



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

JÉSSICA MAGON GARCIA

**IMPACTOS DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE  
JUVENIS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DE  
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

---

Londrina  
2015



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



CAPES

---

JÉSSICA MAGON GARCIA

**IMPACTOS DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE  
JUVENIS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DE  
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

---

Londrina

2015

JÉSSICA MAGON GARCIA

**IMPACTOS DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE  
JUVENIS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DE  
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. José Marcelo Domingues  
Torezan.

Londrina  
2015

### **Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

G216i Garcia, Jéssica Magon.  
Impactos das formigas cortadeiras sobre juvenis de espécies arbóreas em áreas de restauração florestal / Jéssica Magon Garcia. – Londrina, 2015.  
97 f.: il.

Orientador: José Marcelo Domingues Torezan.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2015.  
Inclui bibliografia.

1. Interação inseto-planta - Teses. 2. Formiga-cortadeira - Ecologia - Teses. 3. Ecologia vegetal - Teses. 4. Floresta - Restauração - Teses. I. Torezan, José Marcelo Domingues. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 581.5

JÉSSICA MAGON GARCIA

**IMPACTOS DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE JUVENIS DE  
ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. José Marcelo Domingues  
Torezan  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Edmilson Bianchini  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Antonio Carlos Galvão de Melo  
Instituto Florestal de São Paulo

Londrina, 30 de junho de 2015.



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
BIOLÓGICAS

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Discente: Jéssica Magon Garcia

Título: "Impactos das formigas cortadeiras sobre juvenis de  
espécies arbóreas em áreas de restauração  
florestal"

Data da Defesa: 30 de junho de 2015 - 08:30 hs, na sala de  
aula da Pós-Graduação em Ciências Biológicas do Centro de  
Ciências Biológicas, desta Universidade.

Banca Examinadora

Parecer

Presidente:

Dr. José Marcelo Domingues Torezan

APROVADA

Titulares:

Dr. Edmilson Bianchini

APROVADA

Dr. Antônio Carlos Galvão de Melo

APROVADA

Parecer Final APROVADA

Dr. José Marcelo Domingues Torezan

Dr. Edmilson Bianchini

Dr. Antônio Carlos Galvão de Melo

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais e irmão, por todos os ensinamentos, amor e incentivo nos meus estudos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar, guiar e ter dado a força necessária para ultrapassar cada momento até a conclusão deste trabalho.

Ao meu pai Maurício (*i.m.*), por tudo que fez e pela falta que faz.

À minha mãe Neusa (incluindo o Manoel), por ter me amparando, incondicionalmente, em todas as minhas decisões e as terem tornado possíveis de realização.

Ao meu irmão Danilo (incluindo a Vanessa), por ser meu exemplo, orgulho e companheiro de estudos, brigas e brincadeiras desde a infância.

Ao meu companheiro Jonas, e família, pela compreensão, amizade, auxílio, carinho e amor deferido, durante todo o tempo em que estamos juntos.

Ao prof. Dr. José Marcelo, pelo aceite, ensinamentos, dedicação, compreensão e paciência em me orientar durante a realização deste trabalho.

A CAPES, pelo apoio financeiro e, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da UEL, pelo apoio educacional.

À bióloga Alba, pela amizade, dicas, conversas e risadas (eternas e únicas risadas).

A equipe de pós-graduandos (Carolina, Cinthia, Eduardo, Fátima, Gustavo, Jézili, Júlia, Lya, Maria Angélica, Márcio, Mariana, Renata, Roberta), graduandos (Ana Luíza, Isabela, Jess, José Vitor, Laissa, Lilian, Lívia, Marco, Robson, Victor) e técnicos do LABRE (Edi, Norival, Orandir, Osmar), pela ajuda em campo e nas atividades de laboratório. Agradeço, especialmente, ao mestrando Alexandre (Homer), as graduandas Géssi (Gé, minha dedicada e querida estagiária) e Thalita (Thali) e, ao técnico Odair (Oda), pela inestimável ajuda em campo, repleta de experiências, ensinamentos, risadas, lanchinhos e uma luta constante contra os pernilongos. Como também nas atividades desenvolvidas no LABRE.

À prof. Dra. Giselda Durigan e a Ms. Beatriz Zidioti Ferreira, pelo compartilhamento de conhecimentos, experiências e ideias.

Aos professores Dr. Halley Caixeta de Oliveira, Dr. Marco Antônio Nogueira, Dr. Nilton Syogo Arakawa e Dra. Rúbia Casagrande, ao estagiário Pedro Augusto Goularte e, a doutoranda Renata Micheli Martinez, pela disponibilidade e auxílio nas análises das características foliares físicas e químicas.

Ao prof. Dr. Maurício Moura, pelo auxílio, em momento de desespero, com as análises estatísticas de GLMM.

Ao prof. Dr. Jacques Hubert Charles Delabie, pela identificação das amostras de formigas.

À prof. Dra. Inara Roberta Leal e toda equipe do Laboratório de Interações Planta-Animal (LIPA/UFPE), pela recepção e troca de conhecimentos e experiências.

Aos professores Dr. Edmilson Bianchini, Dr. Halley Caixeta e Dr. Antônio Melo, pelo aceite e valiosas contribuições em minha qualificação e defesa.

Aos meus familiares (nona e nono, vó Terezinha e vô Nenego, madrinhas e padrinhos, tias e tios, primas e primos) que, de uma forma ou de outra, fizeram parte dessa conquista sempre me incentivando e apoiando.

Às amigas de Londrina e da pós-graduação: Geisa, Jacqueline, Laís, Manuela (Manu), Paula (Paulinha), Yvana.

Às minhas companheiras de república, quitutes, conversas, conselhos e muitas caronas: Fabíola (Fa), Daiana (Dai), Érika e Jaque.

Aos meus companheiros de mestrado: Angélica Alves, Angélica Tronco, Carol, Dani, Elson, Gabriela, Gean, Gisele, Guilherme, Jussara, Letícia, Luciana, Patê (abraço especial) e Reginaldo.

Às eternas e velhas amigas que tenho um enorme carinho: Neide (agregada da família), Mariana Mineo (academia), Georgiane (desde a infância), Nayara e Diego (meus afilhados), e Aline (pelas “n” caronas).

A equipe do Laboratório de Mata Ciliar/Nupélia/UEM que contribuíram para a minha formação profissional e que tenho muito carinho e lembranças maravilhosas: prof. Dra. Conceição (Con), Carla, Carlos, Cristina (Crix), Giovana (Gi), Giovanna (Giovaninha), Gislaine (Gis louca), João (Joãozinho), Laíla, Letícia, Matheus, Mariza, Mikaela, Ricardo, Simone e Vanessa. E, um agradecimento especial, a bióloga Dra. Kazue (Kazu), pela amizade, incentivo, confiança, carinho e ajuda inestimável de sempre (incluindo a Michele).

As eternas amigas da UEM: Alessandra (Alê), Anna Luiza (Anna Lu), Dinny Carla (Dinne), Gláucia (Glauber), José Amauri (Zé), Mariana (Mari), Rebecca, Rosane, e Tatiane (Tati). E, um agradecimento especial, para a Thatiane (Thati Mota) que se tornou uma pseudo-irmã, da qual tenho muito carinho e orgulho.

As pessoas que pude conhecer e, outras que já conhecia, em disciplinas externas, congressos e visitas a outras instituições: Helen Belan, Marcela e Aninha (disciplina cursada na UFU/MG); Elaine (simpósio em São Paulo/SP); Jéssica Xavier, Thales, Cristina e Glória (visita à UFPE/Recife/PE); e Marília (defesa em Botucatu/SP).

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma se envolveram com este estudo e contribuíram para que ele fosse finalizado, mas não foram citados. Minha eterna gratidão!!!

GARCIA, Jéssica Magon. **Impactos das formigas cortadeiras sobre juvenis de espécies arbóreas em áreas de restauração florestal**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2015.

## RESUMO

As formigas cortadeiras (gêneros *Atta* e *Acromyrmex*) possuem simbiose mutualística obrigatória com fungos cultivados dentro dos ninhos, que servem como recurso alimentar para os indivíduos da colônia. Para o cultivo desse fungo, são consideradas herbívoros generalistas, dominantes no continente americano e causadores de grande taxa de forrageio. Essa atividade de forrageamento desencadeia efeitos diretos (herbivoria e dispersão de sementes) e indiretos (alterações nos atributos do solo e no regime de luz) nos ecossistemas onde elas ocorrem, fazendo com que elas sejam consideradas “engenheiras de ecossistemas”. Os impactos dessa engenharia podem ser negativos ou positivos de acordo com a densidade de ninhos ou intensidade de forrageio. Entretanto, permanece obscuro os impactos dessa engenharia sobre a dinâmica da vegetação em diversos ambientes, para a maioria das espécies de formigas e plantas, e se ela age como possível filtro ecológico. Nesse contexto, teve-se como objetivo avaliar os impactos da herbivoria por formigas cortadeiras sobre o recrutamento de espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual, do Bioma Mata Atlântica, em áreas de restauração florestal. No contexto ambiental referido, as espécies intolerantes à sombra terão maior taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras do que as tolerantes à sombra? As espécies com maior taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras terão menor desempenho no ambiente? E, as espécies com maior taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras têm menor investimento em defesas e maior conteúdo nutricional? Para tanto, foram selecionadas três áreas localizadas no trecho paranaense do Reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, no rio Paranapanema, com largura, idade e densidade de formigueiros similares. Em tais áreas foram transplantadas mudas de cinco espécies intolerantes à sombra e cinco tolerantes, sendo avaliado: a porcentagem visual de dano foliar, presença/ausência e número de ataques, número de folhas, altura, taxa de sobrevivência e características foliares estruturais e químicas (área foliar específica, polifenóis, flavonóides, taninos condensados, nitrogênio). As espécies intolerantes à sombra apresentaram taxa de herbivoria por formigas cortadeiras similares as tolerantes à sombra, sendo a relação custo (área foliar específica e taninos condensados) e benefício (nitrogênio), que determina a qualidade do tecido vegetal, um dos principais fatores para forrageamento entre as dez espécies avaliadas. Dentre as espécies preferidas para o forrageamento, algumas, de acordo com a intensidade de herbivoria e frequência de ataques, sofreram influência negativa sobre o crescimento e sobrevivência, portanto, apresentando menor tolerância à herbivoria. E, dentre as espécies menos procuradas pelas formigas, algumas espécies apresentaram resistência à herbivoria, não sofrendo influência sobre o desempenho. A alta densidade de ninhos presente nos três reflorestamentos estudados pode ser um fator que, aliado a outros fatores bióticos e/ou abióticos, podem afetar o sucesso da restauração florestal, por prejudicar o estabelecimento e aumentar a mortalidade das plantas após sucessivos ataques. Estes resultados sugerem que a herbivoria por formigas cortadeiras aja como um importante filtro ecológico, afetando a trajetória natural da restauração.

**Palavras-chave:** *Atta sexdens*. Filtro ecológico. Herbivoria. Interações planta-inseto. Mata Atlântica.

GARCIA, Jéssica Magon. **Impacts of leaf-cutting ants on seedling tree species in forest restoration areas**. 2015. 97 p. Dissertation (Master's Degree in Biological Sciences) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2015.

## ABSTRACT

Leaf-cutting ants (*Atta* and *Acromyrmex*) have obligatory mutualistic symbiosis with fungi grown within the nests, which serve as food resource for individuals in the colony. For the cultivation of this fungus, they are considered generalist herbivores, dominant in the Americas and causing great rate of foraging. This foraging activity triggers direct effects (herbivory and seed dispersal) and indirect (changes in soil properties and light regime) in ecosystems where they occur, causing them to be considered "ecosystem engineers". The impact of this engineering may be negative or positive according to the nest density or the foraging intensity. However, it remains unclear the impact this engineering on the vegetation dynamics in different environments, for most species of ants and plants, and it acts as possible ecological filter. In this context, it had as objective to evaluate the impact of herbivory by leaf-cutting ants on the recruitment of native tree species of the Seasonal Semideciduous Forest, Atlantic Forest Biome, in forest restoration areas. In that context environmental, intolerant species in the shade will have greater herbivory rate by leaf-cutting ants than shadetolerant? The species with the highest rate of herbivory by leaf-cutting ants have lower performance in the environment? The species with the highest rate of herbivory by leafcutting ants have lower investment in defenses and higher nutritional content? To this end, three areas were selected width, age and nest density of similar. They are located in the stretch of the Capivara Reservoir, on Paranapanema River, in Parana state. In such areas were transplanted seedlings of five species intolerant to shade and five tolerant to shade, being evaluated: visual percentage of leaf damage, presence/absence and number of attacks, number of leaves, height, survival rate and structural and chemical leaf characteristics (specific leaf area, polyphenols, flavonoids, tannins, nitrogen). Intolerant species in the shade showed herbivory rate for leaf-cutting ants similar the shade-tolerant, being the cost (specific leaf area and condensed tannins) and benefit (nitrogen), which determines the quality of plant tissue, a major factor for foraging among the ten species assessed. Among the preferred species for foraging, some of them, according to the intensity of herbivory and frequency of attacks, suffered negative influence on the growth and survival, thus showing less tolerance to herbivory. Among the species less sought by ants, some species showed resistance to herbivory, did not have any negative influence on their performance. The high density of nests present in the three reforestation areas may be a factor that, together with other biotic and/or abiotic factors, may affect the success of forest restoration in these places, by affecting the establishment and increase plant mortality after successive attacks. These results suggest that herbivory by leaf-cutting ants act as an important ecological filter, affecting the natural trajectory of the restoration.

**Keywords:** Atlantic Forest. *Atta sexdens*. Ecological filters. Herbivory. Plant-insect interactions.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Mapa do Reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara. A estrela vermelha indica a cidade de Primeiro de Maio, estado do Paraná, Brasil, onde estão localizados os reflorestamentos estudados. Fonte: Pereira (2012) - adaptado..... 27
- Figura 2-** Esquema da disposição das mudas por bloco. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*; I: intolerantes à sombra; T: tolerantes à sombra..... 30
- Figura 3-** Índice de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA), dos nove censos realizados, para as dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Kruskal-Wallis ( $df= 9$ ;  $\chi^2= 61,43$ ;  $p < 0,01$ ) seguido do teste de Dunn representado pelas letras minúsculas. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*. ..... 38
- Figura 4-** Índice de herbivoria por outros tipos de herbívoros (IH-OH), dos nove censos realizados, para as dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Kruskal-Wallis ( $df= 9$ ;  $\chi^2= 246,76$ ;  $p < 0,05$ ) seguido do teste de Dunn representado pelas letras minúsculas. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*. ..... 39
- Figura 5-** Número de ataques por formigas cortadeiras durante os seis meses de monitoramento, para dez espécies arbóreas utilizadas no experimento de

transplante de mudas, em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Kruskal-Wallis ( $df= 9$ ;  $\chi^2= 41,99$ ;  $p < 0,05$ ) seguido do teste de Dunn representado pelas letras minúsculas. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*. ..... 40

**Figura 6-** Relação entre a taxa de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA) e o balanço foliar (BF) das dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. No detalhe,  $r_s$ = coeficiente de correlação de Spearman. .... 42

**Figura 7-** Relação entre a taxa de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA) e a taxa de crescimento relativa em altura (TCR) para as dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. No detalhe,  $r_s$ = coeficiente de correlação de Spearman. .... 44

**Figura 8-** Frequência de ataques que leva um indivíduo à morte, considerando o conjunto das oito espécies e grupos de acordo com a tolerância à sombra. Experimento de transplante de mudas em campo, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. .... 47

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** *Área, idade, largura, densidade de ninhos de Atta sexdens rubropilosa e coordenadas geográficas dos reflorestamentos estudados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, município de Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. .... 27*
- Tabela 2-** *Resultados dos Modelos Lineares Gerais Mistos (GLMMs) que examinaram a influência dos grupos quanto à tolerância à sombra e das espécies, ao longo do tempo de experimento em campo, sobre o índice de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA). O experimento de transplante de mudas foi realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. DP: desvio padrão; EA: efeitos aleatórios; EF: efeitos fixos; GL: graus de liberdade; Log-Lik: log-likelihood; VR: variável resposta..... 37*
- Tabela 3-** *Balanço foliar das dez espécies empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. .... 41*
- Tabela 4-** *Taxa de crescimento relativa em altura das dez espécies empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil..... 43*
- Tabela 5-** *Proporção de indivíduos mortos com e sem ataque por formigas cortadeiras entre os indivíduos do tratamento pertencentes ao grupo das espécies intolerantes (n= 375) e tolerantes à sombra (n= 375), empregados no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. I: intolerantes à sombra; T: tolerantes à sombra. .... 45*
- Tabela 6-** *Análise de sobrevivência (AS) das oito espécies (n= 75, para cada espécie) que tiveram indivíduos atacados e mortos, comparando os indivíduos com ataque e sem ataque do tratamento, durante o período de monitoramento do experimento de transplante de mudas em campo,*

*realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. AI: Aegiphila integrifolia; CF: Croton floribundus; CM: Citharexylum myrianthum; HP: Heliocarpus popayanensis; SM: Senna multijuga; EL: Esenbeckia leiocarpa; OP: Ocotea puberula; RS: Rauvolfia sellowii. .... 46*

**Tabela 7-** *Características foliares (média ± desvio padrão) estruturais (área foliar específica) e químicas (nitrogênio, polifenóis totais, flavonóides, taninos condensados) de nove espécies arbóreas empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. AFE: área foliar específica. .... 49*

**Tabela 8-** *Regressão linear múltipla entre a taxa de herbivoria por formigas cortadeiras (IHLCA) e as características foliares estruturais e químicas (área foliar específica, nitrogênio, taninos condensados) de nove espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. AFE: área foliar específica; N: nitrogênio; TC: taninos condensados. .... 49*

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	9
<b>ARTIGO: IMPACTOS DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE JUVENIS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL</b> .....	20
<b>RESUMO</b> .....	20
<b>ABSTRACT</b> .....	22
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
<b>ÁREAS DE ESTUDO</b> .....	26
<b>COLETA DE DADOS: EXPERIMENTO DE TRANSPLANTE DE MUDAS</b> .....	29
<b>COLETA DE DADOS: ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FOLIARES</b> .....	32
<b>ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	33
<b>RESULTADOS</b> .....	37
<b>DISCUSSÃO</b> .....	50
<b>CONCLUSÕES</b> .....	56
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	70
<b>APÊNDICES</b> .....	72
<b>APÊNDICE A</b> – Quadro com as características ecológicas das dez espécies arbóreas empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Tolerância à sombra seguindo Cavalheiro, Torezan e Fadelli (2002); nomes científicos e famílias conforme a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2015); nomes populares de acordo com Cavalheiro, Torezan e Fadelli (2002) e Dias, Vieira e Paiva (2002); fenologia e características da madeira conforme Lorenzi (2008). I:	

	intolerante à sombra; T: tolerante à sombra; ANE: anemocórica; AUT: autocórica; ZOO: zoocórica.....	72
<b>APÊNDICE B</b>	Tabela com as datas de implantação do experimento em campo, e os posteriores censos realizados, durante o período de, aproximadamente, seis meses de monitoramento do experimento de transplante de mudas, realizado em três reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. ....	73
<b>APÊNDICE C</b>	Precipitação total (barras azuis), temperatura média do ar (linhas vermelhas) e umidade do solo (média $\pm$ desvio padrão) do período de monitoramento em campo do experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. I: implantação; 60A: 60 dias antes da implantação; 30A: 30 dias antes da implantação; 30D: 30 dias depois do último censo; 60D: 60 dias depois do último censo. Fonte dos dados de precipitação e temperatura do ar: Instituto Agronômico do Paraná – Estação Agrometeorológica de Bela Vista do Paraíso - PR.....	74
<b>APÊNDICE D</b>	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.....	75
<b>APÊNDICE E</b>	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.....	76
<b>APÊNDICE F</b>	<i>Croton floribundus</i> Spreng.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. ....	77
<b>APÊNDICE G</b>	<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.....	78

<b>APÊNDICE H</b> – <i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. Em alguns casos o recorte da imagem foi feito de modo a deixar outro folíolo para comparação do real tamanho do folíolo herbivorado. ....	79
<b>APÊNDICE I</b> – <i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. ....	80
<b>APÊNDICE J</b> – <i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. ....	81
<b>APÊNDICE K</b> – <i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Ness: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. ....	82
<b>APÊNDICE L</b> – <i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. ....	83
<b>APÊNDICE M</b> – <i>Rauvolfia sellowii</i> Mull. Arg.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. Essa prancha não foi possível ser realizada completa, devido à maioria das mudas estarem sem folhas quando foram realizadas as fotos em campo. ....	84
<b>APÊNDICE N</b> – Matriz de correlação utilizando o coeficiente de correlação de Pearson entre as seguintes variáveis: polifenóis totais ( $\mu\text{g}/\text{gr}$ de extrato); flavonóides ( $\mu\text{g}/\text{gr}$ de extrato) e taninos condensados (%). ....	85
<b>APÊNDICE O</b> – Índice de herbivoria (média $\pm$ desvio padrão) por formigas cortadeiras (IHLCA) dos nove censos realizados durante o monitoramento do experimento de transplante de mudas,	

implantado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. DP: desvio padrão; T: tratamento; C: controle; AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*..... 86

**APÊNDICE P**– Índice de herbivoria (média ± desvio padrão) por outros tipos de herbívoros (IH-OH) dos nove censos realizados durante o monitoramento do experimento de transplante de mudas, implantado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. DP: desvio padrão; T: tratamento; C: controle; AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*..... 89

**ANEXOS** ..... 92

**ANEXO A**– Método de quantificação dos taninos condensados (GUANGCHENG; YUNLU; YAZAKI, 1991). Realizado no Laboratório de Habilidades Farmacêuticas II - Departamento de Ciências Farmacêuticas - Centro de Ciências da Saúde – UEL, com o auxílio dos prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa e Dra. Rúbia Casagrande, e do estagiário Pedro Augusto Goularte, estudante do último ano do curso de Farmácia da UEL. .... 92

**ANEXO B**– Método de quantificação dos polifenóis totais (LOWRY *et al.*, 1951). Realizado no Laboratório de Habilidades Farmacêuticas II - Departamento de Ciências Farmacêuticas - Centro de Ciências da Saúde – UEL, com o auxílio dos prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa e Dra. Rúbia Casagrande, do estagiário Pedro Augusto Goularte (estudante do último ano do curso de Farmácia da UEL) e da doutoranda Renata Micheli Martinez (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da UEL). .... 93

<b>ANEXO C</b> – Método de quantificação dos flavonóides (RANI; SHARMA; VASUDEVA, 2012). Realizado no Laboratório de Habilidades Farmacêuticas II - Departamento de Ciências Farmacêuticas - Centro de Ciências da Saúde – UEL, com o auxílio dos prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa e Dra. Rúbia Casagrande, do estagiário Pedro Augusto Goularte (estudante do último ano do curso de Farmácia da UEL) e da doutoranda Renata Micheli Martinez (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da UEL). .....	94
<b>ANEXO D</b> – Método de quantificação do nitrogênio total (EMBRAPA, 1997). .....	95
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	97

## INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo dos últimos séculos, especialmente nas últimas décadas, a atividade antrópica vem transformando os ecossistemas naturais, principalmente, em áreas para expansão da agropecuária e da zona urbana (LAURANCE, 2010). Essas transformações ocorrem em um ritmo acelerado, que impedem ou dificultam a recuperação dos ecossistemas, causando danos generalizados aos mesmos (HOBBS; HARRIS, 2001). Diante disso, a conservação da biodiversidade e de um ambiente saudável para os seres humanos, tem sido um dos maiores desafios dos últimos tempos, devido à destruição e fragmentação dos ecossistemas naturais (LAURANCE, 2010).

