	0,02+0,1 (2)	2,8	0	165
FC	1,2+0,5 (125)	75,5	0,7+0,6(43)	39,1	0,08+0,3 (3)	2,1	0	171
<b>Total</b>	<b>335</b>	<b>-</b>	<b>129</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>474</b>

## 5 – DISCUSSÃO

### 5.1 – EFEITOS DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA SOBRE A FAUNA DE FORMIGAS DE SERAPILHEIRA

Os resultados encontrados neste estudo sugerem que a exploração de madeira na Amazônia não afeta a diversidade total de espécies de formigas de serapilheira (exceto *Pheidole*), mas afeta sua composição. Esta modificação se dá, aparentemente, devido a substituição de parte da fauna nativa por outra, composta por espécies possivelmente mais tolerantes às alterações causadas pela exploração madeireira. Resultados semelhantes foram encontrados em florestas exploradas para retirada de madeira próximas a Manaus. Nestas florestas, formigas comuns mostraram-se raras em florestas intactas, apesar desta mudança não alterar significativamente a diversidade total (Vasconcelos et al., 2000). Da mesma maneira, a diversidade de formigas não foi alterada em duas áreas próximas a Paragominas, as quais foram exploradas com tratamentos semelhantes ao deste estudo (FB e FC) (Ketelhut, 1999). Em florestas que foram convertidas em pastagens, alterações tanto na composição de espécies de formigas quanto reduções na diversidade foram registradas (Moutinho, 1998; Nepstad et al., 1998; Vasconcelos, 1999). De uma maneira geral, as reduções em diversidade e modificações na composição de insetos nas florestas de regiões neotropicais são esperadas em áreas de floresta que sofreram distúrbios antrópicos (Brown, 1997), e foram confirmadas pelos resultados obtidos neste estudo.

Apesar da diversidade total de formigas aparentemente não ser afetada pela atividade madeireira na Amazônia (este estudo; Ketelhut, 1999; Vasconcelos et al., 2000), a riqueza e a abundância de gêneros bastante representativos nestas florestas, como o gênero

*Pheidole*, podem sofrer reduções significativas de acordo com a intensidade do dano causado pela exploração. No caso de *Pheidole*, a diminuição na riqueza e na abundância de espécies foi observada exclusivamente na floresta que sofreu exploração convencional. Contudo, as causas das variações na diversidade de *Pheidole* têm sido relacionadas por alguns autores, à competição difusa com formigas da subfamília Formicinae (Vespalainen & Savolainen, 1990; Fowler, 1993). Esta, no entanto, parece não ser a explicação para a redução da riqueza e abundância de espécies do gênero *Pheidole* registrada na FC. Assim, é provável que esta redução se deva à mudanças de fatores ambientais decorrentes da exploração desordenada. Estudos recentes reforçam esta afirmação. Em aberturas (clareiras e estradas) promovidas na floresta pela exploração madeireira, quatro das cinco espécies mais comuns deste gênero sofreram reduções pronunciadas na sua abundância relativa (Vasconcelos et al., 2000). Em ambientes de pastagens, a redução da representatividade do gênero pode atingir de 25 a 75%, em relação à uma floresta primária (Moutinho, 1998, Vasconcelos, 1999). No presente trabalho, as proporções de espécies de *Pheidole* nas florestas primária e com exploração de baixo impacto (21,4 e 26%, respectivamente), mantiveram-se similares à proporção encontrada em florestas intactas nos estudos acima citados (20%). Contudo, a proporção para o ambiente sob exploração convencional (14.8 %) foi semelhante a de pastos abandonados (Moutinho, 1998; Vasconcelos, 1999). Estes resultados fornecem indícios de que formigas do gênero *Pheidole* são sensíveis aos distúrbios provocados pela exploração de alto impacto sobre a vegetação (exploração convencional). Neste sentido, é possível que as formigas deste gênero possam ser consideradas bons indicadores das perturbações promovidas pela atividade madeireira.

Vários estudos demonstram que as variações na diversidade de espécies de formigas podem estar relacionadas à alterações no microclima e na complexidade estrutural da