Segundo Bennett e Saunders (2010), a fragmentação de habitats é a quebra de habitats contínuos em distintas manchas ou fragmentos isolados. Quando isso acontece, três processos inter-relacionados ocorrem: perda de habitat ou de vegetação original, subdivisão da vegetação remanescente em fragmentos isolados, e introdução de novas formas de uso da terra para substituir a vegetação original que foi perdida. Este fenômeno causa diversas mudanças na paisagem e, conseqüentemente, sobre a biota (METZGER, 1999; LAURANCE; VASCONCELOS, 2009; BENNETT; SAUNDERS, 2010), resultando em mudanças na composição de espécies, na estrutura trófica e nos processos ecológicos, ocasionando perda de diversidade biológica (TABARELLI; SILVA; GASCON, 2004; LAURANCE *et al.*, 2011) e de sustentabilidade dos ecossistemas alterados (TABARELLI; PINTO; LEAL, 2009).

Os ecossistemas altamente degradados pelos processos de fragmentação e seus efeitos, agravados pela presença de caça e corte seletivo de madeira (HOLL, 2013), não são mais capazes de auto-reparo. A intervenção humana é necessária para reverter esses processos de degradação, acelerando e direcionando a sucessão natural, por meio da restauração ecológica (ENGEL; PARROTA, 2003; PALMER; FALK; ZEDLER, 2006).

Restauração ecológica é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2004). Em uma visão mais abrangente e atual, a restauração ecológica considera não só aspectos ecológicos, que tratam do restabelecimento da biodiversidade e dos processos ecológicos nos ecossistemas, mas também aspectos econômicos e sociais relacionados à restauração (BRANCALION *et al.*, 2011). A demanda legal para reconstituição das áreas de preservação permanente (APPs) e de reservas legais (RLs) (BRASIL, 2012), e a sensibilização das pessoas, mesmo que em minoria, para a necessidade da conservação da biodiversidade e dos recursos naturais, fez com que a pesquisa

científica e os projetos de restauração tenham tido um grande avanço, em especial a partir de 1980 (RODRIGUES, 2013). Entretanto, atualmente, há uma necessidade de complemento entre a ciência da Ecologia da Restauração e a prática da Restauração Ecológica (SER, 2004), ambas em franca expansão conceitual e experimental, respectivamente.

O foco da restauração ecológica é auxiliar o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade, ambos interrompidos por ações de degradação, para que a área degradada siga uma trajetória natural de regeneração (SER, 2004). Contudo, em algumas situações, o curso da regeneração natural pode ser dificultado ou impedido por filtros no ambiente físico e/ou biótico (HOBBS; NORTON, 2004). Esses filtros podem atuar em diferentes escalas temporais e espaciais (HOBBS; NORTON, 2004), em uma ou mais fases do ciclo de vida da planta (germinação, crescimento, reprodução e dispersão de sementes), e resultar em uma ou mais das seguintes situações (ENGEL; PARROTA, 2003): ausência ou baixa disponibilidade de propágulos (AIDE *et al.*, 2000; HOLL *et al.*, 2000; PEREIRA; OLIVEIRA; TOREZAN, 2013; TOSCAN *et al.*, 2014); falhas no recrutamento de plântulas e juvenis (ZIMMERMAN; PASCARELLA; AIDE, 2000; CURY *et al.*, 2012; MANTOANI *et al.*, 2012; SUGANUMA; TOREZAN, 2013); falhas no estabelecimento de interações essenciais para a manutenção da integridade do ecossistema (HOBBS; NORTON, 2004; FIDALGO; BARBOSA, 2006; WRIGHT *et al.*, 2007); e presença de fatores adicionais de estresse (UHL; BUSCHBACHER; SERRÃO, 1988; HOOPER; LEGENDRE; CONDIT, 2005; ESQUIVEL *et al.*, 2008).

A identificação dos filtros ecológicos, que impedem ou dificultam a regeneração natural da vegetação e diminuem a resiliência do ecossistema, é um aspecto chave para o sucesso da restauração ecológica (HOBBS; NORTON, 2004). Para tanto, são necessárias avaliações das áreas restauradas para identificar os possíveis filtros ecológicos.

As interações entre os organismos e destes com os fatores abióticos moldam desde as características de história de vida das espécies até o funcionamento dos ecossistemas (WIRTH *et al.*, 2008; DEL-CLARO, 2012) e, conseqüentemente, influenciam todos os parâmetros de mensuração da efetividade da restauração. Estudos sobre as interações plantas-animais podem fornecer informações úteis para aplicação nos processos de restauração florestal (REIS; KAGEYAMA, 2003), o que tornam relevantes os estudos sobre este tema. Terborgh *et al.* (2001) demonstraram que a perda de uma espécie ou mudança em sua abundância, especialmente para espécies que interagem com muitas outras, pode ter um efeito marcante na estrutura trófica e nos processos ecológicos de habitats fragmentados. Então, é crucial avaliar

possíveis falhas no recrutamento de plântulas e juvenis a partir do aumento de herbivoria e/ou predação em áreas de restauração florestal.

Dentre os herbívoros, destacam-se as formigas cortadeiras por serem nativas do continente americano, dominantes nos ambientes onde ocorrem e por coletarem grande quantidade de recurso vegetal (HOLLOBLER; WILSON, 2011), sendo consideradas pragas em alguns sistemas como agrossilvicultura e pastagens (DELLA-LUCIA; SOUZA, 2011).

Não há legislação específica com relação ao uso de inseticidas para o controle e manejo das formigas cortadeiras em APPs e RLs (BRASIL, 2012), apenas a informação de que são práticas que representam riscos e que devem ser evitadas nessas áreas (ZAKIA; PINTO, 2013). Também não há legislação específica para o uso de formicidas se tratando de ecossistemas em restauração, e nem estudos relatando os impactos da herbivoria sobre a trajetória da regeneração natural, contudo, o controle químico das formigas cortadeiras, especialmente, por meio do uso de iscas granuladas, é recomendado até os dois primeiros anos após o plantio das mudas (ATTANASIO, 2008; BELLOTTO *et al.*, 2009; NAVE *et al.*, 2009).

Há diversos estudos e grupos de pesquisa sobre a bioecologia e manejo das formigas cortadeiras no Brasil (FILHO *et al.*, 2011; NICKELE *et al.*, 2012; ZANETTI *et al.*, 2014), em geral com foco em plantios monoespecíficos com espécies exóticas, como *Pinus* e *Eucalyptus*, e áreas destinadas à agropecuária (OLIVEIRA *et al.* 2011; ZANETTI, 2011), mas não há estudos com enfoque ecológico em áreas de restauração florestal com espécies arbóreas nativas.

Ferreira (2015) deu início aos estudos com esse enfoque a partir de um experimento realizado em plantio de restauração com espécies arbóreas nativas do Cerrado. Os resultados demonstraram que as formigas cortadeiras predaram de maneira diferenciada as espécies, ocasionando mortalidade diferenciada e em ritmos distintos entre as mesmas, resultando em perda progressiva de diversidade ao longo do tempo. Entretanto, é necessário realizar mais estudos visando classificar o maior número de espécies arbóreas nativas em relação à sua resistência ou tolerância aos ataques pelas formigas cortadeiras e identificar padrões de resposta entre as espécies, que serão úteis para subsidiar as iniciativas de restauração e conservação.

Os principais gêneros de formigas cortadeiras são *Atta* (saúvas) e *Acromyrmex* (quenquéns ou mineiras) pertencentes ao filo Arthropoda, classe Insecta, ordem Hymenoptera (insetos sociais), família Formicidae, subfamília Myrmicinae e tribo Attini (16 gêneros, 297

espécies) (BRANDÃO *et al.*, 2011). São invertebrados e herbívoros dominantes da América Tropical e Subtropical, ocorrendo desde o sul do México ao sul da Argentina, entre as latitudes 40°N e 44°S (DELABIE *et al.*, 2011). Dentre suas principais características, registra-se o mutualismo obrigatório dessas espécies com fungos cultivados dentro dos ninhos que servem como recurso alimentar para os indivíduos da colônia (HOLDOBLER; WILSON, 2011). Esses fungos são alimentados com substrato fresco predominantemente de origem vegetal, como folhas, flores, frutos e endosperma de sementes (WIRTH *et al.*, 2003; LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2014).

As saúvas possuem três pares de espinhos no dorso, indivíduos de tamanho maior quando comparadas com os demais gêneros da tribo e o gênero é composto por 19 espécies. No Brasil ocorrem nove e no Paraná cinco. Já as quenquéns possuem quatro ou cinco pares de espinhos no dorso, indivíduos de tamanho menor quando comparadas com os demais gêneros da tribo e o gênero é composto por 62 espécies. No Brasil, ocorrem 31 e no Paraná 11 (BRANDÃO *et al.*, 2011; DELABIE *et al.*, 2011).

As formigas cortadeiras exercem efeitos diretos (tróficos), por meio da herbivoria e dispersão de sementes, e indiretos (não tróficos), por meio de alterações nos atributos do solo e no regime de luz, sobre as comunidades de plantas presentes em sua área de forrageamento (LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2014). Assim, são consideradas “engenheiras de ecossistemas” onde ocorrem (WIRTH *et al.*, 2003; CORRÊA *et al.*, 2010; MEYER *et al.*, 2011; MEYER *et al.*, 2013; FARJI-BRENER; WERENKRAUT, 2014). Segundo Jones, Lawton e Shachak (1994), “engenheiros de ecossistema” são organismos que, direta ou indiretamente, modulam a disponibilidade de recursos para outras espécies, causando mudanças bióticas e/ou abióticas na comunidade. Ao fazer isso, modificam, mantêm e criam habitats.

As formigas cortadeiras são herbívoros generalistas, podendo coletar mais de 50% da flora presente em sua área de forrageamento (VASCONCELOS; FOWLER, 1990; WIRTH *et al.*, 2003), consumindo até 900 kg de biomassa vegetal seca ao ano por ninho (HERZ; BEYSCHLAG; HOLDOBLER, 2007). Entretanto, diante da ampla gama de recursos que podem forragear esses invertebrados apresentam certa seletividade, dando preferência para espécies de hábito arbóreo (CHERRETT, 1968; WIRTH *et al.*, 2003; FALCÃO *et al.*, 2011), do grupo das espécies pioneiras (WIRTH *et al.*, 2003; FARJI-BRENER, 2001; FALCÃO *et al.*, 2011), sendo as folhas o item mais coletado (CHERRETT, 1968; WIRTH *et al.*, 2003; FALCÃO *et al.*, 2011), principalmente, as folhas jovens (NICHOLS-ORIAN, 1991;

MUNDIM; COSTA; VASCONCELOS, 2009) e com menor conteúdo de água (MEYER; ROCES; WIRTH, 2006; RIBEIRO NETO *et al.*, 2012). Essa seletividade é regulada por um balanço entre baixa quantidade de defesas físicas e químicas (HOWARD, 1988), em especial os metabólitos secundários, e alto conteúdo de proteínas, carboidratos e lipídios no tecido vegetal (QUINLAN; CHERRETT, 1979), que regula não diretamente as formigas cortadeiras, mas sim o cultivo dos jardins de fungos.

A herbivoria pode exercer influência desde o indivíduo herbivorado ao ecossistema onde o ninho está presente. Em nível de indivíduo, o processo depende da fenologia (BARBOSA, 2009), estágio ontogenético (VASCONCELOS; CHERRETT, 1997), quantidade e tipo de defesas anti-herbivoria (HOWARD, 1987, 1988) e do status hídrico (RIBEIRO NETO *et al.*, 2012). Em nível populacional, depende do tamanho populacional e da proximidade em relação às trilhas de forrageamento (WIRTH *et al.*, 2003). Em nível de comunidade, depende da proporção de espécies menos palatáveis presentes na área de forrageamento e do tamanho dessa área de forrageamento (URBAS *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2013). E, em nível de ecossistema, depende da densidade de ninhos (WIRTH *et al.*, 2007; MEYER; LEAL, WIRTH, 2009).

Com relação à dispersão de sementes, as formigas cortadeiras atuam como dispersoras secundárias de pequenos frutos carnosos e/ou sementes coletadas do chão de florestas (OLIVEIRA *et al.*, 1995; LEAL; OLIVEIRA, 1998; PASSOS; OLIVEIRA, 2002; SILVA *et al.*, 2007). Raramente, são dispersoras primárias coletando os frutos e/ou sementes diretamente na planta (DALLING; WIRTH, 1998). Os efeitos da dispersão de sementes pelas formigas cortadeiras vão depender do comportamento das formigas junto aos diásporos (OLIVEIRA *et al.*, 1995; LEAL; OLIVEIRA, 1998; PASSOS; OLIVEIRA, 2002; CHRISTIANINI; MAYNÉ-NUNES; OLIVEIRA, 2007); do local de deposição das sementes quando houver remoção (DALLING; WIRTH, 1998; LEAL; OLIVEIRA, 1998; CHRISTIANINI; MAYNÉ-NUNES; OLIVEIRA, 2007); das taxas de herbivoria das plântulas, quando as sementes são depositadas sobre os ninhos e germinam (SILVA *et al.*, 2007; CORRÊA *et al.*, 2010); e do tipo de solo do ecossistema onde as formigas ocorrem (MOUTINHO; NEPSTAD; DAVIDSON, 2003; SOUSA-SOUTO; STERNBERG, 2011).

Outra característica marcante das formigas cortadeiras é a construção, expansão e manutenção de seus ninhos, dos componentes internos (câmaras e túneis) e externos (murundu e olheiros), e das trilhas de forrageamento, enquanto as colônias se encontram ativas (HOLLDÖBLER; WILSON, 2011). Para isso, elas limpam e mantêm as trilhas e o

murundu, e em volta deste, livre de plantas e serapilheira (FARJI-BRENER; ILLES, 2000). Essa característica, aliada à frequente atividade de herbivoria, pode alterar a natureza estrutural do solo e a distribuição espacial dos nutrientes, que resulta em heterogeneidade edáfica, capaz de influenciar no recrutamento de plântulas enquanto a colônia permanece viva (MOUTINHO; NEPSTAD; DAVIDSON, 2003; MEYER *et al.*, 2013), bem como após sua morte (GARRETTSON *et al.*, 1998; BIEBER *et al.*, 2011). Esses efeitos vão depender do comportamento das formigas com relação à deposição dos detritos (FARJI-BRENER; MEDINA, 2000); à remoção de serapilheira e/ou desfolha da vegetação sobre o ninho (FARJI-BRENER; ILLES, 2000); do tipo de solo (SOUSA-SOUTO; STERNBERG, 2011) e da importância da partição de nichos para as plantas (FARJI-BRENER; GUERMANDI, 2000; FARJI-BRENER, 2005; HUDSON *et al.*, 2009; SAHA *et al.*, 2012).

Ambas características das formigas cortadeiras influenciam o regime de luz da área onde se encontram os ninhos (BIEBER *et al.*, 2011) e da área de forrageamento da colônia (MEYER *et al.*, 2011), podendo criar pequenas aberturas no dossel da floresta (clareiras de dossel) ou no sub-bosque (clareiras de sub-bosque) (FARJI-BRENER; ILLES, 2000). Esses efeitos vão depender da disponibilidade de luz do ambiente (baixa ou alta) e da importância da partição de nicho entre as plantas (heterogeneidade ou homogeneização ambiental) para reduzir ou permitir o recrutamento (HULL-SANDERS; HOWARD, 2003; WIRTH *et al.*, 2003; CORRÊA *et al.*, 2010).

Essa engenharia, a partir dos efeitos diretos e indiretos, realizada pelas formigas cortadeiras nos ecossistemas, é contexto-dependente (WIRTH *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2009; DOHM *et al.*, 2011; MEYER; LEAL; WIRTH, 2009) e varia de espécie para espécie, tanto das formigas (VASCONCELOS, 1990) quanto das plantas (MUNDIM *et al.*, 2012), além de resultar em influências positivas (MOUTINHO; NEPSTAD; DAVIDSON, 2003) e/ou negativas (CORRÊA *et al.*, 2010), que podem variar no tempo e no espaço (VASCONCELOS, 1999; 2002; WIRTH *et al.*, 2003) e em intensidade (VASCONCELOS; CHERRETT, 1997; COSTA *et al.*, 2008; MUNDIM *et al.*, 2012).

Adicionalmente, estudos recentes demonstram que há um aumento populacional desses invertebrados, concomitante ao aumento das perturbações antrópicas (URBAS *et al.*, 2007; WIRTH *et al.*, 2007; MEYER; LEAL; WIRTH, 2009; SILVA *et al.*, 2009; DOHM *et al.*, 2011). Isso ocorre devido às alterações biológicas e físicas em habitats perturbados, bordas de florestas e áreas em estágios iniciais de sucessão, possibilitarem uma maior regeneração de espécies pioneiras (TABARELLI *et al.*, 2010). Como as espécies pioneiras

são o principal recurso alimentar das formigas cortadeiras (FARJI-BRENER, 2001), ocorre um aumento na densidade de ninhos desses invertebrados nessas áreas. Essa alta densidade de ninhos também está relacionada à diminuição dos inimigos naturais, devido ao efeito do isolamento entre os fragmentos florestais e da baixa permeabilidade do habitat matriz para estes (TERBORGH *et al.*, 2001; ALMEIDA; WIRTH; LEAL, 2008; WIRTH *et al.*, 2008). Assim, há uma atenuação tanto do controle *bottom-up* (proliferação de espécies pioneiras em ambientes perturbados) quanto do *top-down* (extinção de predadores e/ou parasitas).

Deste modo, nesses ecossistemas, as formigas-cortadeiras têm áreas de forrageamento menores e taxas de herbivoria maiores, o que propicia um aumento na densidade das colônias e economia de energia para buscar alimento, que pode ser convertida em produção de mais rainhas (URBAS *et al.*, 2007). Com mais alimento e menos inimigos naturais, há uma explosão populacional e o papel ecológico dessas formigas nas paisagens antropizadas se torna ainda mais relevante.

A maioria dos estudos, com enfoque ecológico sobre esse tema, foi realizado em fragmentos maduros de floresta tropical úmida (FARJI-BRENER; ILLES, 2000; RAO; TERBORGH; NUNEZ, 2001; WIRTH *et al.*, 2003; TABARELLI; PINTO; LEAL, 2009) e poucos em floresta tropical seca (GERHARDT, 1993; COSTA, 2007), sendo que a maior parte destes passou por processo de fragmentação florestal. Esses estudos foram realizados nos países da América Tropical e Subtropical, local de ocorrência das formigas cortadeiras, sendo que o Brasil se destaca com diversos trabalhos. No Bioma Mata Atlântica, localiza-se a maior parte destes estudos (URBAS, 2004; TABARELLI; PINTO; LEAL, 2009; LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2012, 2014) seguido da Amazônia (VASCONCELOS, 1988; MOUTINHO, 1998) e Cerrado (COSTA, 2007; SOUSA-SOUTO, 2007; MUNDIM, 2009) com menor número. Há poucos estudos em outros tipos de ecossistemas, como: florestas secundárias (VASCONCELOS; CHERRETT, 1995; HUDSON *et al.*, 2009), pastagens abandonadas (GERHARDT, 1993; VASCONCELOS; CHERRETT, 1997) e bordas de estradas (VASCONCELOS *et al.*, 2006). Contudo, em áreas de restauração florestal com espécies nativas somente Ferreira (2015), no Bioma do Cerrado, deu início aos estudos com esse enfoque.

Diante disso, é necessário ampliar as investigações acerca dos impactos das formigas cortadeiras sobre a dinâmica sucessional das comunidades de plantas e, conseqüentemente, sobre a regeneração natural de áreas em restauração florestal, uma vez que as formigas cortadeiras podem causar múltiplos impactos nos ecossistemas onde ocorrem e que há

aumento populacional desses invertebrados em paisagens antropizadas (LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2014).

Dentre os efeitos que as formigas cortadeiras podem promover, destacam-se os resultantes da herbivoria, que será o foco do presente estudo. Esta pode influenciar desde o sucesso no estabelecimento e crescimento de plantas em sua área de forrageamento (VASCONCELOS; CHERRETT, 1997; MUNDIM *et al.*, 2012), até o nível de ecossistema (WIRTH *et al.*, 2007), podendo alterar a composição de espécies, a estrutura e a dinâmica das comunidades vegetais nessas áreas, por modificar o recrutamento das espécies vegetais (WIRTH *et al.*, 2003), e atuar como possível filtro ecológico.

Nesse contexto, é importante ressaltar que as interações diretas entre as formigas cortadeiras e as plantas podem ser do tipo predação (herbivoria total da planta ocasionando a morte), parasitismo (herbivoria parcial, não ocasionando a morte) e mutualismo facultativo (dispersão primária ou secundária de sementes) (DEL-CLARO, 2012; LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2011, 2012). No entanto, relações entre as formigas e outros organismos, como o mutualismo obrigatório com o jardim de fungos (PAGNOCCA; RODRIGUES; BACCI JR., 2011), a predação de formigas por vertebrados e invertebrados (ARAÚJO *et al.*, 2011), e o parasitismo sobre as formigas (BRAGANÇA, 2011), podem afetar indiretamente as plantas.

Do outro lado dessas interações estão as plantas, que diante da ação dos herbívoros, desenvolveram características defensivas que variam entre as espécies vegetais (COLEY *et al.*, 1985). Essas defesas podem ser passivas, como o escape ou redução da densidade populacional, que influenciam a capacidade dos herbívoros de encontrar as plantas; ou defesas ativas, como as defesas químicas e morfológicas, que reduzem a alimentação pelos herbívoros (acúleos, espinhos, tricomas, superfícies foliares cerosas, metabólitos secundários, associações com espécies protetoras, por exemplos). As plantas também podem apresentar tolerância à herbivoria, minimizando os efeitos permanentes da perda de tecido vegetal (rebrotas, reposição foliar, reprodução precoce) (DEL-CLARO, 2012; MARQUIS, 2012; TRIGO; PAREJA; MASSUDA, 2012).

A partir do exposto e considerando que o Bioma Mata Atlântica encontra-se em estado crítico de fragmentação, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da herbivoria por formigas cortadeiras sobre o recrutamento de espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual, em áreas de restauração florestal. Para tanto, foram formuladas as seguintes perguntas:

As espécies intolerantes à sombra terão maior taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras do que as tolerantes à sombra no contexto ambiental do presente estudo?

Segundo Ribeiro e Marinho (2011), a atividade de forrageamento das formigas cortadeiras é complexa e coordenada por múltiplos fatores (sazonalidade, revoada, queimadas, tamanho do formigueiro, distribuição espacial entre as colônias, presença de parasitóides, precipitação pluviométrica e temperatura), sendo necessário mais estudos acerca da capacidade de seleção do material cortado e da modulação comportamental, de acordo com o ambiente e os recursos disponíveis na área de forrageamento.

As espécies com maior taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras terão menor desempenho no ambiente?

De acordo com Marquis (2012), a perda de tecido vegetal pela herbivoria pode reduzir o crescimento, reprodução e sobrevivência dos indivíduos afetados, devido à realocação de recursos para a reposição do tecido vegetal perdido.

As espécies com maior taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras têm menor investimento em defesas e maior conteúdo nutricional?

Conforme Trigo, Pareja e Massuda (2012), dentre as características defensivas das plantas contra os herbívoros, destacam-se as morfo-anatômicas e químicas, por meio, principalmente, da presença de compostos secundários. Em contraste às defesas vegetais, segundo Marquis (2012), maiores concentrações de nutrientes têm um impacto positivo na sobrevivência, crescimento e reprodução dos herbívoros.

A partir desses questionamentos foram testadas as seguintes hipóteses:

- As espécies intolerantes à sombra têm maior taxa de herbivoria por formigas cortadeiras do que as tolerantes.
- As espécies com maior taxa de herbivoria por formigas cortadeiras apresentam balanço foliar e crescimento em altura negativos e menor taxa de sobrevivência.
- As espécies com menor investimento em defesas foliares estruturais e químicas e maior conteúdo de nitrogênio apresentam maior taxa de herbivoria por formigas cortadeiras.

## **REFERÊNCIAS**

AIDE, T.M.; ZIMMERMAN, J.K.; PASCARELLA, J.B.; RIVERA, L.; MARCANO-VEGA, H. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 4, p. 328-338, 2000.

ALMEIDA, W.R.; WIRTH, R.; LEAL, I.R. Edge-mediated reduction of phorid parasitism on leaf-cutting ants in a Brazilian Atlantic Forest. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 129, p. 251–257, 2008.

ARAÚJO, M.S.; PEREIRA, J.M.M.; GANDRA, L.C.; RIBEIRO, M.M.R.; OLIVEIRA, M.A. Predadores e outros organismos associados aos ninhos de formigas-cortadeiras. p. 311-320. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

ATTANASIO, C.M. **Manual técnico: restauração e monitoramento da mata ciliar e da reserva legal para a certificação agrícola - conservação da biodiversidade na cafeicultura**. Piracicaba: Imaflora, 2008.

BARBOSA, V.S. **Influência da herbivoria de formigas cortadeiras no sucesso reprodutivo de espécies arbustivo-arbóreas da Floresta Atlântica Nordestina**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

BELLOTTO, A.; VIANI, R.A.G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R. Inserção de outras formas de vida no processo de restauração. p. 53-61. In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, ESALQ-USP, 2009.

BENNETT, A.F.; SAUNDERS, D.A. Habitat fragmentation and landscape change. p. 88-106. In: SODHI, N.S.; EHRLICH, P.R. (Eds.). **Conservation Biology for All**. New York: Oxford University Press, 2010.

BIEBER, A.G.D.; OLIVEIRA, M.A.; WIRTH, R.; TABARELLI, M.; LEAL, I.R. Do abandoned nests of leaf-cutting ants enhance plant recruitment in the Atlantic Forest? **Austral Ecology**, v. 36, p. 220–232, 2011.

BRAGANÇA, M.A.L. Parasitóides de formigas-cortadeiras. p. 321-343. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

BRANCALION, P.H.S.; PADOVEZI, A.; FARAH, F.T.; VIANI, R.A.G.; BARRETO, T.E.; RODRIGUES, R.R. Indicadores de avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração florestal: o exemplo do pacto pela restauração da Mata Atlântica. p. 31–39. In: BARBOSA, L.M. (Coord.). **IV Simpósio de Restauração Ecológica: desafios atuais e futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica – SMA, 2011.

BRANDÃO, C.R.F.; MAYHÉ-NUNES, A.J.; SANHUDO, C.E.D. Taxonomia e filogenia das formigas cortadeiras. p. 27-48. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

BRASIL. Decreto-Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de

dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, seção 1, p. 1-7, 28 out. 2012.

CHERRETT, J.M. The foraging behavior of *Atta cephalotes* L. (Hymenoptera, Formicidae): I. Foraging pattern and plant species attacked in tropical rain forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 37, n. 2, p. 387–403, 1968.

CHRISTIANINI, A.V.; MAYHÉ-NUNES, A.J.; OLIVEIRA, P.S. The role of ants in the removal of non-myrmecochorous diaspores and seed germination in a neotropical savanna. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, n. 3, p. 343–351, 2007.

COLEY, P.D.; BRYANT, J.P.; CHAPIN, F.S. Resource availability and plant anti-herbivore defense. **Science**, v. 230, n. 4728, p. 895–899, 1985.

CORRÊA, M.M.; SILVA, P.S.D.; WIRTH, R.; TABARELLI, M.; LEAL, I.R. How leaf-cutting ants impact forests: drastic nest effects on light environment and plant assemblages. **Oecologia**, v. 162, p. 103-115, 2010.

COSTA, A.N. **Padrões de forrageamento e biomassa vegetal consumida por *Atta laevigata* (Hymenoptera: Formicidae) em uma área do cerrado brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

COSTA, A.N.; VASCONCELOS, H.L.; VIEIRA-NETO, E.H.M.; BRUNA, E.M. Do herbivores exert top-down effects in Neotropical savannas? Estimates of biomass consumption by leaf-cutter ants. **Journal of Vegetation Science**, v. 19, p. 849-854, 2008.

CURY, R.T.S.; SHIMAMOTO, C.Y.; LIMA, F.F.C.; TOREZAN, J.M.D. Seed removal in an atlantic forest fragment and a restoration site in southern Brazil. **Revista do Instituto Florestal**, v. 24, n. 2, p. 201-209, 2012.

DALLING, J.W.; WIRTH, R. Dispersal of *Miconia argentea* seeds by leaf-cutting ant *Atta colombica*. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 705–710, 1998.

DEL-CLARO, K. Origens e importância das relações plantas-animais para a ecologia e conservação. p. 37-50. In: DEL-CLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI, H.M. (Orgs.). **Ecologia das interações plantas-animais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2012.

DELABIE, J.H.C.; ALVES, H.S.R.; REUSS-STRENZEL, G.M.; CARMO, A.F.R.; NASCIMENTO, I.C. Distribuição das formigas cortadeiras *Acromyrmex* e *Atta* no Novo Mundo. p. 80-101. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

DELLA LUCIA, T.M.C.; SOUZA, D.J. Importância e história de vida das formigas cortadeiras. p. 13-26. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

DOHM, C.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; MEYER, S.T.; WIRTH, R. Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest edge? **Journal of Tropical Ecology**, v. 27, p. 645–649, 2011.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. p. 01-26. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003.

ESQUIVEL, M.J.; HARVEY, C.A.; FINEGAN, B.; CASANOVES, F.; SKARPE, C. Effects of pasture management on the natural regeneration of neotropical tress. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 371-380, 2008.

FALCÃO, P.F.; PINTO, S.R.R.; WIRTH, R.; LEAL, I.R. Edge-induced narrowing of dietary diversity in leaf-cutting ants. **Bulletin of Entomological Research**, v. 101, p. 305 -311, 2011.

FARJI-BRENER, A.G. Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. **Oikos**, v. 92, p. 169–177, 2001.

FARJI-BRENER, A.G. The effect of abandoned leaf-cutting ant nests on plant assemblage composition in a tropical rainforest of Costa Rica. **Ecoscience**, v. 12, n. 4, p. 554-560, 2005.

FARJI-BRENER, A.G.; GUERMANDI, L. Influence of nests of leaf-cutting ants on plant species diversity in road verges of northern Patagonia. **Journal of Vegetation Science**, v. 11, p. 453-460, 2000.

FARJI-BRENER, A.G.; ILLES, A.E. Do leaf-cutting ant nests make “bottom-up” gaps in neotropical rain forests?: a critical review of the evidence. **Ecology Letters**, v. 3, p. 219-227, 2000.

FARJI-BRENER, A.G.; MEDINA, C.A. The importance of where to dump the refuse: seed banks and fine roots in nests of the leaf-cutting ants *Atta cephalotes* and *A. colombica*. **Biotropica**, v. 32, n. 1, p. 120-126, 2000.

FARJI-BRENER, A.G.; WERENKRAUT, V. A meta-analysis of leaf-cutting ant nest effects on soil fertility and plant performance. **Ecological Entomology**, p. 1-9, 2014.

FERREIRA, B.Z. **Herbivoria por *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 sobre espécies arbóreas em restauração florestal**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015.

FIDALGO, A.O.; BARBOSA, K.C. A importância da interação animal-plantas na recuperação de áreas degradadas. p. 49-59. In: BARBOSA, L.M. (Coord.). **Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006.

FILHO, W.R.; SANTOS, F.; STRAPASSON, P.; NICKELE, M.A. Danos causados por diferentes níveis de desfolha artificial para simulação do ataque pelas formigas cortadeiras em *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 65, p. 37-42, 2011.

GARRETTSON, M.; STETZEL, J.F.; HALPERN, B.S.; HEARN, D.J.; LUCEY, B.T.; McKONE, M.J. Diversity and abundance of understory plants on active and abandoned nests of leaf-cutting ants (*Atta cephalotes*) in a Costa Rica rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 01, p. 17-26, 1998.

GERHARDT, K. Tree seedling development in tropical dry abandoned pasture and secondary forest in Costa Rica. **Journal of Vegetation Science**, v. 4, p. 95-102, 1993.

HERZ, H.; BEYSCHLAG, W.; HOLLOBLER, B. Herbivory rate of leafcutting ants in a tropical moist forest in Panama at the population and ecosystem scales. **Biotropica**, v. 39, n. 4, p. 482-488, 2007.

HOBBS, R.J.; HARRIS, J.A. Restoration ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium. **Restoration Ecology**, v. 9, n. 2, p. 239-246, 2001.

HOBBS, R.J.; NORTON, D.A. Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. p. 72-95. In: TEMPERTON, V.M.; HOBBS, R.J.; NUTTLE, T.; HALLE, S. (Eds.). **Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice**. Washington: Island Press, 2004.

HOLL, K.D. Restoring Tropical Forest. **Nature Education Knowledge**, v. 4, n. 4, p. 4, 2013.

HOLL, K.D.; LOIK, M.E.; LIN, E.H.V.; SAMUELS, I.A. Tropical Montane Forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 4, p. 339-349, 2000.

HOLLOBLER, B.; WILSON, E.O. **The leafcutter ants: civilization by instinct**. London: W.W. Norton & Company Inc, 2011.

HOOPER, E.; LEGENDRE, P.; CONDIT, R. Barriers to forest regeneration of deforested and abandoned land in Panama. **Journal of Applied Ecology**, v. 42, p. 1165-1174, 2005.

HOWARD, J.J. Leaf-cutting ant diet selection: the role of nutrients, water, and secondary chemistry. **Ecology**, v. 68, n. 3, p. 503-515, 1987.

HOWARD, J.J. Leaf-cutting ant diet selection: relative influence of leaf chemistry and physical features. **Ecology**, v. 69, n. 1, p. 250-260, 1988.

HUDSON, T.M.; TURNER, B.L.; HERZ, H.; ROBINSON, J.S. Temporal patterns of nutrient availability around nests of leaf-cutting ants (*Atta colombica*) in secondary moist tropical forest. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 1088-1093, 2009.

HULL-SANDERS, H.M.; HOWARD, J.J. Impact of *Atta colombica* colonies on understory vegetation and light availability in a neotropical forest. **Biotropica**, v. 35, n. 3, p. 441-445, 2003.

JONES, C.G.; LAWTON, J.H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos**, v. 69, p. 373–386, 1994.

LAURANCE, W.F. Habitat destruction: death by a thousand cuts. p. 73-87. In: SODHI, N.S.; EHRLICH, P.R. (Eds.). **Conservation Biology for All**. New York: Oxford University Press. 2010.

LAURANCE, W.F.; VASCONCELOS, H.L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 3, p.434-451, 2009.

LAURANCE, W.F.; CAMARGO, J.L.C.; LUIZÃO, R.C.C.; LAURANCE, S.G.; PIMM, S.L.; BRUNA, E.M.; STOUFFER, P.C.; WILLIAMSON, G.B.; BENÍTEZ-MALVIDO, J.; VASCONCELOS, H.L.; VAN HOUTAN, K.S.; ZARTMAN, C.E.; BOYLE, S.A.; DIDHAM, R.K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T.E. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, p. 56–67, 2011.

LEAL, I.R.; OLIVEIRA, P.S. Interactions between fungus-growing ants (Attini), fruits and seeds in Cerrado vegetation in Southeast Brazil. **Biotropica**, v. 30, n. 2, p. 170-178, 1998.

LEAL, I.R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Dispersão de sementes por formigas cortadeiras. p. 236-248. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

LEAL, I.R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Formigas-cortadeiras e a ambigüidade de suas relações com plantas. p. 215-239. In: DEL-CLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI, H.M. (Orgs.). **Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva**. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2012.

LEAL, I.R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. The multiple impacts of leaf-cutting ants and their novel ecological role in human-modified neotropical forests. **Biotropica**, v. 46, n. 5, p. 516-528, 2014.

MANTOANI, M.C.; ANDRADE, G.R.; CAVALHEIRO, A.L.; TOREZAN, J.M.D. Efeitos da invasão por *Panicum maximum* Jacq. e do seu controle manual sobre a regeneração de plantas lenhosas no sub-bosque de um reflorestamento. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 33, n. 1, p. 97-110, 2012.

MARQUIS, R.J. Uma abordagem geral das defesas das plantas contra a ação dos herbívoros. p. 55-66. In: DEL-CLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI, H.M. (Orgs.). **Ecologia das interações plantas-animais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2012.

METZGER, J.P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 71, n. 3-I, p. 445-463, 1999.

MEYER, S.T.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; WIRTH, R. Ecosystem engineering by leaf-cutting ants: nests of *Atta cephalotes* drastically alter forest structure and microclimate. **Ecological Entomology**, v. 36, p. 14–24, 2011.

MEYER, S.T.; LEAL, I.R.; WIRTH, R. Persisting hyper-abundance of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) at the edge of an old Atlantic forest fragment. **Biotropica**, v. 41, n. 6, p. 1-6, 2009.

- MEYER, S.T.; NEUBAUER, M.; SAYER, E.J.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; WIRTH, R. Leaf-cutting ants as ecosystem engineers: topsoil and litter perturbations around *Atta cephalotes* nests reduce nutrient availability. **Ecological Entomology**, v. 38, p. 497–504, 2013.
- MEYER, S.T.; ROCES, F.; WIRTH, R. Selecting the drought stressed: effects of plant stress on intraspecific and within-plant herbivory patterns of the leaf-cutting ant *Atta colombica*. **Functional Ecology**, v. 20, p. 973–981, 2006.
- MOUTINHO, P.R.S. **O papel das saúvas (*Atta sexdens*) na sucessão florestal em pastagens abandonadas na Amazônia**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
- MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.C.; DAVIDSON, E.A. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. **Ecology**, v. 84, n. 5, p. 1265–1276, 2003.
- MUNDIM, F.M. **Efeito da herbivoria por saúvas sobre a fenologia, sobrevivência, crescimento, e conteúdo nutricional de árvores do Cerrado**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
- MUNDIM, F.M.; COSTA, A.N.; VASCONCELOS, H.L. Leaf nutrient content and host plant selection by leaf-cutter ants, *Atta laevigata*, in a Neotropical savanna. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 130, p. 47–54, 2009.
- MUNDIM, F.M.; BRUNA, E.M.; VIEIRA-NETO, E.H.M.; VASCONCELOS, H.L. Attack frequency and the tolerance to herbivory of Neotropical savanna trees. **Oecologia**, v. 168, p. 405–414, 2012.
- NAVE, A.G.; BRANCALION, P.H.S.; COUTINHO, E.; CÉSAR, R.G. Descrição das ações operacionais de restauração. p. 176–217. In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, ESALQ-USP, 2009.
- NICHOLS-ORIAN, C. Differential effects of condensed and hydrolyzable tannin on polyphenol oxidase activity of attine symbiotic fungus. **Journal of Chemical Ecology**, v. 17, n. 9, p. 1811–1819, 1991.
- NICKELE, M.A.; FILHO, W.R.; OLIVEIRA, E.B.; IEDE, E.T.; CALDATO, N.; STRAPASSON, P. Leaf-cutting ant attack in initial pine plantations and growth of defoliated plants. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 892–899, 2012.
- OLIVEIRA, M.A.; ARAÚJO, M.S.; MARINHO, C.G.S.; RIBEIRO, M.M.R.; DELLA LUCIA, T.M.C. Manejo de formigas-cortadeiras. p. 400–419. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

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**, v. 27, n. 4, p. 518-522, 1995.