vegetação (produtividade, disponibilidade de alimento, diversidade de espécies de plantas e biomassa vegetal) (Benson & Harada, 1988; Malcolm, 1994; Kapos et al, 1997; Moutinho, 1998; Nepstad et al., 1998; Carvalho & Vasconcelos 1999; Vasconcelos, 1999; Vasconcelos et al., 2000). A altura da serapilheira em ambientes florestados, por exemplo, tem sido positivamente relacionada à diversidade de espécies de formigas (Kaspari, 1996; Moutinho 1998; Carvalho & Vasconcelos, 1999; Yanoviak & Kaspari, 2000). Contudo, as variáveis utilizadas neste estudo para descrever as modificações estruturais na vegetação em decorrência da exploração madeireira (abertura do dossel, densidade de subarbustos e altura da serapilheira), não apresentaram relação com a diversidade de *Pheidole* ou com a diversidade de formigas como um todo. No caso da altura da serapilheira, a ausência de relação com a diversidade de espécies de formigas (e de *Pheidole*) pode ser atribuída, em parte, à variação não significativa deste parâmetro entre os ambientes estudados. Já as variáveis ambientais que tiveram seus valores significativamente alterados pela exploração, como a abertura do dossel (seis vezes maior na floresta explorada de modo convencional) e a densidade de subarbustos, aparentemente não são suficientes para explicar as variações na fauna de formigas e a redução observada na diversidade de espécies de *Pheidole*. Em parte, isto se deve ao fato de que as medidas das variáveis ambientais não foram tomadas exatamente nos mesmos pontos onde as formigas foram coletadas (veja Materiais e Métodos para detalhes).

Por outro lado, a substituição na fauna original nos ambientes explorados (mudança na composição de espécies), pode ser explicada pelas mudanças significativas das variáveis ambientais testadas neste estudo. As aberturas no dossel, por exemplo, resultam na maior incidência de raios solares sobre o chão da floresta (Holdsworth & Uhl, 1997), o que acaba por elevar a temperatura em 3-4 °C, e reduzir a umidade em 20% (P. Moutinho com. pes.). O

aumento da temperatura e a queda da umidade, por sua vez, podem ser fatores aos quais muitas espécies de formigas de florestas são intolerantes (Torres, 1984). Um outro fator que pode explicar as diferenças na composição da fauna entre os ambientes de floresta estudados está relacionado ao crescimento da vegetação de espécies pioneiras, como indicado pelas medidas de densidade de subarbustos (43% maior na FC). Alterações na composição de espécies de plantas em áreas de exploração madeireira (Liu & Ashton, 1999) podem proporcionar o recrutamento diferenciado de espécies animais, favorecendo mudanças na composição faunística (Harvey, 2000). Além disso, espécies de formigas generalistas, por exemplo, são capazes de utilizar uma gama variada de recursos alimentares e de nidificarem em diversos sítios, sendo favorecidas em áreas abertas no ambiente florestal (MacKay et al., 1991). As inúmeras clareiras e estradas estabelecidas em florestas exploradas para retirada de madeira (Webb, 1998) podem também influenciar nas mudanças em composição de espécies de formigas (Vasconcelos et al., 2000), através de um contínuo efeito de borda destas áreas sobre a floresta remanescente (p.e., Didthan, 1997; Carvalho, 1998; Carvalho & Vasconcelos, 1999).

## 5.2 – EFEITOS DA EXPLORAÇÃO DE MADEIRA SOBRE A FAUNA DE FORMIGAS E AS IMPLICAÇÕES PARA A DISPERSÃO E PREDACÃO DE SEMENTES

A maioria dos artrópodes de serapilheira observados visitando as sementes foi representada por formigas (92%), e a presença destas limitou a presença de outros artrópodes. A dominância destes insetos sob recursos, como as sementes, tem sido explicada através de

um eficiente sistema de recrutamento o qual é um resultado evolutivo da vida colonial (Holldobler & Wilson, 1990).

Se considerarmos que a efetividade de uma espécie animal para a dispersão de sementes pode ser medida por parâmetros quantitativos, entre eles o número de visitas ao recurso (Schupp, 1993), ou o número de sementes removidas (Guariguata & Pinard, 1998; Guariguata 2000; Guariguata et al., 2000), então as formigas representam os principais organismos dentre os artrópodes de serapilheira a desempenhar esta função. Desta maneira, as diminuições observadas na abundância de algumas espécies de formigas que incluem as sementes em suas dietas, podem ter alterado significativamente a remoção de sementes realizada pela mesofauna do serapilheira como um todo. Aparentemente, este foi o caso da floresta sob exploração convencional de madeira que apresentou menor número de sementes removidas quando comparada à floresta primária. Este dado é reforçado tanto pela diminuição significativa no número de espécies de *Pheidole* no ambiente sob exploração convencional (verificada através das coleta com Winkler), quanto pela ausência do gênero na coleta (manual) da fauna presente nas sementes. A contribuição de formigas do gênero *Pheidole* para a remoção de sementes já foi descrita em outros trabalhos, onde, juntamente com formigas dos gêneros *Crematogaster* e *Solenopsis*, foram avistadas removendo mais sementes que qualquer outro animal em áreas de pasto abandonado (Nepstad et al., 1998).

O experimento de remoção demonstrou claramente que as sementes de tamanho reduzido (de 0,3 a 3,6 cm<sup>2</sup>) são as mais removidas por formigas, o que parece ocorrer independente de adaptações que estas sementes possam ter a outros dispersores (vento, mamíferos, pássaros). As elevadas taxas de remoção de tatajuba (*Bagassa guianensis*), parará (*Jacaranda copaia*) e quaruba (*Vochysia maxima*) podem ser um exemplo disso, uma vez que as sementes destas espécies não apresentam adaptações a dispersão por

formigas. As sementes de *Bagassa guianensis*, por exemplo, são adaptadas a dispersão por mamíferos devido ao seu fruto atrativo (Vieira et al., 1996), sendo bastante utilizadas por alguns primatas na Amazônia (Oliveira & Ferrari, 2000), enquanto que as sementes de *Jacaranda copaia* apresentam adaptações para a dispersão pelo vento (Vieira et al., 1996; Guariguata, 2000).

A alta remoção de sementes pequenas por formigas foi um padrão encontrado também em áreas de pastagem na Amazônia, onde as sementes de *Bagassa guianensis* foram as mais removidas dentre 11 espécies testadas (Nepstad et al., 1998). Da mesma maneira, a remoção de sementes não mirmecocóricas por formigas tem sido mostrada em áreas de Mata Atlântica e de florestas semidecíduas no Brasil, sendo observados, frequentemente, benefícios à favor da germinação (Passos, 1996; Pizo & Oliveira, 1998). Diferentes tamanhos de sementes (Parolin, 2000) requerem dispersores diferenciados (Westoby et al., 1990; Haig, 1996), e aparentemente sementes de tamanho pequeno (0,3 a 3,6 cm<sup>2</sup>) tendem a ser dispersas por formigas.

Alguns autores discutem que, além do tamanho, outros mecanismos podem influenciar na preferência de formigas por sementes, tal como a presença de polpa, arilo ou elaiossoma (Hughes et al., 1993; Nepstad et al., 1998; Pizo & Oliveira, 1998). Contudo, as sementes utilizadas no experimento de remoção, estavam desprovidas destas estruturas, pois destinavam-se ao armazenamento. Isoladas estas variáveis, o tamanho da semente foi fator de grande influência na preferência de formigas no momento da remoção, como demonstrado para outros invertebrados (Shepherd & Chapman, 1998). Uma explicação para a preferência de formigas por sementes de tamanho reduzido estaria na facilidade de transporte e consumo (Holldobler & Wilson, 1990). Até o presente momento não há estimativas da quantidade de sementes ou do número de espécies que são removidas por formigas na Amazônia, mas

estudos em outras florestas tropicais podem servir de referência. Por exemplo, está bem fundamentado na literatura que sementes adaptadas a dispersão mirmecocórica estão distribuídas pelo mundo, e são altamente removidas e beneficiadas por formigas, especialmente na Austrália (Gomez & Espadaler, 1998). Os resultados encontrados neste trabalho fornecem indícios de que o número de sementes mobilizadas por formigas é potencialmente alto nas florestas da Amazônia, já que mesmo as espécies não adaptadas podem ser largamente removidas, especialmente aquelas de tamanho reduzido.

Neste caso, a importância de formigas para a recuperação de ambientes florestais perturbados pela exploração madeireira na Amazônia pode ser notória, pois grande parte das sementes das espécies arbóreas apresenta um tamanho reduzido. Vieira et al. (1996), por exemplo, observaram que mais de 60% das sementes de 120 espécies arbóreas da Amazônia (sendo 68 de alto valor madeireiro) possuem tamanho abaixo de 5 cm e pesam menos que 1 g. Da mesma forma, cerca de 65% dos frutos destas espécies medem entre 1 e 5 cm. Estes autores concluíram ainda que o banco de sementes de florestas secundárias é composto, basicamente, de sementes pequenas. A regeneração destes ambientes, e de ambientes explorados para retirada de madeira, deverá depender, portanto, das sementes viáveis no banco de sementes, e de chuvas de sementes promovidas por dispersores como pássaros, mamíferos, ou vento (Forget, 1993; Forget, 1996; Julliot, 1997; Dalling & Denslow, 1998; Nepstad et al., 1998; Guariguata, 2000), e provavelmente formigas, que são organismos abundantes e capazes de mobilizar um grande número de sementes pequenas (este estudo). As formigas podem ainda movimentar-se intensamente em áreas abertas, a partir de ambientes de floresta que os rodeiam (Cabrera et al., 1998), dispersando sementes a curta distância (Gomez & Espadaler, 1998), ao contrário de alguns mamíferos e pássaros capazes de dispersar sementes maiores em distâncias longas, mas que evitam as áreas abertas (Vieira et al. 1996).

Cerca de 50% de uma floresta explorada para retirada de madeira pode ser representada por áreas abertas (como clareiras, pátios de estocagem e estradas primárias ou secundárias) (Veríssimo et al., 1996; FFT, 1997; Vidal et al., 1997).