PAGNOCCA, F.C.; RODRIGUES, A.; BACCI JR., M. Microrganismos associados às formigas cortadeiras. p. 262-283. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

PALMER, M.A.; FALK, D.A.; ZEDLER, J.B. Ecological theory and restoration ecology. p. 1-10. In: FALK, D.A.; PALMER, M.A.; ZEDLER, J.B. (Eds.). **Foundations of restoration ecology**. Washington: Island Press, 2006.

PASSOS, L.; OLIVEIRA, P.S. Ants affect the distribution and performance of seedlings of *Clusia criuva*, a primarily bird-dispersed rain forest tree. **Journal of Ecology**, v. 90, p. 517-528, 2002.

PEREIRA, L.C.S.M.; OLIVEIRA, C.C.C.; TOREZAN, J.M.D. Woody species regeneration in atlantic forest restoration sites depends on surrounding landscape. **Natureza & Conservação**, v. 11, n. 2, p. 138-144, 2013.

QUINLAN, R.J.; CHERRETT, J.M. The role of fungus in the diet of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (L.). **Ecological Entomology**, v. 4, p. 151-160, 1979.

RAO, M.; TERBORGH, J.; NUNEZ, P. Increased herbivory in forest isolates: implications for plant community structure and composition. **Conservation Biology**, v. 15, n. 3, p. 624-633, 2001.

REIS, A.; KAGEYAMA, P.Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. p. 91-110. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003.

RIBEIRO, M.M.R.; MARINHO, C.G.S. Seleção e forrageamento em formigas cortadeiras. p. 189-203. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

RIBEIRO NETO, J.D.; PINHO, B.X.; MEYER, S.T.; WIRTH, R.; LEAL, I.R. Drought stress drives intraspecific choice of food plants by *Atta* leaf-cutting ants. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 144, p. 209-215, 2012.

RODRIGUES, E. **Ecologia da restauração**. 1. ed. Londrina: Editora Planta, 2013.

SAHA, A.K.; CARVALHO, K.S.; STERNBERG, L.S.L.; MOUTINHO, P. Effect of leaf-cutting ant nests on plant growth in an oligotrophic Amazon rain Forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 28, p. 263-270, 2012.

SER - SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL CIENCE & POLICY WORKING GROUP. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. 2. ed. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.

- SILVA, P.S.D.; LEAL, I.R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Harvesting of *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. seeds (Burseraceae) by the leaf-cutting ant *Atta sexdens* L. promotes seed aggregation and seedling mortality. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, p. 553-560, 2007.
- SILVA, P.S.D.; BIEBER, A.G.D.; LEAL, I.R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Decreasing abundance of leaf-cutting ants across a chronosequence of advancing Atlantic forest regeneration. **Journal of Tropical Ecology**, v. 25, p. 223–227, 2009.
- SILVA, P.S.D.; BIEBER, A.G.D.; KNOCH, T.A.; TABARELLI, M.; LEAL, I.R.; WIRTH, R. Foraging in highly dynamic environments: leaf-cutting ants adjust foraging trail networks to pioneer plant availability. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, p. 1–10, 2013.
- SOUSA-SOUTO, J. **Papel ecológico do fogo e das saúvas (*Atta spp.*) na ciclagem de nutrientes e carbono em cerrado**. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- SOUSA-SOUTO, J.; STERNBERG, L. Ciclagem de nutrientes por formigas cortadeiras. p. 249-261. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.
- SUGANUMA, M.S.; TOREZAN, J.M.D. Evolução dos processos ecossistêmicos em reflorestamentos da Floresta Estacional Semidecidual. **Hoehnea**, v. 40, n. 3, p. 557-565, 2013.
- TABARELLI, M.; PINTO, S.R.; LEAL, I.R. Floresta Atlântica Nordeste: fragmentação e perda de biodiversidade. **Ciência Hoje**, v. 44, n. 263, p. 36-41, 2009.
- TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1419–1425, 2004.
- TABARELLI, M.; AGUIAR, A.V.; GIRÃO, L.C.; PERES, C.A.; LOPES, A.V. Effects of pioneer tree species hyperabundance on forest fragments in Northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 24, n. 6, p. 1654–1663, 2010.
- TERBORGH, J.; LOPEZ, L.; NUÑEZ, P.; RAO, M.; SHAHABUDDIN, G.; ORIHUELA, G.; RIVEROS, M.; ASCANIO, R.; ADLER, G.H.; LAMBERT, T.D.; BALBAS, L. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. **Science**, v. 294, p. 1923-1925, 2001.
- TOSCAN, M.A.G.; TEMPONI, L.G.; LEIMIG, R.A.; FRAGOSO, R.O. Análise da chuva de sementes de uma área reflorestada do corredor de biodiversidade Santa Maria, Paraná. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 217–230, 2014.
- TRIGO, J.R.; PAREJA, M.; MASSUDA, K.F. O papel das substâncias químicas nas interações entre plantas e insetos herbívoros. p. 67-88. In: DEL-CLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI, H.M. (Orgs.). **Ecologia das interações plantas-animais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2012.
- UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRÃO, E.A.S. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. **Journal of Ecology**, v. 76, p. 663-681, 1988.

URBAS, P. **Effects of forest fragmentation on bottom-up control in leaf-cuttings ants.**

Dissertation zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades - Fachbereich Biologie Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2004.

URBAS, P.; ARAÚJO JR., M.V.; LEAL, I.R.; WIRTH, R. Cutting more from cut forests: edge effects on foraging and herbivory of leaf-cutting ants in Brazil. **Biotropica**, v. 39, n. 4, p. 489–495, 2007.

VASCONCELOS, H.L. Distribution of *Atta* (Hymenoptera: Formicidae) in “Terra Firme” rain forest of central Amazonia: density, species composition and preliminary results on effects of forest fragmentation. **Acta Amazonica**, v. 18, n. 3-4, p. 309-315, 1988.

VASCONCELOS, H.L. Foraging activity of two species of leaf-cutting ants (*Atta*) in a primary forest of the central amazon. **Insectes Sociaux**, v. 37, n. 2, p. 131-145, 1990.

VASCONCELOS, H.L. Levels of leaf herbivory in Amazonian trees from different stages in forest regeneration. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 4, p. 615-623, 1999.

VASCONCELOS, H.L. Variação espaço-temporal na atividade forrageira da saúva (*Atta laevigata*). **Acta Amazonica**, v. 32, n. 1, p. 141-154, 2002.

VASCONCELOS, H.L.; CHERRETT, J.M. Changes in leaf-cutting ant populations (Formicidae: Attini) after the clearing of mature forest in Brazilian Amazonia. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 30, p. 107-113, 1995.

VASCONCELOS, H.L.; CHERRETT, J.M. Leaf-cutting ants and early forest regeneration in central Amazonia: effects of herbivory on tree seedling establishment. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 3, p. 357-370, 1997.

VASCONCELOS, H.L.; FOWLER, H.G. Foraging and fungal substrate selection by leaf-cutting ants. p. 411–419. In: VANDER MEER, R.K.; JAFFE, K.; CEDENO, A. (Eds.). **Applied myrmecology – a world perspective**. Boulder: Westview Press, 1990.

VASCONCELOS, H.L.; VIEIRA-NETO, E.H.M.; MUNDIM, F.M.; BRUNA, E.M. Roads alter the colonization dynamics of a keystone herbivore in neotropical savannas. **Biotropica**, v. 38, n. 5, p. 661–665, 2006.

WIRTH, R.; MEYER, S.T.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. Plant herbivore interactions at the forest edge. **Progress in Botany**, v. 69, p. 423-448, 2008.

WIRTH, R.; BEYSCHLAG, W.; HERZ, H.; RYEL, R.J.; HÖLLDOBLER, B. **The herbivory of leaf-cutting ants: a case study on *Atta colombica* in the tropical rainforest of Panama.** Ecological Studies. v. 164. Berlin: Springer-Verlag, 2003.

WIRTH, R.; MEYER, S.T.; ALMEIDA, W.R.; ARAÚJO JR., M.V.; BARBOSA, V.S.; LEAL, I.R. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* sp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, p. 501–505, 2007.

WRIGHT, S.J.; STONER, K.E.; BECKMAN, N.; CORLETT, R.T.; DIRZO, R.; MULLER-LANDAU, H.C.; NUNEZ-ITURRI, G.; PERES, C.A.; WANG, B.C. The plight of large animals in tropical forests and the consequences for plant regeneration. **Biotropica**, v. 39, n. 3, p. 289–291, 2007.

ZAKIA, M.J.; PINTO, J.F.G. **Guia para aplicação da nova lei em propriedades rurais**. Piracicaba: Imaflora, 2013.

ZANETTI, R. Amostragem e determinação do nível de dano econômico de formigas-cortadeiras em florestas cultivadas. p. 373-399. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J.C.; SANTOS, J.C.; SILVA, W.L.P.; RIBEIRO, G.T.; LEMES, P.G. An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. **Forests**, v. 5, p. 439-454, 2014.

ZIMMERMAN, J.K.; PASCARELLA, J.B.; AIDE, T.M. Barriers to forest regeneration in an abandoned pasture in Puerto Rico. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 4, p. 350-360, 2000.

Artigo a ser submetido à revista *Biotropica*

Garcia e Torezan

IMPACTOS DAS FORMIGAS CORTADEIRAS EM REFLORESTAMENTOS

**IMPACTOS DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE JUVENIS DE ESPÉCIES  
ARBÓREAS EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Jéssica Magon Garcia<sup>1,3</sup>; José Marcelo Domingues Torezan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas, Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid-Pr 445 Km 380, s/n, Campus Universitário, 86057-970, Londrina, Paraná, Brasil.

<sup>2</sup> Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas, Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid-Pr 445 Km 380, s/n, Campus Universitário, 86057-970, Londrina, Paraná, Brasil.

<sup>3</sup> Autor para correspondência: jesinhamagon@gmail.com

Recebido\_\_\_\_\_; Revisado e Aceito\_\_\_\_\_.

**RESUMO**

As formigas cortadeiras são herbívoros generalistas, dominantes no continente americano e causadores de grande taxa de forrageio. Essa atividade de forrageamento pode causar impactos negativos ou positivos de acordo com a densidade de ninhos ou intensidade de forrageio. Entretanto, permanece obscuro os impactos desse forrageamento em diversos ambientes, para a maioria das espécies de plantas e formigas, e se age como filtro ecológico para a dinâmica da vegetação. Para tanto, avaliou-se os impactos da herbivoria por formigas cortadeiras sobre o recrutamento de espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual, do Bioma Mata Atlântica, em áreas de restauração florestal. Foram selecionadas três áreas localizadas no trecho paranaense do Reservatório de Capivara, no rio Paranapanema, com largura, idade e densidade de formigueiros similares. Em tais áreas foram transplantadas mudas de cinco espécies intolerantes à sombra e cinco tolerantes, sendo avaliado: a porcentagem de dano foliar, presença/ausência e número de ataques, número de folhas, altura, taxa de sobrevivência e características foliares estruturais e químicas (área foliar específica, polifenóis, flavonóides, taninos condensados, nitrogênio). As espécies intolerantes à sombra apresentaram taxa de herbivoria por formigas cortadeiras similares às tolerantes, sendo a relação custo (área foliar específica e taninos condensados) e benefício (nitrogênio), que determina a qualidade do tecido vegetal, um dos principais fatores para forrageamento entre as espécies avaliadas. Dentre as espécies preferidas para o forrageamento, algumas, de acordo com a intensidade de herbivoria e frequência de ataques, sofreram influência negativa sobre o crescimento e sobrevivência, portanto, apresentando menor tolerância à herbivoria. E, dentre as espécies menos procuradas pelas formigas, algumas espécies apresentaram resistência à herbivoria, não sofrendo influência sobre o desempenho. A alta densidade de ninhos presente nos três reflorestamentos estudados pode ser um fator que, aliado a outros fatores bióticos e/ou abióticos, podem afetar o sucesso da restauração florestal, por prejudicar o estabelecimento e aumentar a mortalidade das plantas

após sucessivos ataques. Estes resultados sugerem que a herbivoria por formigas cortadeiras aja como um importante filtro ecológico, afetando a trajetória natural da restauração.

**Palavras-chave:** *Atta sexdens*; filtros ecológicos; Floresta Estacional Semidecidual; herbivoria; interações planta-inseto; Mata Atlântica.

## **ABSTRACT**

Leaf-cutting ants are generalist herbivores, dominant in the Americas and causing great rate of foraging. This foraging activity can have negative or positive impacts according to the density of nests or intensity of foraging. However, it remains unclear the impact this foraging in different environments, for most species of plants and ants, and acts as ecological filter for the vegetation dynamics. To this end, it had as objective to evaluate the impacts of herbivory by leaf-cutting ants on the recruitment of native tree species of the Seasonal Semideciduous Forest, Atlantic Forest Biome, in forest restoration areas. Three areas were selected with width, age and nest density of similar. They are located in the stretch of the Capivara Reservoir, on Paranapanema River, in Parana state. In such areas were transplanted seedlings of five species intolerant to shade and five tolerant to shade, being evaluated: the percentage of leaf damage, presence/absence and number of attacks, number of leaves, height, survival rate and structural and chemical leaf characteristics (area specific leaf, polyphenols, flavonoids, tannins, nitrogen). Intolerant species in the shade showed herbivory rate by leaf-cutting ants similar to the tolerant to shade, being the cost (specific leaf area and condensed tannins) and benefit (nitrogen), which determines the quality of plant tissue, a major factor for foraging between species evaluated. Among the preferred species for foraging, some of them, according to the intensity of herbivory and frequency of attacks, suffered negative influence on the growth and survival, thus showing less tolerance to herbivory. Among the species less sought after by

ants, some species showed resistance to herbivory, not influenced on performance. The high density of nests present in the three reforestation areas may be a factor that, together with other biotic and/or abiotic factors, may affect the success of forest restoration in these places, by affecting the establishment and increase plant mortality after successive attacks. These results suggest that herbivory by cutting ants act as an important ecological filter, affecting the natural trajectory of the restoration.

**Key words:** Atlantic Forest; *Atta sexdens*; ecological filters; herbivory; plant-insect interactions; Seasonal Semideciduous Forest.

DENTRE OS DIVERSOS EFEITOS QUE A FRAGMENTAÇÃO DE HABITAT CAUSA E A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA TENTA REINTEGRAR, DESTACAM-SE AS ALTERAÇÕES NO FUNCIONAMENTO DO ECOSISTEMA COM CONSEQUENTES MODIFICAÇÕES NAS INTERAÇÕES DAS ESPÉCIES, COMO RELATADO ENTRE AS FORMIGAS CORTADEIRAS E ESPÉCIES PIONEIRAS (Rao *et al.* 2001, Urbas *et al.* 2007, Wirth *et al.* 2007, Silva *et al.* 2009, Dohm *et al.* 2011). Isso ocorre por meio das alterações físicas e biológicas promoverem maior regeneração de espécies pioneiras (Tabarelli *et al.* 2010). Como estas são o recurso alimentar favorito das formigas cortadeiras (Farji-Brener 2001), ocorre um aumento na densidade de ninhos desses invertebrados nessas áreas. Essa alta densidade também está relacionada à diminuição dos inimigos naturais, devido ao efeito do isolamento entre os fragmentos florestais e da baixa permeabilidade do habitat matriz para estes (Terborgh *et al.* 2001, Almeida *et al.* 2008, Wirth *et al.* 2008). Deste modo, nesses ecossistemas, as formigas-cortadeiras tem áreas de forrageamento menores e taxas de herbivoria maiores (Urbas *et al.* 2007). Com mais alimento e menos inimigos naturais, há uma explosão populacional e o papel ecológico dessas formigas nas paisagens antropizadas se torna ainda mais relevante.

Em áreas de restauração florestal com espécies nativas somente Ferreira (2015) deu início aos estudos sobre os impactos causados pelas formigas cortadeiras. Os resultados demonstraram que as formigas cortadeiras predaram de maneira diferenciada as espécies, ocasionando mortalidade diferenciada e em ritmos distintos entre as mesmas, resultando em perda progressiva de diversidade ao longo do tempo. Entretanto, é necessário realizar mais estudos visando classificar o maior número de espécies arbóreas nativas em relação à sua resistência ou tolerância aos ataques pelas formigas cortadeiras e identificar padrões de resposta entre as espécies, que serão úteis para subsidiar as iniciativas de restauração e conservação. Bem como, a identificação dos filtros ecológicos, que impedem ou dificultam a regeneração natural da vegetação e diminuem a resiliência do ecossistema, é um aspecto chave para o sucesso da restauração ecológica (Hobbs & Norton 2004). Para tanto, são necessárias avaliações das áreas restauradas para identificar os possíveis filtros ecológicos.

As formigas cortadeiras englobam vários gêneros nativos do continente americano, sendo os principais *Atta* (saúvas) e *Acromyrmex* (quenquéns), pertencentes à ordem Hymenoptera, família Formicidae, subfamília Myrmicinae e tribo Attini. Estas, possuem o hábito de cultivar dentro do ninho um jardim de fungos dos quais se alimentam, fornecendo material vegetal fresco que cortam da vegetação presente em sua área de forrageamento (Holldobler & Wilson 2011). Por conta dessa característica e da estrutura de seus ninhos e trilhas de forrageamento, tanto para criá-los, mantê-los e expandi-los, as formigas cortadeiras são consideradas “engenheiras de ecossistemas” (Wirth *et al.* 2003, Corrêa *et al.* 2010, Meyer *et al.* 2011a, Meyer *et al.* 2013, Farji-Brener & Werenkraut 2014).

Essa engenharia é composta por efeitos diretos (herbivoria e dispersão de sementes) e indiretos (alterações nos atributos do solo e no regime de luz) (Leal *et al.* 2012, Leal *et al.* 2014), que são contexto-dependentes (Urbas *et al.* 2007), variam de espécie para espécie, tanto das formigas (Vasconcelos 1990) quanto das plantas (Mundim *et al.* 2012), e podem

resultar em influências positivas (Moutinho *et al.* 2003) e/ou negativas (Corrêa *et al.* 2010), que variam no tempo e no espaço (Vasconcelos 1999, Vasconcelos 2002, Wirth *et al.* 2003) e em intensidade (Vasconcelos & Cherrett 1997, Costa *et al.* 2008, Mundim *et al.* 2012).

Dentre esses efeitos, destaca-se a herbivoria que as caracterizam como herbívoros dominantes nos ambientes onde ocorrem e generalistas por serem capazes de coletar mais de 50% das espécies de plantas presentes em sua área de forrageamento (Wirth *et al.* 2003), consumindo até 900 kg de biomassa vegetal seca ao ano por ninho (Herz *et al.* 2007). Contudo, suas preferências alimentares são espécies arbóreas (Cherrett 1968, Wirth *et al.* 2003, Falcão *et al.* 2011), pioneiras (Farji-Brener 2001), sendo as folhas o item mais coletado (Cherrett 1968, Wirth *et al.* 2003, Falcão *et al.* 2011), principalmente, as folhas jovens (Nichol-Orians 1991) e com menor conteúdo de água (Ribeiro Neto *et al.* 2012). Essa preferência é regulada entre baixa quantidade de defesas químicas, especialmente os metabólitos secundários, e físicas (Howard 1988) e alto conteúdo nutricional (Quinlan & Cherrett 1979), que regula não diretamente as formigas cortadeiras, mas sim o cultivo dos jardins de fungos.

A herbivoria ocorre por meio da predação, morte do indivíduo após a herbivoria, ou parasitismo, consumo de parte do tecido vegetal sem ocasionar a morte do indivíduo, das plantas (Del-Claro 2012). Esta, pode influenciar o sucesso de estabelecimento e crescimento de plantas em sua área de forrageamento, desde plantas individuais, em todas as suas fases do ciclo de vida (Vasconcelos & Cherrett 1997, Mundim *et al.* 2012), até o nível de ecossistema (Wirth *et al.* 2007). Assim, podendo alterar a composição de espécies, estrutura e dinâmica das comunidades vegetais nessas áreas, por modificar o recrutamento das espécies vegetais (Wirth *et al.* 2003), e atuar como possível filtro ecológico.