### 5.3 – OS DANOS CAUSADOS POR FORMIGAS À SEMENTES E EFEITOS SOBRE A CAPACIDADE DE GERMINAÇÃO

Os resultados encontrados sugerem que as formigas não favorecem a quebra da dormência das sementes através de danos mais amenos. Ao contrário, mesmo as sementes classificadas na categoria de menor dano (dano A  $\leq$  40% da semente consumida) apresentaram menor porcentagem de germinação do que as sementes que permaneceram intactas nos ambientes estudados. Contudo, as categorias de dano empregadas podem não ter sido refinadas o suficiente para tal observação. Apesar disso, o experimento possibilitou determinar a porcentagem do dano sofrido pela semente e a conseqüente diminuição de sua capacidade de germinação. Para as espécies testadas, o consumo de até 40% do conteúdo da semente por formigas deve representar uma probabilidade de germinação de cerca de 47%, enquanto que acima de 40% do conteúdo consumido há uma probabilidade insignificante de germinação (3% para 40 - 70% do conteúdo consumido e 0% acima disto).

Estes resultados representam um dos passos para elucidar o papel de formigas na dispersão de sementes. Por exemplo, algumas espécies de formigas apresentam hábito de depositar fragmentos de sementes e sementes intactas ao redor da entrada do ninho, sendo possível que parte destas possam germinar (Roberts & Heithaus, 1986; Moutinho, 1998; Torres et al. 1999). Através da quantificação dos danos de sementes depositadas ao redor dos

ninhos de diferentes espécies de formigas, pode ser possível prever a quantidade daquelas que se mantêm viáveis, caso estejam envolvidas as sementes das espécies em questão.

## 6 – CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que a exploração de madeira na Amazônia não altera a diversidade total de formigas de serapilheira mas altera a composição da fauna nativa de formigas. A exploração realizada sem planejamento (convencional) modifica a estrutura do ambiente florestal mais intensamente que o sistema de baixo impacto, e estas alterações promovem a redução da riqueza e a abundância do gênero mais representativo da mirmecofauna amazônica, o gênero *Pheidole*, e induzem as mudanças na composição de espécies. Por esta ótica, o gênero *Pheidole* é um bom indicador de distúrbios causados pela exploração de madeira na Amazônia, uma vez que responde com diminuição de sua riqueza e abundância ao aumento do dano sobre a floresta.

A diminuição do número de sementes removidas por formigas ocorre em função da intensidade da exploração madeireira, e pode estar ligada à redução na riqueza e abundância do gênero *Pheidole*. Se a diminuição na remoção de sementes realizada por estas formigas afeta a dinâmica total de dispersão ou predação de sementes realizada por todos os animais da floresta e ainda por fatores físicos (como o vento), é uma questão a ser testada. Mas, formigas podem remover um grande número de sementes de tamanho pequeno, mesmo as não adaptadas a dispersão zoocórica, sendo provavelmente os primeiros organismos a visitarem uma semente depositada no chão da floresta e a dominarem este recurso. Dados estes atributos, os esforços para diminuir os impactos da exploração de madeira sobre estes animais, são de grande valia para manter os mecanismos de dispersão de sementes e garantir a regeneração da floresta após a exploração.

Os resultados deste estudo indicam que o sistema de exploração de baixo impacto representa uma boa alternativa para a redução dos danos sobre a floresta, sobre a fauna de formigas e sobre a eficiência ecológica deste animais na remoção de sementes.

## 7 - LITERATURA CITADA

- ANDERSEN, A. N. & ASHTON, D. H. Rates of seed removal by ants at heath and woodland sites in southeastern Australia. **Australian Journal of Ecology**, 10(4): 381-390, 1985.
- ANDERSEN, A. N. Soil of the nest-mound of the seed-dispersing ant *Aphaenogaster longiceps* enhances seedling growth. **Australian Journal of Ecology**, 13: 469-471, 1988.
- ANDERSEN, A. N. Using ants as bioindicators: multiscale issues in ant community ecology. **Conservation Ecology**, 1 (1): 8, 1997 [on line], available from the Internet. URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss/art8>.
- BENNETT, E. L. Timber certification: where is the voice of the biologist ? **Conservation Biology**, 14(4): 921-923, 2000.
- BENSON, W. W. & BRANDÃO, C. R. F. *Pheidole* diversity in the humid tropics: survey from the Serra dos Carajás, Pará, Brazil. In: **Chemistry and Biology of Social Insects**. Eder, J. & Rembold, H. (eds). Verlag J. Peperny. Munique, 1987. p. 593-595.
- BENSON, W. W. & HARADA, A. Y. Local diversity of tropical and temperate ant fauna (Hymenoptera, Formicidae). **Acta Amazonica**, 18(3 - 4): 275-289, 1988.
- BERNSTEIN, R. A. & GOBBEL, M. Partitioning of space in communities of ants. **Journal of Natural Ecology**, 48: 913-942, 1979.

- BROWN, J. H. & DAVIDSON, D. W. Competition between seed eating rodents and ants in desert ecosystems. **Science**, 196: 880-882, 1977.
- BROWN, J. H., DAVIDSON, D. W. & REICHMAN, D. J. An experimental study of competition between seed eating desert rodents and ants. **American Zoologist**, 19: 1129-1143, 1979.
- BROWN, JR, K. S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forest: insects as indicators for conservation monitoring. **Journal of Insect Conservation**, 1: 25-42, 1997.
- CABRERA, M., JAFFE, K., GOITIA, W. & OSBORN, F. Recovery of disturbed ecosystems as monitored by ant and vegetation diversity in forests and surrounding savannas of Venezuela. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, 33: 85-92, 1998.
- CARVALHO, K. S. & VASCONCELOS, H. L. Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. **Biological Conservation**, 91:151-157, 1999.
- CARVALHO, K. S. **Efeitos de borda sobre a comunidade de formigas da serapilheira florestal na Amazônia Central**. Dissertação de Mestrado, INPA, Manaus, 1998. XIII + 65p.

- COCHRANE, M. A., ALENCAR, A., SCHULZE, M. D., SOUZA Jr. C. M., NEPSTAD, D. C., LEFEBVRE, P. & DAVIDSON, E. A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284: 1834-1835, 1999.
- DALLING, J. W. & DENSLOW, J. S. Soil seed bank composition along a forest chronosequence in seasonally moist tropical forest, Panama. *Journal of Vegetation Science*, 9: 669-678, 1998.
- DAVIDSON, D. W. Species diversity and community organization in desert seed-eating ants. *Ecology*, 58(4): 711-724, 1977.
- De STEVEN, D. & PUTZ, F. E. Impact of mammals on early recruitment of tropical canopy tree, *Dipteryx panamensis*, in Panamá. *Oikos*, 43: 207-216, 1984.
- DELABIE, J. H. C., FISHER, B. L., MAJER, J. D. & WRIGHT, I. W. Litter and soil ant communities: How many samples need to be taken ? In: **Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for ground living ants**. D. Agosti, J. D. Majer, L. Tennant de Alonso & T. Schultz (eds.). Smithsonian Institution press, Washington, 2000. 72p.
- DIDTHAN, R. The influence of edge effects and forest fragmentation on leaf litter invertebrates in central Amazonia. In: **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Laurence, W. F. & Bierregaard Jr, R. O. (eds). Chicago: University of Chicago Press. 1997. p. 55-77.

- FENNER, F. **Seed ecology**. Chapman and Hall, London, 1985. 151p.
- FITTKAU, E. J. & KLINGE, H. On biomass and trophic structure of the Central Amazonia rain forest ecosystem. **Biotropica**, 5: 2-14, 1973.
- FORGET, P. M. Post-dispersal predation and scatterhoarding of *Dipterix panamensis* (Papilionaceae) seeds by rodents in Panamá. **Oecologia**, 94: 255-261, 1993.
- FORGET, P.M. Removal of seeds of *Carapa procera* (Meliaceae) by rodents and their fate in rainforest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, 12: 751-761, 1996.
- FOWLER, H. G. Ecologia nutricional de formigas. In: **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo integrado de pragas**. Panizzi, A. R. & Parra, J. R. P. (eds). Editora Manole, São Paulo, 1991. p. 131-223.
- FOWLER, H. G. Relative representation of *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae) in local ground ant assemblages of the Americas. **Anales de Biología**, 19:29-37, 1993.
- FRITH, D. & FRITH, C. Seasonality of litter invertebrate populations in an Australian upland tropical rain forest. **Biotropica**, 22(2): 181-190, 1990.
- FRUMHOFF, P. C. Conserving wildlife in tropical forest managed for timber. **BioScience**, 45: 456-464, 1995.

Fundação Floresta Tropical. **Modelos demonstrativos de manejo e exploração de baixo impacto**. Manual de Procedimentos Técnicos, Fundação Floresta Tropical, Belém, Brasil, 1997. 15p.

GENTRY, A. H. Patterns of neotropical plant species diversity. **Evolutionary Biology**, 15:1-84, 1982.

GIBSON, W. Selective advantages to hemi-parasitic annuals, genus *Melampyrum*, of a seed-dispersal mutualism involving ants: favorable nest sites. **Oikos**, 67: 334-344, 1993.

GOMEZ, C. & ESPADALER, X. Myrmecochorous dispersal distances: a world survey. **Journal of Biogeography**, 25: 573-580, 1998.

GREENSLADE, P. J. M. & GREENSLADE, P. Some effects of vegetation cover and disturbance on a tropical ant fauna. **Insectes Sociaux**, 24 (2): 163-182, 1977.

GUARIGUATA, M. R. & PINARD, M. A. Ecological knowledge of regeneration from seed in neotropical forest trees: Implications for natural forest management. **Forest Ecology and Management**, 112: 87-99, 1998.