As plantas, diante ação dos herbívoros, desenvolveram características que reduzem os impactos da herbivoria e que varia entre as espécies vegetais (Coley *et al.* 1985). Essas

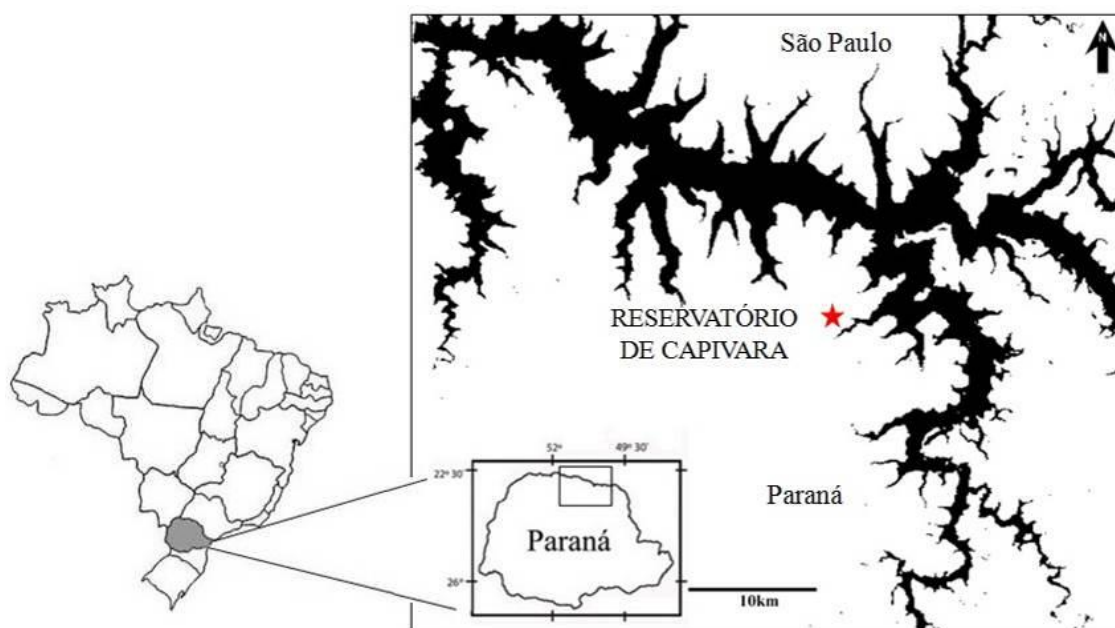
características englobam desde a capacidade dos herbívoros de encontrar as plantas, uma vez encontrada, até as características que influenciam o nível que será o ataque e as que minimizam os efeitos permanentes da perda de tecido vegetal (Marquis 2012, Trigo *et al.* 2012).

A atividade de forrageamento das formigas cortadeiras é complexa e coordenada por múltiplos fatores (Ribeiro & Marinho 2011), sendo necessários mais estudos acerca da capacidade de seleção do material cortado e, da modulação comportamental de acordo com o ambiente e os recursos disponíveis na área de forrageamento. Como também, são necessários mais estudos para investigar se essa atividade de forrageamento das formigas cortadeiras atua como possível filtro ecológico sobre a dinâmica sucessional das comunidades de plantas e, conseqüentemente, sobre a regeneração natural da vegetação. Para isso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da herbivoria por formigas cortadeiras sobre o recrutamento de espécies nativas (intolerantes e tolerantes a sombra) da Floresta Estacional Semidecidual, do Bioma Mata Atlântica, em áreas de restauração florestal. E, as seguintes hipóteses: (1) as espécies intolerantes à sombra têm maior taxa de herbivoria por formigas cortadeiras do que as tolerantes à sombra; (2) as espécies com maior taxa de herbivoria por formigas cortadeiras apresentam balanço foliar e crescimento em altura negativos e menor taxa de sobrevivência; e (3) as espécies com menor investimento em defesas foliares estruturais e químicas e maior conteúdo de nitrogênio apresentam maior taxa de herbivoria por formigas cortadeiras.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

**ÁREAS DE ESTUDO-** Foram selecionadas três áreas de reflorestamento em áreas de preservação permanente (APPs) localizadas no município de Primeiro de Maio, norte do Estado do

Paraná, Brasil. Esses reflorestamentos encontram-se nas margens do lado paranaense do Reservatório de Capivara, no curso médio do rio Paranapanema, que fica na divisa entre os estados do Paraná e São Paulo (Fig. 1).



**Figura 1-** Mapa do Reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara. A estrela vermelha indica a cidade de Primeiro de Maio, Estado do Paraná, Brasil, onde estão localizados os reflorestamentos estudados. Fonte: Pereira (2012) - adaptado.

Foram selecionados reflorestamentos com idade e largura similares, e maior densidade de ninhos da espécie *Atta sexdens rubropilosa* (saúva-limão) (Tabela 1).

**Tabela 1-** Área, idade, largura, densidade de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* e coordenadas geográficas dos reflorestamentos estudados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, município de Primeiro de Maio, Paraná, Brasil.

Reflorestamento	Área (ha)	Idade (anos)	Largura (m)	Densidade de ninhos (ha) <sup>a</sup>	Coordenadas geográficas
1	30	12	40-100	5,5 ninhos/ha	S 22°46'41,1" O 51°08'27,1"
2	7,16	10	60-100	12 ninhos/ha	S 22°48'27,8" O 51°05'32,3"
3	12,05	9	80-100	9 ninhos/ha	S 22°54'18,6" O 50°56'33,5"

<sup>a</sup> Metodologia adaptada de Jaffe e Vilela (1989) para avaliar a densidade de ninhos.

De acordo com Caviglioni *et al.* (2000), a região encontra-se sob clima subtropical, tipo Cfa, segundo classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 22°C e 23°C, sendo a temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. A precipitação média anual varia entre 1200 a 1600 mm, a umidade relativa do ar entre 65 e 70% e a evapotranspiração potencial é superior a 1200 mm (Caviglioni *et al.* 2000). Os solos da região são classificados como latossolo vermelho eutroférico, destacando-se por ser de grande fertilidade natural (Stipp 2002, Bhering *et al.* 2007).

A vegetação está inserida no bioma Mata Atlântica e na região fitoecológica da Floresta Estacional Semidecidual (Ibge, 2012), a qual havia, originalmente, nas áreas de estudo, porém foi convertida em áreas de agricultura para monoculturas de milho, soja e trigo. Visando cumprir com a legislação ambiental, faixas marginais do Reservatório foram destinadas a reflorestamento com espécies nativas, realizado pelo Consórcio Intermunicipal da Bacia Capivara em conjunto com a empresa Duke Energy Brasil, e com acompanhamento técnico do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas (LABRE), da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Os reflorestamentos foram realizados por meio de plantio de, em média, 45 espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual (FES), de acordo com o modelo proposto por Cavalheiro *et al.* (2002), que consiste em utilizar uma grande proporção de espécies pioneiras e secundárias iniciais, para o rápido controle das gramíneas exóticas invasoras por meio do sombreamento. Os procedimentos técnicos empregados consistiram em: preparação mecanizada do terreno, plantio manual com espaçamento de 2 x 3 m,

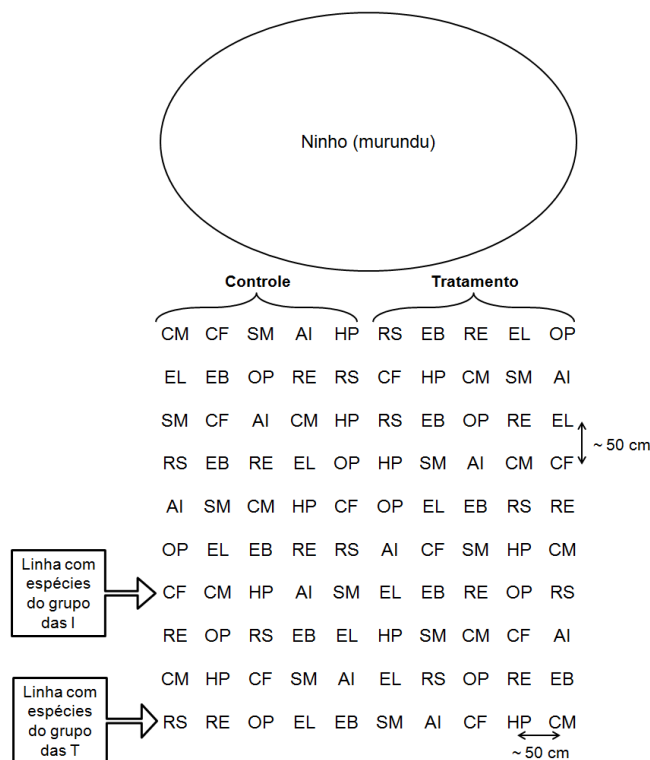
irrigação diretamente nas covas nas primeiras semanas (quando necessário), ausência de adubação, controle da cobertura de herbáceas por meio do coroamento manual das mudas e roçadas mecanizadas nas entrelinhas dos plantios, e controle químico das formigas cortadeiras por meio do uso de iscas granuladas. As atividades de manutenção foram realizadas até 24 meses após o plantio, quando as copas dos indivíduos plantados passaram a fechar as entrelinhas.

COLETA DE DADOS: EXPERIMENTO DE TRANSPLANTE DE MUDAS- Para avaliação da herbivoria pelas formigas cortadeiras sobre as espécies arbóreas nativas da FES foram transplantadas mudas em fase inicial de desenvolvimento, com cerca de 20 a 30 cm de altura, para as áreas de estudo. Este estágio é um dos períodos mais vulneráveis durante a vida de uma planta, e fatores de mortalidade durante esta fase terão contribuições importantes para a estrutura das assembléias de árvores de florestas tropicais (Meyer *et al.* 2011b).

As mudas foram produzidas pelo viveiro do LABRE - UEL, padronizando-se o tamanho da embalagem, substrato, irrigação e adubação.

Foram selecionadas dez espécies (Apêndice A), sendo cinco intolerantes à sombra: *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke (Lamiaceae); *Croton floribundus* Spreng. (Euphorbiaceae); *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae); *Heliocarpus popayanensis* Kunth (Malvaceae) e *Senna multijuga* (Rich.) H.S.Irwin & Barneby (Fabaceae). E cinco tolerantes à sombra: *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae); *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae); *Ocotea puberula* (Rich.) Ness (Lauraceae); *Rhamnidium elaeocarpum* Reissek (Rhamnaceae) e *Rauvolfia sellowii* Mull. Arg. (Apocynaceae). As intolerantes à sombra são espécies presentes nos reflorestamentos analisados, e as tolerantes incluem espécies presentes nos fragmentos florestais próximos aos reflorestamentos, conforme Ferracin (2007).

Foram transplantadas 1500 mudas, sendo 500 em cada área de reflorestamento, e estas divididas em cinco blocos com 100 mudas cada. Dessas 100 mudas em cada bloco, 50 pertenceram ao controle (proteção quanto ao acesso pelas formigas cortadeiras) e 50 ao tratamento (livre ao acesso pelas formigas cortadeiras). Os indivíduos pertencentes ao controle foram envolvidos por mangueiras de silicone transparente, de cerca de cinco centímetros, embebidas por uma resina chamada *tanglefoot*. O controle foi alocado de um lado do bloco e o tratamento do outro lado, cada um continha dez linhas com cinco mudas, e cada linha possuía mudas do mesmo grupo quanto à tolerância à sombra, sendo estas ordenadas aleatoriamente dentre de cada linha, com uma distância de cerca de 50 cm entre cada uma. Os blocos foram alocados adjacentes à murundus de ninhos distintos (Fig. 2).



**Figura 2-** Esquema da disposição das mudas por bloco. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*; I: intolerantes à sombra; T: tolerantes à sombra.

O experimento durou aproximadamente seis meses, sendo monitorado quinzenalmente nos três primeiros meses (censos de 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias a partir do transplante), e mensalmente nos três últimos meses (censos de 120, 150 e 180 dias a partir do transplante), totalizando nove censos (Apêndice B).

Durante o período de monitoramento, foram coletados dados de precipitação, temperatura média do ar e porcentagem de umidade do solo, dos três reflorestamentos selecionados (Apêndice C). Dados diários de precipitação e temperatura média do ar foram disponibilizados pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) – Estação Agrometeorológica de Bela Vista do Paraíso – PR. E dados mensais de umidade do solo foram coletados por meio de um sensor portátil (Spectrum Fieldscout TDR-300), consistindo de três repetições aleatórias em cada bloco de cada área.

Em cada censo, e para cada muda foram registrados: número de folhas; porcentagem visual de dano em cada folha; altura com o auxílio de uma fita métrica (da base da muda até a gema apical do ramo principal); e, caso constatada, contabilizada a mortalidade.

Os danos foliares foram classificados de acordo com as seguintes categorias: herbivoria por formiga cortadeira; herbivoria por outros herbívoros; e outro tipo de dano (infecção por fungos, estresse hídrico, e outros). No caso da herbivoria por formigas cortadeiras, quando ocorreu, foi considerada como um ataque. Este engloba qualquer porcentagem de perda de tecido foliar realizada pelas formigas cortadeiras, sabendo que realizam um corte em formato semilunar facilmente distinguido dos outros sinais de herbivoria, e corte da gema apical ou da base do caule da muda, que são realizados paralelos ao eixo da planta e também são facilmente distinguidos dos demais cortes por outros organismos (Barrer & Cherrett 1972). Tais observações, em cada censo, para cada indivíduo, foram consideradas como um ataque, sendo necessário o indivíduo emitir novas folhas (quando totalmente herbivorado no ataque anterior) ou aumentar a intensidade de herbivoria

do ataque anterior, para que fosse registrado um novo ataque a este indivíduo já previamente atacado.

Para quantificar os ataques, foi adotada a metodologia empregada por Dirzo e Dominguez (1995), em que cada folha foi classificada quanto ao grau de dano pelas formigas cortadeiras em uma das seguintes seis classes: 0 (folhas não danificadas), 1 (1 – 6% da superfície foliar danificada), 2 (7 – 12%), 3 (13 – 25%), 4 (26 – 50%) e 5 (51 – 100%) (Apêndices D à M). Posteriormente, foi calculado o índice de herbivoria utilizando a seguinte fórmula:  $IH = \sum (n_i x_i) / N$ . Onde,  $IH$ : índice de herbivoria;  $n_i$ : número de folhas da classe;  $x_i$ : valor da categoria de danos;  $N$ : número total de folhas do indivíduo.

No caso dos ataques por desfolha completa ou corte na base do caule das mudas, foi utilizado o número de folhas que a muda continha no censo anterior, sendo todas enquadradas na categoria 5, ou seja, 100% herbivoradas por formigas cortadeiras.

Com relação a mortalidade, foi classificada em oriunda por herbivoria de formiga cortadeira, de outros herbívoros, outro tipo de causa, ou mista (mais de um tipo de causa no mesmo indivíduo morto). Na causa pelas formigas cortadeiras, foi avaliada também a quantia de ataques que o indivíduo apresentou até à morte.

COLETA DE DADOS: ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FOLIARES- O comportamento de forrageamento das formigas cortadeiras depende da distância com relação às trilhas de forrageamento (Vasconcelos 1990, Wirth *et al.* 2003, Silva *et al.* 2013), da abundância (Cherrett 1968, Rockwood & Hubbell 1987, Vasconcelos 2002) e qualidade dos recursos (Hubbell *et al.* 1984, Howard 1987, Howard 1988, Farji-Brener 2001). No presente estudo, a distância foi minimizada devido ao bloco ser alocado adjacente ao murundu e, a quantidade de mudas foi padronizada para todas as espécies. A variação na qualidade das folhas como substrato para as formigas foi avaliada por meio da determinação da área foliar específica

(AFE) como defesa estrutural, das concentrações de polifenóis totais, de taninos condensados e de flavonóides como defesas químicas, e da concentração de nitrogênio total como valor nutricional.

Para a AFE foi seguida a metodologia de Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013), na qual  $AFE = \text{área foliar total (cm}^2) / \text{massa foliar seca (g)}$ . Foram avaliadas dez folhas, cada folha de um indivíduo distinto, de cada espécie, sem os pecíolos, as compostas com as ráquis (*S. multijuga*), e coletadas das próprias mudas do experimento (ambiente parcialmente sombreado). Para quantificar as concentrações de polifenóis totais, flavonóides, taninos condensados e nitrogênio total, foram coletadas folhas de indivíduos adultos situados nos próprios reflorestamentos ou em suas imediações, dando prioridade para folhas sem qualquer tipo de dano (herbivoria, infecção por fungo, estresse hídrico, etc.). O transporte e armazenamento das folhas foram feitos em sacos de papel. A quantificação dos taninos condensados foi realizada pelo método de Stiasny (Guangcheng *et al.* 1991), a dos polifenóis totais pela curva padrão do ácido gálico (Lowry *et al.* 1951), a dos flavonóides pela curva padrão da quercetina (Rani *et al.* 2012) e a do nitrogênio total, após digestão sulfúrica, pelo método de Kjeldahl (Embrapa 1997) (Anexos A, B, C e D, respectivamente).

ANÁLISE DOS DADOS- Em todas as análises estatísticas realizadas, as variáveis foram submetidas ao teste de Levene, para testar a homogeneidade das variâncias e, ao teste de Shapiro-Wilk, para testar a normalidade dos dados. Os dados em porcentagem foram transformados em arco seno da raiz quadrada da proporção, e os resultados foram considerados significativos quando  $\alpha < 0,05$ .

ÍNDICE DE HERBIVORIA (IH-LCA: índice de herbivoria por formigas cortadeiras; IH-OH: índice de herbivoria por outros tipos de herbívoros)

Com dados dos indivíduos do tratamento ( $n= 750$ ) foram produzidos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) (Zuur *et al.* 2009), usando o pacote lme4 (Bates *et al.* 2014), calculados pelo método da máxima verossimilhança (“log-likelihood”), adotando a distribuição Gamma, com função de ligação “log”, no programa R (R Core Team 2014), e tendo as seguintes variáveis: resposta (IH-LCA), fixas (grupo quanto à tolerância à sombra, espécies, tempo) e aleatórias (áreas, blocos, indivíduos). A inclusão das três variáveis aleatórias foi feita em função de diferenças expressivas entre os IH-LCA dos três reflorestamentos e ao longo dos nove censos realizados durante o experimento, e de possíveis variações intra-específicas. A variação espacial possivelmente ocorreu devido aos reflorestamentos apresentarem diferentes densidades de ninhos de formigas cortadeiras (Tabela 1) e, conseqüentemente, diferentes intensidades de herbivoria por esses invertebrados. Já a variação temporal ocorreu possivelmente devido as variações na precipitação e na temperatura (Apêndice C).

Da mesma forma, apenas com os indivíduos do tratamento ( $n= 750$ ) foi realizada uma comparação do IH-LCA (média dos nove censos realizados para cada indivíduo) entre as dez espécies analisadas ( $n= 75$ , para cada espécie), a partir do teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn (Zar 1999), por meio do programa Bioestat 5.0 (Ayres *et al.* 2007).

As diferenças no IH-OH foram comparadas entre os grupos de espécies (tolerantes e intolerantes à sombra) por meio do teste de Mann-Whitney (Zar 1999) e, entre as espécies pelo teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn, no programa Bioestat 5.0. Para cada indivíduo foi feito a média do IH-OH dos nove censos realizados.

#### ATAQUES

O teste de Mann-Whitney foi usado para comparar o número de indivíduos com pelo menos um ataque pelas formigas cortadeiras entre os indivíduos do grupo das espécies intolerantes à

sombra (n= 375) e o das tolerantes à sombra (n= 375). E, com os 75 indivíduos para cada espécie presente no tratamento, foi comparado o valor mediano de ataques pelas formigas cortadeiras que as espécies tiveram durante os seis meses de experimento, a partir do teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn.

#### NÚMERO DE FOLHAS

Para cada uma das dez espécies analisadas foi comparado o balanço foliar ( $BF = n^{\circ} \text{ folhas finais} - n^{\circ} \text{ folhas iniciais} / n^{\circ} \text{ folhas iniciais}$ ) dos indivíduos presentes no tratamento (n= 75, para cada espécie) com os do controle (n= 75, para cada espécie), a partir do teste de Mann-Whitney. Posteriormente, por meio do coeficiente de correlação de Spearman (Zar 1999), foi correlacionado o IH-LCA com o BF, considerando-se apenas os indivíduos do tratamento que tiveram pelo menos um ataque pelas formigas cortadeiras, usando o programa Bioestat 5.0.

#### ALTURA

A altura foi analisada de acordo com a fórmula de crescimento de Hunt (1982), que sugeriu a taxa de crescimento relativa ( $TCR = \ln(\text{altura final}) - \ln(\text{altura inicial}) / \text{tempo em dias}$ ). Para as dez espécies analisadas, foi comparada a TCR dos indivíduos presentes no tratamento (n= 75, para cada espécie) com os do controle (n= 75, para cada espécie), a partir do teste de Mann-Whitney. Posteriormente, por meio do coeficiente de correlação de Spearman, foi correlacionado o IH-LCA com a TCR, considerando-se apenas os indivíduos dos tratamento que tiveram pelo menos um ataque pelas formigas cortadeiras.

#### SOBREVIVÊNCIA

Foi comparada a proporção de indivíduos mortos com e sem ataque, entre os indivíduos do tratamento pertencentes ao grupo das espécies intolerantes à sombra (n= 375) e o das

tolerantes à sombra (n= 375), a partir do teste do qui-quadrado (Zar 1999), pelo programa R (R Core Team 2014).

Dentre as dez espécies, duas não apresentaram indivíduos atacados e mortos até o final do experimento, sendo retiradas das análises subsequentes. Para as oito espécies restantes, analisando somente os indivíduos do tratamento (n= 75, para cada espécie), foi comparada a proporção de indivíduos mortos com e sem ataque, pelo teste exato de Fisher (Zar 1999), usando o programa R (R Core Team 2014). Posteriormente, foi realizada análise de sobrevivência de Log-Rank Test não censurado (D. Collett) (Ayres *et al.* 2007), ao longo dos seis meses de experimento, entre os indivíduos do tratamento com ataque versus os sem ataque, pelo programa Bioestat 5.0. Também foram feitos histogramas de frequências absolutas do número de ataques que levaram à morte os indivíduos das oito espécies reunidas, dos grupos das intolerantes e tolerantes à sombra, e para cada espécie.

#### CARACTERÍSTICAS FOLIARES: ESTRUTURAIS E QUÍMICAS

Foi calculada uma matriz de correlação utilizando o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis polifenóis totais, flavonóides e taninos condensados (Apêndice N), devido aos flavonóides e taninos condensados fazerem parte do amplo grupo dos compostos secundários fenólicos (Trigo *et al.* 2012). *Aegiphila integrifolia* foi retirada das análises em função de ter apresentado intenso ataque de patógenos, especialmente de fungos, tanto nos indivíduos do experimento quanto nos indivíduos adultos encontrados para coleta de folhas. Isto pode ter interferido nas análises, por alterar as características foliares estruturais e químicas examinadas.

Dentre as nove espécies restantes, analisando somente os indivíduos do tratamento (n= 75, para cada espécie), foi correlacionada a média do IH-LCA com as respectivas médias das características foliares (AFE, nitrogênio total, polifenóis totais, flavonóides, taninos

condensados), por meio do coeficiente de correlação de Pearson (Zar 1999), usando o programa R (R Core Team 2014). A partir desses resultados, foi calculada uma regressão linear múltipla (Zar 1999) entre a média do IH-LCA (variável dependente) com as características foliares AFE, nitrogênio total e taninos condensados (variáveis independentes), usando o programa R (R Core Team 2014).

## RESULTADOS

### ÍNDICE DE HERVIVORIA

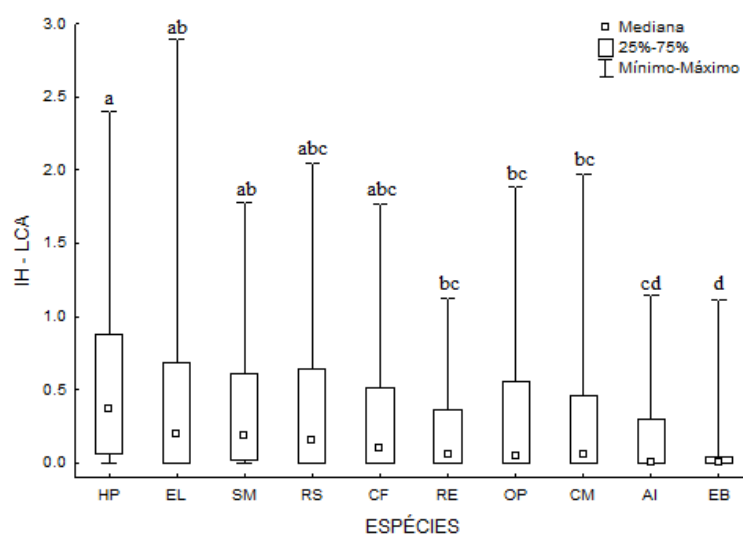
O modelo significativo encontrado para explicar a preferência para herbivoria pelas formigas cortadeiras foi o modelo englobando as espécies ao longo do tempo de experimento em campo ( $P < 2 \times 10^{-16}$ , Apêndice O). Já o modelo englobando os grupos quanto à tolerância à sombra (intolerantes e tolerantes) não foi significativo ( $P > 0,05$ , Apêndice P), portanto, a tolerância à sombra não explica significativamente a herbivoria por formigas cortadeiras (Tabela 2).

**Tabela 2-** *Resultados dos Modelos Lineares Gerais Mistos (GLMMs) que examinaram a influência dos grupos quanto à tolerância à sombra e das espécies, ao longo do tempo de experimento em campo, sobre o índice de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA). O experimento de transplante de mudas foi realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. DP: desvio padrão; EA: efeitos aleatórios; EF: efeitos fixos; GL: graus de liberdade; Log-Lik: log-likelihood; VR: variável resposta.*

Modelos	GL	Log-Lik	Desviância	$X^2$	DP	$P$
VR: IH-LCA						
EF: tolerância à sombra+espécies+tempo	22	-4659,3	9318,6	284,01	8	$> 0,05$
EA: áreas+blocos+indivíduos						
VR: IH-LCA						
EF: espécies+tempo	22	-4659,3	9318,6	0,01	0	$< 2 \times 10^{-16}$
EA: áreas+blocos+indivíduos						

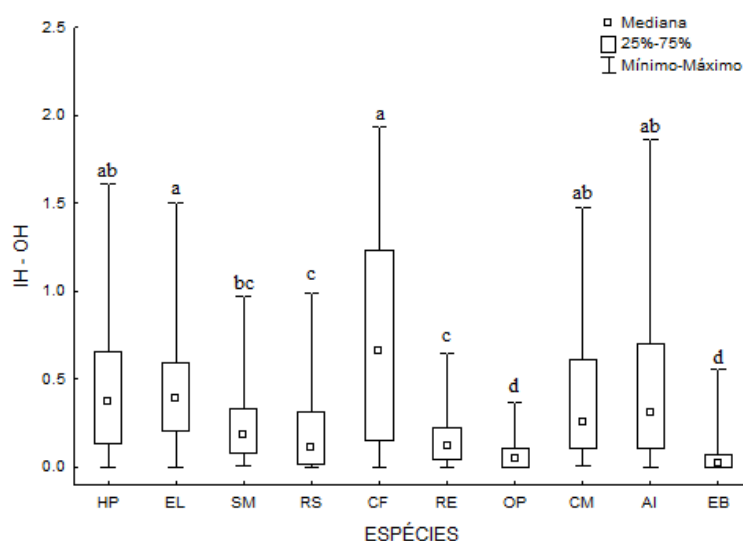
Em contrapartida, a taxa de herbivoria por outros tipos de herbívoros apresentou diferença significativa entre os grupos quanto à tolerância à sombra (Mann-Whitney,  $P < 2,2 \times 10^{-16}$ ), sendo que o grupo das espécies intolerantes à sombra apresentou maior taxa de herbivoria quando comparado ao das tolerantes.

Analisando as espécies quanto à taxa de herbivoria por formigas cortadeiras, formou-se um gradiente de herbivoria, destacando-se *H. popayanensis* como a espécie mais herbivorada, e *E. brasiliensis* como a espécie menos herbivorada (Fig. 3).



**Figura 3-** Índice de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA), dos nove censos realizados, para as dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Kruskal-Wallis ( $df = 9$ ;  $X^2 = 61,43$ ;  $P < 0,01$ ) seguido do teste de Dunn representado pelas letras minúsculas. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*.

Com relação à taxa de herbivoria por outros tipos de herbívoros, também, formou-se um gradiente de herbivoria, contudo, diferente do encontrado para a taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras. Destacaram-se *C. floribundus* como a espécie mais herbivorada, e *O. puberula* e *E. brasiliensis* como as espécies menos herbivoradas (Fig. 4).



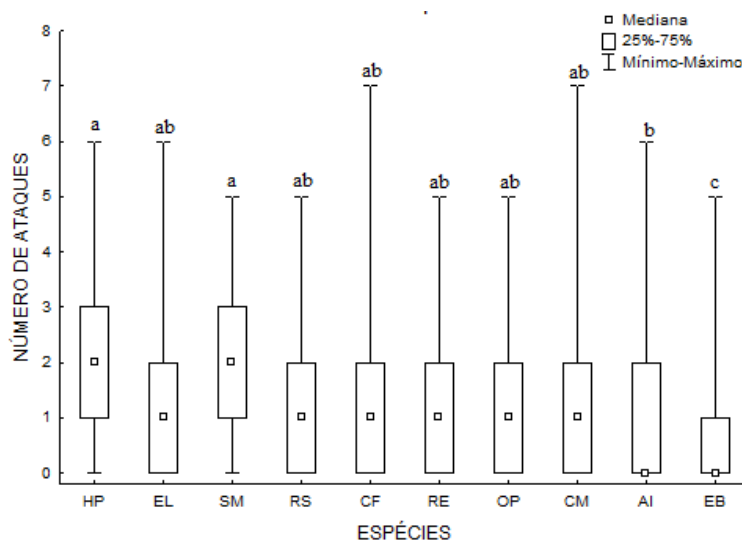
**Figura 4-** Índice de herbivoria por outros tipos de herbívoros (IH-OH), dos nove censos realizados, para as dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Kruskal-Wallis (df= 9;  $X^2= 246,76$ ;  $P < 0,05$ ) seguido do teste de Dunn representado pelas letras minúsculas. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*.

#### ATAQUES

Dos 1500 indivíduos transplantados no experimento, 755 indivíduos (50,3%) tiveram pelo menos um ataque por formigas cortadeiras, totalizando 1435 ataques, que variaram de um a sete ataques em um mesmo indivíduo.

Dentre os indivíduos do tratamento, 259 mudas (69,1%) pertencentes ao grupo das espécies intolerantes à sombra tiveram pelo menos um ataque, e 220 (58,7%) pertencentes ao grupo das espécies tolerantes à sombra tiveram pelo menos um ataque, não havendo diferença no valor mediano de indivíduos atacados entre esses dois grupos (Mann-Whitney,  $P= 0,19$ ), confirmando os resultados encontrados para a taxa de herbivoria por formigas cortadeiras, nos quais a tolerância à sombra não é uma variável explanatória significativa.

Dentre as dez espécies analisadas no experimento, todas tiveram pelo menos um indivíduo atacado por formigas cortadeiras, mas diferiram no valor mediano de ataques que cada espécie teve (Kruskal-Wallis,  $P < 0,05$ , seguido do teste de Dunn), destacando-se as espécies *H. popayanensis* e *S. multijuga* com maior frequência de ataques, e *A. integrifolia* e *E. brasiliensis*, com menor frequência de ataques (Fig. 5).



**Figura 5-** Número de ataques por formigas cortadeiras durante os seis meses de monitoramento, para dez espécies arbóreas utilizadas no experimento de transplante de mudas, em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Kruskal-Wallis (df= 9;  $X^2= 41,99$ ;  $P < 0,05$ ) seguido do teste de Dunn representado pelas letras minúsculas. AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*.

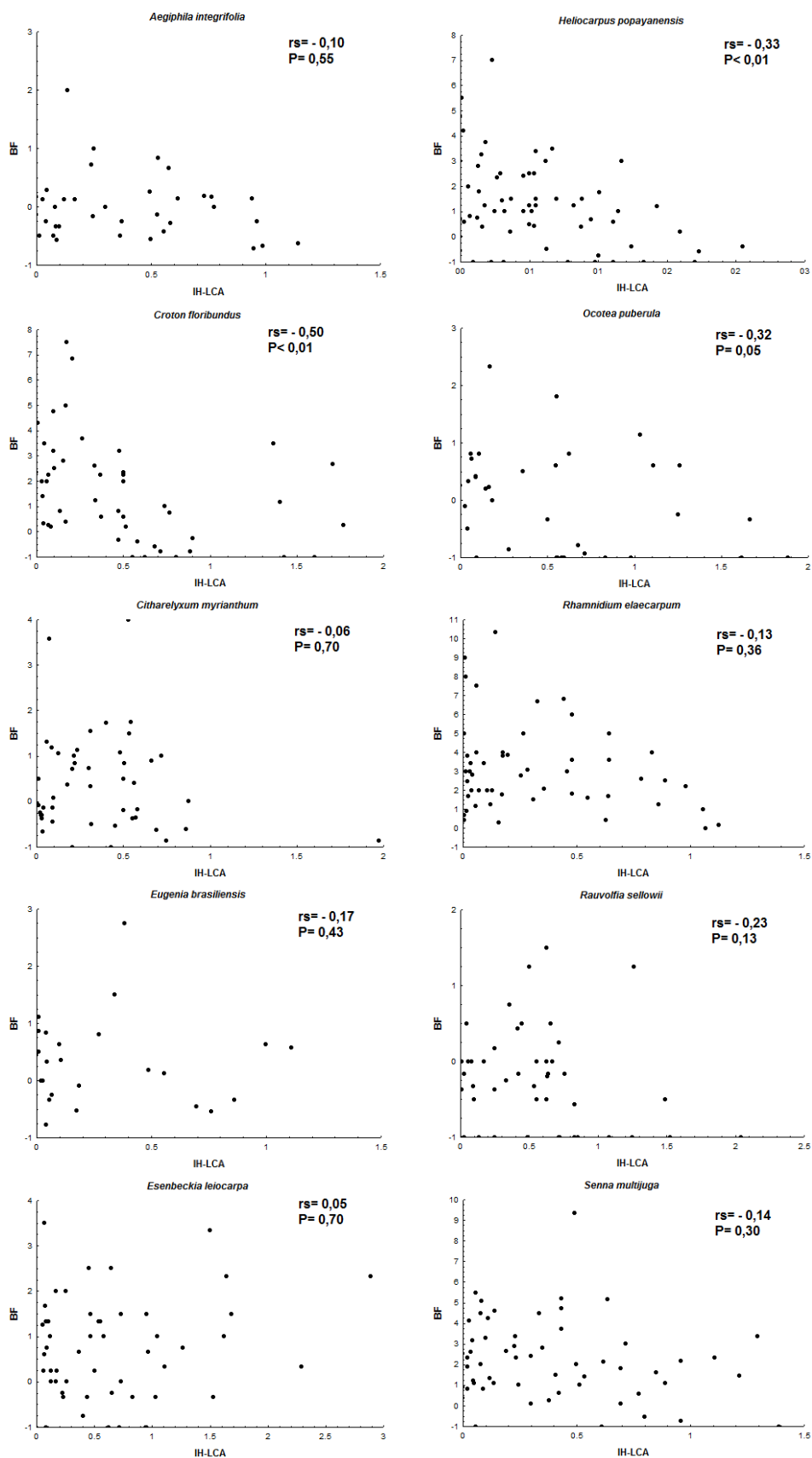
*Heliocarpus popayanensis* além de se enquadrar entre as espécies com maior frequência de ataques, também apresentou maior taxa de herbivoria por formigas cortadeiras. Já *E. brasiliensis* apresentou baixa frequência de ataques e baixa taxa de herbivoria por formigas cortadeiras.

Houve diferença significativa entre o BF dos indivíduos do controle e do tratamento para as espécies *H. popayanensis* e *R. sellowii* (Tabela 3). Analisando somente os indivíduos do tratamento que tiveram pelo menos um ataque por formigas cortadeiras, as espécies *C. floribundus* e *H. popayanensis* apresentaram BF negativo com o aumento do IH-LCA (Fig. 6), corroborando os dados obtidos para a taxa de herbivoria e para a frequência de ataques pelas formigas cortadeiras, já que tais espécies se enquadraram dentre aquelas com maiores valores medianos do índice de herbivoria e da frequência de ataques.

**Tabela 3-** Balanço foliar das dez espécies empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil.

Espécies	Controle <sup>a</sup>	Tratamento <sup>a</sup>	Mann-Whitney
<i>Aegiphila integrifolia</i>	-0,13 (-1,00; 1,50)	-0,14 (-1,00; 4,33)	<i>P</i> = 0,61
<i>Croton floribundus</i>	1,67 (-0,67; 6,33)	1,23 (-1,00; 11,33)	<i>P</i> = 0,52
<i>Citharelyxum myrianthum</i>	0,14 (-1,00; 1,86)	0,20 (-1,00; 4,00)	<i>P</i> = 0,67
<i>Eugenia brasiliensis</i>	0,21 (-1,00; 1,40)	0,15 (-0,88; 2,75)	<i>P</i> = 0,49
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	0,67 (-1,00; 3,50)	0,63 (-1,00; 4,00)	<i>P</i> = 0,44
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	2,00 (-1,00; 11,50)	1,00 (-1,00; 15,00)	<i>P</i> < 0,01
<i>Ocotea puberula</i>	0,00 (-1,00; 1,40)	-0,11 (-1,00; 2,33)	<i>P</i> = 0,84
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	1,91 (-0,33; 8,50)	2,50 (0,00; 10,33)	<i>P</i> = 0,25
<i>Rauvolfia sellowii</i>	0,00 (-1,00; 2,00)	-0,27 (-1,00; 1,50)	<i>P</i> = 0,02
<i>Senna multijuga</i>	1,68 (-0,78; 8,20)	2,17 (-1,00; 9,33)	<i>P</i> = 0,87

<sup>a</sup> mediana (valor mínimo; valor máximo)



**Figura 6-** Relação entre a taxa de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA) e o balanço foliar (BF) das dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. No detalhe,  $rs$ = coeficiente de correlação de Spearman.

## CRESCIMENTO EM ALTURA

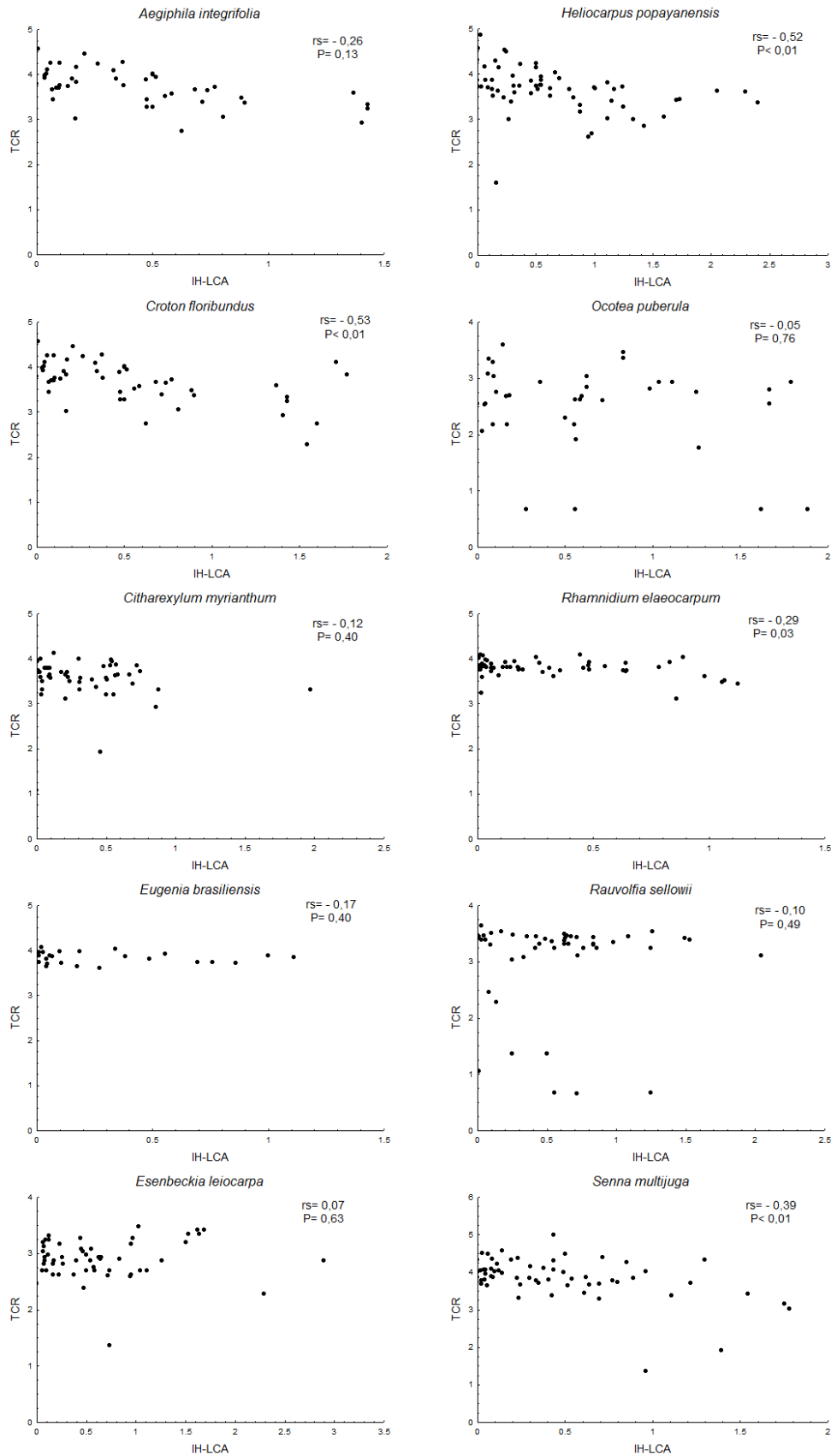
Houve diferença significativa entre a TCR em altura dos indivíduos do controle e do tratamento para as espécies *C. floribundus*, *H. popayanensis* e *R. sellowii* (Tabela 4).