GUARIGUATA, M. R. Consideraciones ecológicas sobre la regeneración natural aplicada al manejo florestal. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales. **Série Técnica. Publicación**, Costa Rica, 14: 1-27, 1998.

- GUARIGUATA, M. R. Seed and seedling ecology of tree species in Neotropical Secondary Forest: management implications. **Ecological Applications**, 10 (1): 145-154, 2000.
- GUARIGUATA, M. R., ADAME, J. J. R. & FINEGAN, B. Seed removal and fate in two selectively logged lowland forests with contrasting protection levels. **Conservation Biology**, 14(4): 1046-1054, 2000.
- GUERRERO, J. C. H. **Diversidade e sazonalidade de Arthropoda nas copas de árvores das famílias Sapotaceae e Lecythidaceae na Reserva Florestal Ducke, Manaus, Brasil.** Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 1999. XXXII + 275p.
- HAIG, D. The pea and the coconut: seed size in safe sites. **Trends in Ecology and Evolution**, 11: 1-2, 1996.
- HARADA, A. Y. & ADIS, J. The ant fauna of tree canopies in Central Amazonia: a first assessment. In: **Canopy arthropods**. Stork, N. E., Adis, J. & Didhan, R. K. (eds.). Chapman & Hall, London, 1997. p. 383-400.
- HARVEY, C. A. Windbreaks enhance seed dispersal into agricultural landscapes in Monteverde, Costa Rica. **Ecological Applications**, 10(1): 155-133, 2000.
- HILL, J. K. Butterfly spatial distribution and habitat requirements in a tropical forest: impacts of selective logging. **Journal of Applied Ecology**, 36, 564-572, 1999.

- HILL, J. K., HAMER, K. C., LACE, L. A. & BANHAN, W. M. T. Effects of selective logging on tropical forest on Buru, Indonesia. **Journal of Applied Ecology**, 32: 754-760, 1995.
- HOLDSWORTH, A. R. & UHL, C. Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potencial for fire reduction. **Ecological Applications**, 7(2): 713-725, 1997.
- HÖLLDOBLER, B. & WILSON, E. O. **The Ants**. Cambridge, Harvard University Press, 1990. 732p.
- HOWE, H. F. Seed dispersal by birds and mammals: implications for seedling demography. In: **Reproductive ecology of tropical forest plants**. Bawa, K. S. & Hadley, M. (eds.) UNESCO. Man and the Biosphere Series, 1990.p. 191-218.
- HUGHES, L. & WESTOBY, M. Removal rates of seeds adapted for dispersal by ants. **Ecology**, 71(1): 138-148, 1990.
- HUGHES, L., WESTOBY, M. & JOHNSON, A. D. Nutrient cost of vertebrate- and ant-dispersed fruits. **Functional Ecology**, 7: 54 – 62, 1993.
- JOLY, A. B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal**. Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1983. 777p.

- JULLIOT, C. Impacts of seed dispersal by howler monkeys *Alouatta seniculus* on the seedling population in the understory of tropical rain forest. **Journal of Ecology**, 85: 431-440, 1997.
- KALIF, K. A. B. & MOUTINHO, P. R. S. Comparison of three methods of sampling ant in a tropical forest area in eastern Amazonia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Zoológica**, 16(1): 75-81, 2000.
- KAPOS, V., WANDELLI, E., CAMARGO, J. L. & GANADE, G. Edge related changes in environment and plant responses due to forest fragmentation in central Amazonia. In: **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Laurence, W. F. & Bierregaard Jr., R.O. (eds). University of Chicago Press, Chicago, 1997. p. 33-54.
- KASPARI, M. Testing resource-based models of patchiness in four Neotropical litter ant assemblages. **Oikos**, 76: 443-454, 1996.
- KETELHUT, S. M. **Avaliação das comunidades de formigas em uma área de extração madeireira**. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Zoologia, Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará. 1999. 110p.
- KREBS, C. J. **Ecological methodology**. Harper & Row, New York, 1989. 654p.

- LAURENCE, W. F. & LAURANCE, S. G. W. Responses of five arboreal marsupials to recent selective logging in tropical Australia. **Biotropica**, 28, 310-322, 1996.
- LIU, J. & ASHTON, P. S. Simulating effects of landscape context and timber harvest on tree species diversity. **Ecological Applications**, 9(1): 186-201, 1999.
- LOUDA, S. M. Distribution ecology: variation in plant recruitment over a gradient in relation to seed predation. **Ecological Monographs**, 52: 25-41, 1982.
- MACKAY, W. P., REBELES, A., ARREDONDO, H. C., RODRIGUEZ, A. Z., GONZALES, D. A. & VISON, S. B. Impact of slash and burning of a tropical rain forest on the native ant fauna (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, 18: 257-68, 1991.
- MAJER, J. D. The invertebrates as indicators for management. In: **Nature Conservation: the role of remnants of native vegetation**. Saunders, D. A., Arnold, G. W., Burdidge, A. A. & Hopkins, A. J. M. (eds.). Surrey Beatty and Sons, Bentley, Australia, 1987. p. 353-354.
- MAJER, J. D. Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, 8: 97-108, 1992.
- MAJER, J. D. Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines at Trombetas, Pará, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, 12: 257-273, 1996.