Analisando somente os indivíduos do tratamento que tiveram pelo menos um ataque por formigas cortadeiras, as espécies *C. floribundus*, *H. popayanensis*, *R. elaeocarpum* e *S. multijuga* apresentaram decréscimo na TCR em altura com o aumento do IH-LCA (Fig. 7), corroborando os dados encontrados para a taxa de herbivoria e para a frequência de ataques pelas formigas cortadeiras, já que tais espécies se enquadraram dentre aquelas com maiores valores medianos do índice de herbivoria e da frequência de ataques, exceto *R. elaeocarpum*.

**Tabela 4-** Taxa de crescimento relativa em altura das dez espécies empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil.

Espécies	Controles <sup>a</sup>	Tratamentos <sup>a</sup>	Mann Whitney
<i>Aegiphila integrifolia</i>	3,24 (1,08; 3,89)	3,16 (0,67; 4,02)	$P= 0,16$
<i>Croton floribundus</i>	3,99 (2,38; 4,57)	3,83 (2,29; 4,61)	$P< 0,01$
<i>Citharelyxum myrianthum</i>	3,74 (2,28; 4,27)	3,67 (1,08; 4,15)	$P= 0,22$
<i>Eugenia brasiliensis</i>	3,85 (3,45; 4,21)	3,85 (2,28; 4,10)	$P= 0,34$
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	3,03 (2,38; 3,45)	2,90 (1,36; 3,48)	$P= 0,15$
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	4,00 (2,06; 5,13)	3,70 (1,34; 5,42)	$P< 0,01$
<i>Ocotea puberula</i>	2,55 (0,67; 3,72)	2,61 (-0,01; 3,59)	$P= 0,75$
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	3,83 (1,59; 4,12)	3,81 (3,11; 4,09)	$P= 0,46$
<i>Rauvolfia sellowii</i>	3,46 (0,67; 3,74)	3,38 (0,66; 3,64)	$P< 0,01$
<i>Senna multijuga</i>	4,01 (3,26; 5,17)	3,99 (1,37; 5,00)	$P= 0,22$

<sup>a</sup> mediana (valor mínimo; valor máximo)



**Figura 7-** Relação entre a taxa de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA) e a taxa de crescimento relativa em altura (TCR) para as dez espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. No detalhe, rs= coeficiente de correlação de Spearman.

## SOBREVIVÊNCIA

Dos 755 indivíduos que tiveram pelo menos um ataque por formigas cortadeiras, 112 (7,5%) morreram. Dos indivíduos atacados e mortos do tratamento, não houve diferença significativa entre a proporção de indivíduos mortos com e sem ataque com relação ao grupo das espécies intolerantes e tolerantes à sombra ( $X^2= 3,7$ ;  $P= 0,05$ ; Tabela 5), corroborando os resultados encontrados para a intensidade e frequência de herbivoria pelas formigas cortadeiras.

**Tabela 5-** *Proporção de indivíduos mortos com e sem ataque por formigas cortadeiras entre os indivíduos do tratamento pertencentes ao grupo das espécies intolerantes (n= 375) e tolerantes à sombra (n= 375), empregados no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. I: intolerantes à sombra; T: tolerantes à sombra.*

	I	%	T	%
Nº de indivíduos vivos	320	85,3	308	82,1
Nº de indivíduos mortos	55	14,7	67	17,9
Nº de indivíduos mortos com ataque	44	11,7	43	11,5
Nº de indivíduos mortos sem ataque	11	2,9	24	6,4

Dentre as dez espécies analisadas, *R. elaeocarpum* e *E. brasiliensis* não tiveram nenhum indivíduo atacado e morto durante o monitoramento do experimento, porém as demais espécies, em conjunto, apresentaram diferença na proporção de mortes com e sem ataque (teste exato de Fisher;  $P < 0,01$ ).

Realizando uma análise de sobrevivência ao longo dos seis meses de experimento com as oito espécies que tiveram indivíduos atacados e mortos, quando comparada à porcentagem de sobrevivência entre os indivíduos do tratamento atacados e não atacados, *H. popayanensis*, *C. floribundus* e *R. sellowii* apresentaram um decréscimo significativo de, aproximadamente, 30%, 16% e 35% na taxa de sobrevivência, respectivamente (Tabela 6).

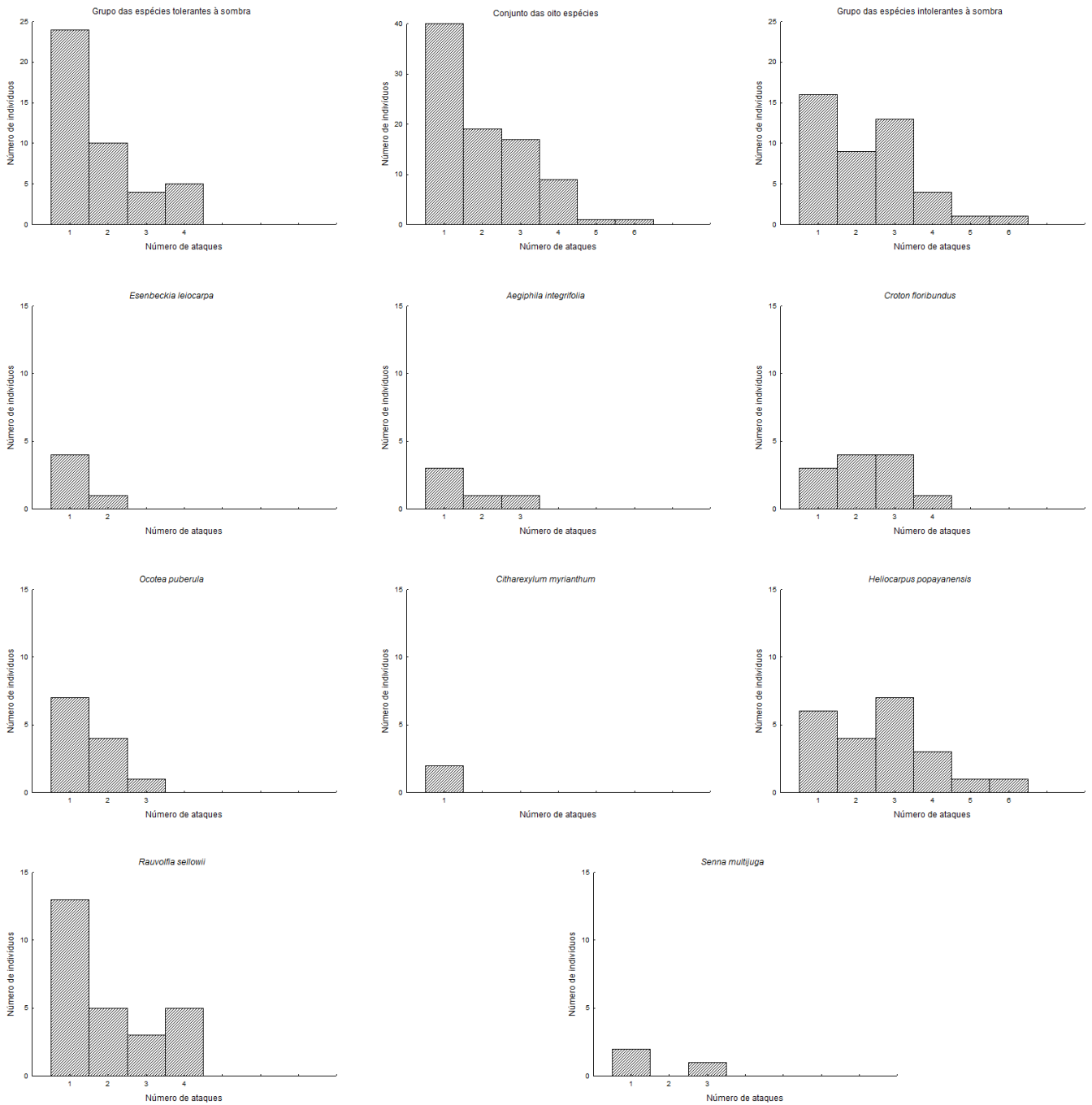
**Tabela 6-** Análise de sobrevivência (AS) das oito espécies ( $n= 75$ , para cada espécie) que tiveram indivíduos atacados e mortos, comparando os indivíduos com ataque e sem ataque do tratamento, durante o período de monitoramento do experimento de transplante de mudas em campo, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. *AI*: *Aegiphila integrifolia*; *CF*: *Croton floribundus*; *CM*: *Citharexylum myrianthum*; *HP*: *Heliocarpus popayanensis*; *SM*: *Senna multijuga*; *EL*: *Esenbeckia leiocarpa*; *OP*: *Ocotea puberula*; *RS*: *Rauvolfia sellowii*.

Espécie	Indivíduos vivos	%	Indivíduos mortos com ataque	%	Indivíduos mortos sem ataque	%	AS
<i>AI</i>	64	85,3	5	6,7	6	8	$P= 0,72$
<i>CF</i>	63	84	12	16	0	0	$P< 0,01$
<i>CM</i>	73	97,3	2	2,7	0	0	$P= 0,15$
<i>EL</i>	65	86,7	5	6,7	5	6,7	$P= 0,99$
<i>HP</i>	49	65,3	22	29,3	4	5,3	$P< 0,01$
<i>OP</i>	52	69,3	12	16	11	14,7	$P= 0,84$
<i>RS</i>	42	54,6	26	34,7	7	10,7	$P< 0,01$
<i>SM</i>	71	94,7	3	4	1	1,3	$P= 0,30$

Quanto à capacidade de resposta dos indivíduos aos ataques pelas formigas cortadeiras, analisando os indivíduos atacados e mortos das oito espécies em conjunto, verificou-se que um é o número mais provável de ataques que leva à morte uma muda de espécie arbórea dentre as espécies analisadas (Fig. 8).

Analisando os grupos quanto à tolerância à sombra, os indivíduos atacados e mortos do grupo das espécies intolerantes à sombra tiveram de um a seis ataques, sendo que a maioria morreu entre um a três ataques, enquanto que o grupo das tolerantes à sombra teve entre um a quatro ataques, sendo que a maioria morreu com um ataque (Fig. 8).

Dentre as oito espécies, o número mais freqüente de ataques que leva à morte os indivíduos dessas espécies variou de um a três ataques, destacando-se *H. popayanensis* (três ataques) e *C. floribundus* (dois a três ataques) que apresentaram maior capacidade de resposta aos ataques (Fig. 8). Por outro lado, isso também demonstra a influência negativa da herbivoria e freqüência dos ataques pelas formigas cortadeiras sobre a capacidade de resposta dos indivíduos dessas espécies, que ficaram dentre as espécies mais herbivoradas e de maior freqüência de ataques.



**Figura 8-** Frequência de ataques que leva um indivíduo à morte, considerando o conjunto das oito espécies e grupos de acordo com a tolerância à sombra. Experimento de transplante de mudas em campo, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil.

## CARACTERÍSTICAS FOLIARES: ESTRUTURAIS E QUÍMICAS

*Heliocarpus popayanensis* apresentou alta AFE, baixa concentração de polifenóis totais, flavonóides e taninos condensados e fez parte do grupo de espécies com maiores valores de nitrogênio foliar. Por outro lado, *E. brasiliensis* apresentou baixa AFE, alta concentração de taninos condensados e baixa quantidade de nitrogênio foliar (Tabela 7). Foi encontrada correlação positiva entre a AFE ( $R^2= 0,52$ ;  $P= 0,03$ ) e a quantidade de nitrogênio foliar ( $R^2= 0,68$ ;  $P< 0,01$ ) com o IH-LCA e, negativa entre a concentração de taninos condensados ( $R^2= 0,44$ ;  $P= 0,04$ ) e o IH-LCA. Entretanto, não foi encontrada correlação significativa entre o IH-LCA com as concentrações de polifenóis totais ( $R^2= 0,34$ ;  $P= 0,10$ ) e flavonóides ( $R^2= 0,30$ ;  $P= 0,13$ ). Sabendo desses resultados, foi encontrado que AFE, quantidade de nitrogênio foliar e concentração de taninos condensados são características foliares complementares para explicar a taxa de herbivoria e, conseqüentemente, a frequência de ataques pelas formigas cortadeiras entre as espécies analisadas (Tabela 8).

**Tabela 7-** Características foliares (média  $\pm$  desvio padrão) estruturais (área foliar específica) e químicas (nitrogênio, polifenóis totais, flavonóides, taninos condensados) de nove espécies arbóreas empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. AFE: área foliar específica.

Espécie	AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Nitrogênio (mg g <sup>-1</sup> )	Polifenóis totais (μg g <sup>-1</sup> )	Flavonóides (μg g <sup>-1</sup> )	Taninos condensados (%)
<i>Citharexylum myrianthum</i>	235,9 $\pm$ 22,1	12,4 $\pm$ 0,3	322,6 $\pm$ 41,7	51,3 $\pm$ 1,0	2,3
<i>Croton floribundus</i>	242,7 $\pm$ 26,6	20,8 $\pm$ 0,7	117,4 $\pm$ 5,0	16,2 $\pm$ 0,8	2,3
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	242,6 $\pm$ 27,2	22,0 $\pm$ 0,3	442,0 $\pm$ 5,4	18,5 $\pm$ 1,8	7,0
<i>Eugenia brasiliensis</i>	117,1 $\pm$ 23,2	7,8 $\pm$ 0,5	579,8 $\pm$ 14,6	31,0 $\pm$ 1,1	19,6
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	631,2 $\pm$ 213,3	26,0 $\pm$ 1,0	136,5 $\pm$ 8,6	1,2 $\pm$ 1,1	1,3
<i>Ocotea puberula</i>	242,1 $\pm$ 34,4	26,4 $\pm$ 0,9	590,7 $\pm$ 55,9	43,4 $\pm$ 1,6	1,9
<i>Rauvolfia sellowii</i>	477,0 $\pm$ 343,0	24,6 $\pm$ 0,2	314,8 $\pm$ 21,3	54,7 $\pm$ 3,2	1,9
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	301,1 $\pm$ 49,7	16,2 $\pm$ 0,1	889,4 $\pm$ 17,7	82,6 $\pm$ 4,3	13,7
<i>Senna multijuga</i>	255,2 $\pm$ 19,5	27,4 $\pm$ 0,8	289,3 $\pm$ 15,1	50,0 $\pm$ 1,2	5,4

**Tabela 8-** Regressão linear múltipla entre a taxa de herbivoria por formigas cortadeiras (IH-LCA) e as características foliares estruturais e químicas (área foliar específica, nitrogênio, taninos condensados) de nove espécies analisadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. AFE: área foliar específica; N: nitrogênio; TC: taninos condensados.

Modelos	F	P	R <sup>2</sup>
Variável dependente: IH-LCA Variáveis independentes: AFE; N; TC	(3, 5)= 6,27	0,04	0,79
Variável dependente: IH-LCA Variáveis independentes: AFE; N	(2, 6)= 11,00	0,01	0,78
Variável dependente: IH-LCA Variáveis independentes: AFE; TC	(2, 6)= 4,93	0,05	0,62
Variável dependente: IH-LCA Variáveis independentes: N; TC	(2, 6)= 7,34	0,02	0,71

## DISCUSSÃO

A partir dos resultados apresentados os juvenis de algumas das espécies arbóreas analisadas no experimento sofreram, de acordo com a intensidade de herbivoria e frequência de ataques pelas formigas cortadeiras, influência negativa sobre o crescimento (BF e TCR) e sobrevivência, portanto, sobre a capacidade de tolerância à herbivoria. Em contrapartida, outras espécies apresentaram resistência à herbivoria e, conseqüentemente, não sofreram influência negativa sobre o crescimento e sobrevivência.

Quanto à herbivoria pelas formigas cortadeiras, não foi encontrada preferência de acordo com o grupo quanto à tolerância à sombra que as espécies pertencem, ao contrário dos resultados encontrados por Wirth *et al.* (2003) e Falcão *et al.* (2011). No presente estudo foi encontrado um gradiente de preferência para herbivoria, sendo que duas espécies se destacaram como a mais (*H. popayanensis*) e a menos herbivorada (*E. brasiliensis*).

A característica de herbívoro generalista descrita pela literatura (Vasconcelos & Fowler 1990, Wirth *et al.* 2003) foi confirmada no presente estudo, no qual todas as espécies analisadas no experimento tiveram indivíduos atacados. Contudo, diante de uma gama de recursos que podem ser forrageados, as formigas são conhecidas por apresentarem seletividade, concentrando sua atividade de forrageamento em algumas espécies que compõem a maior parte de sua dieta, conforme Vasconcelos (1990), Wirth *et al.* (2003) e Falcão *et al.* (2011). No entanto, essa seletividade não foi observada no presente estudo, devido à taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras apresentar-se em um gradiente entre as espécies, destacando-se *H. popayanensis* com, aproximadamente, 17% e *E. brasiliensis*, com cerca de 3% do total de herbivoria para todas as espécies.

Como a abundância das espécies e a distância dos indivíduos com relação às trilhas de forrageamento foram padronizadas, os resultados encontrados apontam para a qualidade do

tecido vegetal como um dos principais fatores para o forrageamento no experimento em questão. Essa qualidade é determinada de acordo com uma relação entre a presença de características de defesas estruturais (Howard 1988) e/ou químicas (Hubbell *et al.* 1984) (conceitualmente consideradas como “custo”), e o conteúdo nutricional (considerado o “benefício”) (Howard 1987). Esta razão entre custo e benefício irá afetar o crescimento dos jardins de fungos cultivados pelas formigas nos ninhos e que servem de alimento para os indivíduos da colônia.

No presente estudo, a AFE, o nitrogênio e os taninos condensados foram complementares para explicar a taxa de herbivoria pelas formigas cortadeiras. *H. popayanensis*, apresentou alta AFE e conteúdo de nitrogênio e baixa quantidade de taninos condensados. *E. brasiliensis*, em contrapartida, apresentou baixa AFE e conteúdo de nitrogênio e alta concentração de taninos condensados. Desta forma, a relação custo-benefício determinou o forrageamento das espécies vegetais pelas formigas cortadeiras, de forma similar ao reportado por Farji-Brener (2001), que descreveu a “hipótese do forrageamento palatável”, assim como Urbas (2004) e Falcão *et al.* (2011).

*Esenbeckia leiocarpa* se enquadrou dentre as espécies com maiores valores de herbivoria pelas formigas cortadeiras como também pelos outros tipos de herbívoros e, ao contrário do esperado, apresenta características que sugerem baixa palatabilidade para herbivoria, com exceção do elevado conteúdo de nitrogênio. Mundim *et al.* (2009) encontraram que as espécies arbóreas com maior concentração de nitrogênio foliar tenderam a ser mais frequentemente atacadas pelas formigas cortadeiras. Marquis (2012) ainda reforça que o nitrogênio é, muitas vezes, um fator limitante para o crescimento dos herbívoros, porque sua concentração nos tecidos vegetais tende a variar entre 0,03 a 7%, enquanto que, nos tecidos dos herbívoros, sua taxa é de 7 a 13%. Tais fatos podem explicar a preferência das formigas por essa espécie no vigente estudo, bem como, pela quantidade de nitrogênio foliar

se enquadrar dentre as características foliares que ajudam a explicar a herbivoria por esses invertebrados.