- MALCOLM, J. R. Edge effects in central Amazonian forest fragments. *Ecology*, 75: 2438-2445, 1994.
- MANSON, D. Responses of Venezuelan understory birds to selective logging, enrichment strips, and vine cutting. *Biotropica*, 28: 296-309, 1996.
- MOUTINHO, P. R. S. Formigas e floresta: estudo para a recuperação de áreas de pastagem. *Ciência Hoje*, 15(88): 59-60, 1993.
- MOUTINHO, P. R. S. Impactos da formação de pastagens sobre a fauna de formigas: consequências para a recuperação florestal na Amazônia oriental. In: **Floresta Amazônica: dinâmica, regeneração e manejo**. Gascon, C. & Moutinho, P. R. S. (eds.). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Manaus, 1998. p. 155-170.
- NEPSTAD, D. C., UHL, C., PEREIRA, C. A. & SILVA, J. M. C. Estudo comparativo do estabelecimento de árvores em pastos abandonados e florestas adultas da Amazônia oriental. In: **Floresta amazônica: dinâmica, regeneração e manejo**. Gascon, C. & Moutinho, P. R. S. (eds.). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Manaus, 1998. p. 191-218.
- NEPSTAD, D. C., VERÍSSIMO, A., ALENCAR, A., NOBRE, C., LIMA, E., LEFEBVRE, P., SCHLESINGER, P., POTTER, C., MOUTINHO, P. R. S., MENDONZA, E.,

- COCHRANE, M. & BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, 398: 505-508, 1999.
- NEUMAM, F. G. Responses of foraging ant populations to high intensity wildfire, salvage logging, and natural regeneration processes in *Eucalyptus regnans* regrowth of the Victorian central highlands. **Australia Forestry**, 55: 29-38, 1992.
- OCHOA, G. J. Sensibilidades potenciales de una comunidad de mamíferos en un bosque productor de maderas de la Guyana venezolana. **Interciencia**, 22(3): 112-122, 1997.
- OLIVEIRA, C. A. M. & FERRARI, S. F. Seed dispersal by black-handed tamarins, *Saguinus midas niger* (Callitrichinae, Primates): implications for the regeneration of degraded forest habitats in eastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, 16: 709-716, 2000.
- OLIVEIRA, P. S., GALETTI, M., PEDRONI, F. & MORELLATO, L. P. C. Seed cleaning by *Mycocepurus goeldii* ants (Attini) facilitates germination in *Hymenaea courbaril* (Caesalpinaceae). **Biotropica**, 27: 518-522, 1995.
- OLIVER, L. & BEATTIE, A.J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. **Conservation Biology**, 1(10): 99-109, 1996.
- OLSON, D. M. A comparison of the efficacy of the litter sifting and pitfall traps for sampling leaf litter ants (Hymenoptera, Formicidae) in a tropical wet forest, Costa Rica. **Biotropica**, 23(2): 166-172, 1991.

- PAROLIN, P. Seed mass in Amazonian floodplain forests with contrasting nutrient supplies. **Journal of Tropical Ecology**, 16: 417-428, 2000.
- PASSOS, L. Ant dispersal of *Croton priscus* (Euphorbiaceae) seeds in a tropical semideciduous forest in southeastern Brazil. **Biotropica**, 28(4b): 697-700, 1996.
- PERFECTO, I. & SNELLING, R. Biodiversity and the transformation of tropical agroecosystems: ants in coffee plantations. **Ecological Applications**, 5(4): 1084-1097, 1995.
- PIZO, M. A. & OLIVEIRA, P. S. Interaction between ants and seeds of a nonmyrmecochorous Neotropical tree, *Carbarela canjerana* (Meliaceae), in the Atlantic forest of southeast Brazil. **Journal of Botany**, 85(5): 669-674, 1998.
- REDFORD, K. H. The empty forest. **Bioscience**, 42(6): 412-422, 1992.
- RICE, B. L. & WESTOBY, M. W. Evidence against the hypothesis that ant-dispersed seed reach nutrient-enriched microsites. **Ecology**, 67: 1270-1274, 1986.
- ROBERTS, J. T. & HEITHAUS, E. R. Ants rearrange the vertebrate-generated shadow of Neotropical fig tree. **Ecology**, 67: 1046-1051, 1986.
- ROMERO, H. & JAFFE, K. A comparison of methods for sampling ants (Hymenoptera, Formicidae) in savanas. **Biotropica**, 21 (4): 348-352, 1989.

- SAERTERSDAL, M. & BIRKS, H. J. B. Assessing the representativeness of nature reserves using multivariate analysis: vascular plants and breeding birds in deciduous forest, western Norway. **Biological Conservation**, 65: 121-132, 1993.
- SCHUPP, E. W. Quantity, quality, and effectiveness of seed dispersal by animals. **Vegetatio (Holanda)**, 107/108: 15-29, 1993.
- SHEPHERD, V. E. & CHAPMAN, C. A. Dung beetles as secondary seed dispersers: impact on seed predation and germination. **Journal of Tropical Ecology**, 14: 199-215, 1998.
- SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. **Biometry**. W. H. Freeman and Company, New York, 1981. xvii + 859p.
- STORK, N. E. Insect diversity: facts, fiction and speculation. **Biological Journal of the Linnean Society of London**, 35: 321-337, 1988.
- SUDD, J. H. & FRANKS, N. R. **The behavioural ecology of ants**. Chapman and Hall, New York, 1987. 206p.
- THIOLLAY, J. M. Influence of selective logging on bird species diversity in Guiana rain forest. **Conservation Biology**, 6: 47-63, 1992.
- TORRES, J. A. Diversity and distribution of ant communities in Puerto Rico. **Biotropica**, 16: 296-303, 1984.

- TORRES, J. A., SANTIAGO, M. & SALGADO, M. The effects of the fungus-growing ant *Trachymyrmex jamaicensis*, on soil fertility and seed germination in a subtropical dry forest. **Tropical Ecology**, 40(20): 237-245, 1999.
- UHL, C. & KAUFFMAN, J. B. Deforestation effects on fire susceptibility and the potential response of tree species in the rainforest of the eastern Amazon. **Ecology**, 71: 437-449, 1990.
- UHL, C. & VIEIRA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region of state of Pará. **Biotropica**, 21: 98-106, 1989.
- VAN DER PIJL, L. **Dispersal in Higher Plants**. Springer, Heidelberg, 1982. 215p.
- VANDERWOUDE, C., ANDERSEN, A. N. & HOUSE, A. P. N. Ant communities as bioindicators in relation to fire management of spotted gum (*Eucalyptus maculata* Hook) forests in southeast Queensland. **Memoirs of Museum of Victoria**, 56: 671-675, 1997.
- VASCONCELOS, H. L. Effects of forest disturbance on the structure of ground-foraging ant communities in central Amazonia. **Biodiversity and Conservation**, 8: 409-420, 1999.
- VASCONCELOS, H. L., VILHENA, J. M. S. & CALIRI, G. J. A. Responses of ants to selective logging of central Amazonian forest. **Journal of Applied Ecology**, 37: 1-8, 2000.

VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R. & UHL, C. Impactos da atividade madeireira e perspectivas para o manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da Amazônia: o caso de Paragominas. In: **Evolução da fronteira amazônica: oportunidades para um desenvolvimento Sustentável**. Almeida, O. (ed.). Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, Belém, Brasil, 1996. p. 7-35.

VESPALAINEN, K. & SAVOLAINEN, R. The effect of interference competition by formicinae ants on the foraging of *Myrmica*. **Journal of Animal Ecology**, 59: 643-654, 1990.

VIDAL, E., GERWING, J., BARRETO, P., AMARAL, P. & JOHNS, J. Redução de desperdícios na produção de madeira na Amazônia. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Publicações do Imazon**, Belém, 5: 1-17, 1997.

VIEIRA, I. C., GALVÃO, N. & ROSA, N. de A. Características de frutos e sementes de espécies arbóreas da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica**, 12(2): 271-288, 1996.

WEBB, E. L. Gap-phase regeneration in selectively logged lowland swamp forest, northeastern Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, 14: 247-260, 1998.

WESTOBY, M., BARBARA, R. & HOWELL, J. Seed size and plant growth form as factors in dispersal spectra. **Ecology**, 71(4): 1310-1370, 1990.

WILCOX, B. A., MURPHY, D. D. ERHLICH, P. R. & AUSTIN, T. G. Insular biogeography of the montane butterfly faunas in the Great Basin: comparison with birds and mammals. **Oecologia**, 69: 188-194, 1986.

WILSON, E. O. **Diversidade da vida**. Companhia das Letras: São Paulo, 1994. 447p.

World Research Institute. The problem of forest loss. World Resources Institute, <http://www.igc.org/wri/biodiv/opp-ii.html>, 1998.

YANOVIK, S. P. & KASPARI, M. Community structure and the habitat templet: ants in the tropical forest and litter. **Oikos**, 89: 259-266, 2000.

YORK, A. The long-term effects of fire on forest ant communities: management implications for the conservation of biodiversity. **Memoirs of the Queensland Museum**, 36: 231-239, 1994.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1984. 718p.