A herbivoria pelas formigas cortadeiras se deu via predação de indivíduos inteiros ou parasitismo das folhas ou das gemas apicais, sendo que a maioria dos casos foi composta de parasitismo foliar e corte das gemas apicais. Além da característica de generalista e das formas prevalentes de realizar a herbivoria, essas formigas apresentaram casos de recorrência de corte no mesmo indivíduo em curto período de tempo, o que certamente influencia a capacidade de tolerar a herbivoria (Wirth *et al.* 2003, Fornoni 2011, Mundim *et al.* 2012). Somando essas características, a herbivoria pelas formigas cortadeiras pode influenciar negativamente o crescimento, a sobrevivência (Vasconcelos & Cherrett 1997, Mundim *et al.* 2012, Ferreira 2015) e a reprodução (Barbosa 2009) dos indivíduos atacados.

No presente estudo os efeitos sobre o crescimento e sobrevivência em função da herbivoria e da frequência de ataques foram irregulares. *C. floribundus*, *H. popayanensis*, *R. elaeocarpum*, *R. sellowii* e *S. multijuga* tiveram redução na taxa de crescimento relativa em altura e/ou no balanço foliar e, dentre estas espécies, *R. elaeocarpum* e *S. multijuga* não apresentaram redução na taxa de sobrevivência dos indivíduos atacados e, assim, redução da capacidade de tolerar a herbivoria pelas formigas cortadeiras. Por outro lado, *E. leiocarpa*, que também ficou dentre as espécies de maiores valores de herbivoria e de frequência de ataques, não apresentou impacto negativo sobre o crescimento e sobrevivência.

Isso reflete a capacidade que as plantas possuem de rebrotar, isto é, de repor tecido vegetal perdido realocando recursos armazenados e de produção final da fotossíntese, que seriam destinados ao crescimento e/ou reprodução em detrimento da reposição de biomassa vegetal perdida (Stowe *et al.* 2000, Marquis 2012). Esses mesmos autores, ainda, sugerem que essa realocação pode influenciar a capacidade de tolerância à herbivoria, por meio do esgotamento dos recursos armazenados e da perda de material fotossintético a partir da

abscisão foliar e/ou da própria herbivoria, fazendo com que não haja captura de novos recursos para o indivíduo atacado.

No experimento em questão as espécies estudadas, em especial aquelas com maiores valores de herbivoria e de frequência de ataques, compensaram a herbivoria produzindo novas folhas ou novos ramos a partir dos meristemas laterais. Contudo, como houve recorrentes ataques sobre o mesmo indivíduo e, na maioria das vezes, em curto período de tempo, a capacidade de tolerância de alguns desses indivíduos foi afetada.

Segundo Givnish (1988), o grupo das espécies intolerantes à sombra possuiria maior alocação de reservas nutritivas nas raízes para realocação para outros órgãos da planta, quando necessário. Por outro lado, as espécies tolerantes à sombra, devido gastarem muita energia com as defesas constitutivas, que conferem resistência à herbivoria, podem ter a sua capacidade de tolerar aos ataques prejudicada (Stowe *et al.* 2000). Tais características ecofisiológicas das plantas foram constatadas neste estudo, quando realizada a análise da capacidade de tolerância aos ataques entre os referidos grupos. O grupo das intolerantes à sombra teve de um a seis ataques, sendo que a maioria morreu após um a três ataques, e o grupo das tolerantes à sombra teve entre um a quatro ataques, sendo que a maioria morreu com um ataque.

Nesse contexto e avaliando as oito espécies que tiveram indivíduos atacados e mortos, *H. popayanensis* e *C. floribundus* (intolerantes à sombra) mesmo apresentando influência negativa sobre a capacidade de tolerância aos ataques, apresentaram maior capacidade de resposta à herbivoria pelas formigas cortadeiras, pois o maior número de ataques que leva à morte dos indivíduos foram três e entre dois a três, respectivamente. *Senna multijuga* (intolerante à sombra) e *R. sellowii* (tolerante à sombra) apresentaram baixa capacidade de resposta aos ataques, tendo um como o número mais frequente de ataques que leva à morte os indivíduos. Contudo dentre ambas, *S. multijuga* apresentou baixo número de indivíduos

mortos e não sofreu influência negativa sobre a taxa de sobrevivência, somente sobre o crescimento, se enquadrando entre as espécies com maior capacidade de resposta à herbivoria pelas formigas cortadeiras.

Por outro lado, as espécies *R. elaeocarpum* e *E. brasiliensis*, ambas tolerantes à sombra, foram resistentes à herbivoria e aos ataques das formigas cortadeiras, por apresentarem características que reduziram a taxa de herbivoria, como baixo conteúdo de nitrogênio e alta concentração de metabólitos secundários, especialmente, de taninos condensados. A primeira espécie correspondeu a, aproximadamente, 7% do total forrageado pelas formigas cortadeiras entre as dez espécies, enquanto a segunda, cerca de 3%.

*Rhamnidium elaeocarpum* mesmo apresentando influência negativa sobre o crescimento em altura, não apresentou nenhum indivíduo atacado e morto, e nem influência negativa sobre o balanço foliar, não sendo comprometida sua resistência à herbivoria e aos ataques das formigas cortadeiras.

Outros fatores também influenciaram a atividade de forrageamento das formigas cortadeiras, além da qualidade do tecido vegetal. O experimento foi alocado em áreas de reflorestamento com alta abundância de espécies intolerantes à sombra imersas em uma matriz agrícola, com histórico de degradação e fragmentação de habitats. Estes fatores possivelmente contribuem para uma alta densidade de ninhos, como resultado direto da grande quantidade de recursos disponíveis e da baixa pressão dos inimigos naturais (pássaros, tatus e tamanduás, principalmente), de forma similar ao reportado por Rao (2000) e Rao *et al.* (2001).

Rao *et al.* (2001) observaram que nos ecossistemas com alta densidade de ninhos de formigas cortadeiras estas apresentaram um forrageamento menos seletivo do que onde ocorriam em baixas densidades. Vasconcelos (1990) complementa que *Atta sexdens*, presente nas áreas de estudo, apresentou um comportamento de forrageio mais generalista quando

comparada com outras espécies do gênero, permitindo-lhe adaptar-se a um maior número de habitats. Comportamento descrito como “plasticidade de forrageio”, por Sousa-Souto *et al.* (2008). Essa plasticidade é possível devido à espécie ser considerada um herbívoro generalista, que possui uma dieta mista que busca equilibrar a obtenção de diversos nutrientes e evita que sejam consumidos níveis muito altos de um único composto tóxico (Trigo *et al.* 2012). Assim, ocorrendo uma modulação do comportamento de forrageio de acordo com o ambiente e com os recursos disponíveis na área de forrageamento. No caso em questão, as áreas de forrageamento possuem alta abundância de espécies palatáveis que, somada a oferta de recursos adicionais presentes na matriz agrícola, permite reduzir gasto de energia em busca de alimento e maximizar o ganho de recursos.

Em síntese, relações de custo-benefício regulam a preferência para herbivoria pelas formigas cortadeiras e, de acordo com a intensidade de herbivoria e frequência de ataques, podem influenciar positivamente e/ou negativamente a capacidade de resposta das plantas atacadas. Dentre as espécies com maiores taxas de herbivoria e frequência de ataques, *H. popayanensis*, *C. floribundus*, *S. multijuga* e *E. leiocarpa* apresentaram maior capacidade de resposta à herbivoria pelas formigas cortadeiras quando comparadas a *R. sellowii*, que apresentou baixa capacidade de tolerância. Dentre as espécies com menores taxas de herbivoria e frequência de ataques, *R. elaeocarpum* e *E. brasiliensis* foram resistentes à herbivoria pelas formigas cortadeiras quando comparadas com as demais espécies. Não foi possível avaliar a capacidade de resposta de *A. integrifolia*, *C. myrianthum* e *O. puberula* em relação às demais espécies do experimento.

A partir dos resultados encontrados, pode-se inferir que a herbivoria por formigas cortadeiras influenciou negativamente a capacidade de resposta de algumas das espécies mais atacadas, por reduzir a área foliar e a fixação de carbono, consequentemente reduzindo a taxa de crescimento e a sobrevivência. Em longo prazo o potencial reprodutivo desses indivíduos

poderia também ser afetado, reduzindo a produção de sementes e/ou recrutamento de plântulas, afetando a composição de espécies da comunidade como um todo, de forma similar ao reportado por Rao *et al.* (2001), Wirth *et al.* (2003) e Silva *et al.* (2012).

Diante disso, é possível sugerir que altas densidades de ninhos de formigas cortadeiras podem retardar a restauração florestal. Este retardo está relacionado ao comprometimento do crescimento e ao aumento da mortalidade de diversas espécies vegetais após sucessivos ataques desses invertebrados, caracterizando a herbivoria por formigas cortadeiras como um importante filtro ecológico.

## **CONCLUSÕES**

As espécies intolerantes à sombra apresentaram taxa de herbivoria por formigas cortadeiras similares às espécies tolerantes à sombra, sendo a relação entre o custo (AFE e taninos condensados) e o benefício (teor de nitrogênio), que em última instância determina a qualidade do tecido vegetal herbivorado, um dos principais fatores que determina o forrageamento entre as dez espécies avaliadas.

Dentre as espécies preferidas para o forrageamento algumas, de acordo com a intensidade de herbivoria e frequência de ataques, sofreram influência negativa sobre o crescimento e a sobrevivência, portanto, sobre a capacidade de tolerância à herbivoria. E, dentre as menos procuradas pelas formigas algumas espécies apresentaram certa resistência à herbivoria, conseqüentemente não sofrendo influência negativa sobre o desempenho.

## **REFERÊNCIAS**

- ALMEIDA, W. R., R. WIRTH, AND I. R. LEAL. 2008. Edge-mediated reduction of phorid parasitism on leaf-cutting ants in a Brazilian Atlantic Forest. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 129: 251–257.
- AYRES, M., M. AYRES JR., D. L. AYRES, AND A. A. S. SANTOS. 2007. *BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas*. Sociedade Civil Mamirauá, MCT, Imprensa Oficial do Estado do Pará, Belém.
- BARBOSA, V. S. 2009. *Influência da herbivoria de formigas cortadeiras no sucesso reprodutivo de espécies arbustivo-arbóreas da Floresta Atlântica Nordestina*. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- BARRER, P. M, AND J. M. CHERRETT. 1972. Some factors affecting the site and pattern of leaf-cutting activity in the ant *Atta cephalotes* L. *Journal Entomology (A)*, 47: 15-27.
- BATES, D., M. MACHLER, B. BOLKER, AND S. WALKER. 2014. *\_lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4\_*. R package version 1.1-7. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>. Acesso em: 12 dezembro 2014.
- BHERING, S. B., H. G. SANTOS, C. V. MANZATTO, I. BOGNOLA, P. J. FASOLO, A. P. CARVALHO, R. O. POTTER, G. R. CURCIO, M. L. D. AGLIO, J. S. SOUZA, C. E. CHAFFIN, W. CARVALHO JR., A. CARDOSO, D. P. HOCHMULLER, J. O. I. LARACH, AND M. J. RAUEN. 2007. *Mapa de solos do estado do Paraná*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

- CAVALHEIRO, A. L., J. M. D. TOREZAN, AND L. FADELLI. 2002. Recuperação de áreas degradadas: procurando por diversidade e funcionamento dos ecossistemas. *In* MEDRI, M. E., E. BIANCHINI, O. A. SHIBATTA, AND J. A. PIMENTA (Eds.). A bacia do rio Tibagi, p. 213-224. Eduel, Londrina.
- CAVIGLIONE, J. H., L. R. B. KIIHL, P. H. CARAMORI, AND D. OLIVEIRA. 2000. Cartas climáticas do Paraná. IAPAR, Londrina.
- CHERRETT, J. M. 1968. The foraging behavior of *Atta cephalotes* L. (Hymenoptera, Formicidae): I. Foraging pattern and plant species attacked in tropical rain forest. *Journal of Animal Ecology*, 37: 387–403.
- COLEY, P. D., J. P. BRYANT, AND F. S. CHAPIN. 1985. Resource availability and plant anti-herbivore defense. *Science*, 230: 895–899.
- CORRÊA, M. M., P. S. D. SILVA, R. WIRTH, M. TABARELLI, AND I. R. LEAL. 2010. How leaf-cutting ants impact forests: drastic nest effects on light environment and plant assemblages. *Oecologia*, 162: 103-115.
- COSTA, A. N., H. L. VASCONCELOS, E. H. M. VIEIRA-NETO, AND E. M. BRUNA. 2008. Do herbivores exert top-down effects in Neotropical savannas? Estimates of biomass consumption by leaf-cutter ants. *Journal of Vegetation Science*, 19: 849-854.

- DEL-CLARO, K. 2012. Origens e importância das relações plantas-animais para a ecologia e conservação. *In* DEL-CLARO, K., AND H. M. TOREZAN-SILINGARDI (Eds.). *Ecologia das interações plantas-animais*, p. 37-50. Technical Books Editora, Rio de Janeiro.
- DIRZO, R., AND C. A. DOMÍNGUEZ. 1995. Plant-herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forests. *In* BULLOCK, S. H., E. MEDINA, AND H. A. MOONEY (Eds.). *Seasonally dry tropical forests*, p. 304-325. Cambridge University Press, Cambridge.
- DOHM, C., I. R. LEAL, M. TABARELLI, S. T. MEYER, AND R. WIRTH. 2011. Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest edge? *Journal of Tropical Ecology*, 27: 645–649.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2007. *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- FALCÃO, P. F., S. R. R. PINTO, R. WIRTH, AND I. R. LEAL. 2011. Edge-induced narrowing of dietary diversity in leaf-cutting ants. *Bulletin of Entomological Research*, 101: 305-311.
- FARJI-BRENER, A. G. 2001. Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. *Oikos*, 92: 169–177.

- FARJI-BRENER, A. G., AND V. WERENKRAUT. 2014. A meta-analysis of leaf-cutting ant nest effects on soil fertility and plant performance. *Ecological Entomology*, doi: 10.1111/een.12169.
- FERRACIN, T. P. 2007. Efeitos de borda em um fragment florestal submetido à extração seletiva de madeira. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- FERREIRA, B. Z. 2015. Herbivoria por *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 sobre espécies arbóreas em restauração florestal. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.
- FORNONI, J. 2011. Ecological and evolutionary implications of plant tolerance to herbivory. *Functional Ecology*, 25: 399-407.
- GIVNISH, T. J. 1988. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 63-92.
- GUANGCHENG, Z., L. YUNLU, AND Y. YAZAKI. 1991. Bark tannin contents of *Acacia mearnsii* provenances and the relationship between the hide-powder and the Stiasny methods of estimation. *Australian Forestry*, 54: 209-211.

- HERZ, H., W. BEYSCHLAG, AND B. HOLLOBLER. 2007. Herbivory rate of leafcutting ants in a tropical moist forest in Panama at the population and ecosystem scales. *Biotropica*, 39: 482–488.
- HOBBS, R. J., AND D. A. NORTON. 2004. Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. *In* TEMPERTON, V. M., R. J. HOBBS, T. NUTTLE, AND S. HALLE (Eds.). *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*, p. 72-95. Island Press, Washington.
- HOLLOBLER, B., AND E. O. WILSON. 2011. *The leafcutter ants: civilization by instinct*. W.W. Norton and Company Inc., London.
- HOWARD, J. J. 1987. Leaf-cutting ant diet selection: the role of nutrients, water, and secondary chemistry. *Ecology*, 68: 503–515.
- HOWARD, J. J. 1988. Leaf-cutting ant diet selection: relative influence of leaf chemistry and physical features. *Ecology*, 69: 250–260.
- HUBBELL, S. P., J. J. HOWARD, AND D. F. WIEMER. 1984. Chemical leaf repellency to an attine ant: seasonal distribution among potential host plant species. *Ecology*, 65: 1067-1076.
- HUNT, R. 1982. *Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers Ltd., London.

- IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2012. Manual Técnico em Geociências. I: Manual Técnico da Vegetação Brasileira. IBGE, Rio de Janeiro.
- JAFFE, K., AND E. VILELA. 1989. On nest densities of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* in tropical primary forest. *Biotropica*, 21: 234-236.
- LEAL, I. R., R. WIRTH, AND M. TABARELLI. 2012. Formigas-cortadeiras e a ambigüidade de suas relações com plantas. *In* DEL-CLARO, K., AND H. M. TOREZAN-SILINGARDI (Eds.). *Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva*, p. 215-239. Technical Books Editora, Rio de Janeiro.
- LEAL, I. R., R. WIRTH, AND M. TABARELLI. 2014. The multiple impacts of leaf-cutting ants and their novel ecological role in human-modified neotropical forests. *Biotropica*, 46: 516-528.
- LOWRY, O. H., N. J. ROSEBROUGH, A. L. FARR, AND R. J. RANDALL. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *The Journal of Biological Chemistry*, 193: 265-275.
- MARQUIS, R. J. 2012. Uma abordagem geral das defesas das plantas contra a ação dos herbívoros. *In* DEL-CLARO, K., AND H. M. TOREZAN-SILINGARDI (Eds.). *Ecologia das interações plantas-animais*, p. 55-66. Technical Books Editora, Rio de Janeiro.

- MEYER, S. T., I. R. LEAL, M. TABARELLI, AND R. WIRTH. 2011a. Ecosystem engineering by leaf-cutting ants: nests of *Atta cephalotes* drastically alter forest structure and microclimate. *Ecological Entomology*, 36: 14–24.
- MEYER, S. T., I. R. LEAL, M. TABARELLI, AND R. WIRTH. 2011b. Performance and fate of tree seedlings on and around nests of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes*: ecological filters in a fragmented forest. *Austral Ecology*, 36: 779-790.
- MEYER, S. T., M. NEUBAUER, E. J. SAYER, I. R. LEAL, M. TABARELLI, AND R. WIRTH. 2013. Leaf-cutting ants as ecosystem engineers: topsoil and litter perturbations around *Atta cephalotes* nests reduce nutrient availability. *Ecological Entomology*, 38: 497–504.
- MOUTINHO, P., D. C. NEPSTAD, AND E. A. DAVIDSON. 2003. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology*, 84: 1265–1276.
- MUNDIM, F. M., A. N. COSTA, AND H. L. VASCONCELOS. 2009. Leaf nutrient content and host plant selection by leaf-cutter ants, *Atta laevigata*, in a Neotropical savanna. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 130: 47–54.
- MUNDIM, F. M., E. M. BRUNA, E. H. M. VIEIRA-NETO, AND H. L. VASCONCELOS. 2012. Attack frequency and the tolerance to herbivory of neotropical savanna trees. *Oecologia*, 168: 405–414.

- NICHOLS-ORIAN, C. 1991. Differential effects of condensed and hydrolyzable tannin on polyphenol oxidase activity of attine symbiotic fungus. *Journal of Chemical Ecology*, 17: 1811–1819.
- PEREIRA, L. C. S. M. 2012. Estrutura da paisagem e regeneração natural em reflorestamentos com espécies nativas da Mata Atlântica. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., S. DÍAZ, E. GARNIER, S. LAVOREL, H. POORTER, P. JAUREGUIBERRY, M. S. BRET-HARTE, W. K. CORNWELL, J. M. CRAINE, D. E. GURVICH, C. URCELAY, E. J. VENEKLAAS, P. B. REICH, L. POORTER, I. J. WRIGHT, P. RAY, L. ENRICO, J. G. PAUSAS, A. C. de VOS, N. BUCHMANN, G. FUNES, F. QUÉTIER, J. G. HODGSON, K. THOMPSON, H. D. MORGAN, H. ter STEEGE, M.G.A. van der HEIJDEN, L. SACK, B. BLONDER, P. POSCHLOD, M. V. VAIERETTI, G. CONTI, A. C. STAVER, S. AQUINO, AND J. H. C. CORNELISSEN. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61: 167–234.
- QUINLAN, R. J., AND J. M. CHERRETT. 1979. The role of fungus in the diet of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (L.). *Ecological Entomology*, 4: 151-160.
- R CORE TEAM. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 dezembro 2014.

- RANI, N., S. K. SHARMA, AND N. VASUDEVA. 2012. Assessment of antiobesity potential of *Achyranthes aspera* Linn. seed. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, doi:10.1155/2012/715912.
- RAO, M. 2000. Variation in leaf-cutter ant (*Atta* sp.) densities in forest isolates: the potential role of predation. Journal of Tropical Ecology, 16: 209-225.
- RAO, M., J. TERBORGH, AND P. NUNEZ. 2001. Increased herbivory in forest isolates: implications for plant community structure and composition. Conservation Biology, 15: 624-633.
- RIBEIRO, M. M. R., AND C. G. S. MARINHO. 2011. Seleção e forrageamento em formigas cortadeiras. In DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo, p. 189-203. Editora UFV, Viçosa.
- RIBEIRO NETO, J. D., B. X. PINHO, S. T. MEYER, R. WIRTH, AND I. R. LEAL. 2012. Drought stress drives intraspecific choice of food plants by *Atta* leaf-cutting ants. Entomologia Experimentalis et Applicata, 144: 209-215.
- ROCKWOOD, L. L., AND S. P. HUBBELL. 1987. Host-plant selection, diet diversity, and optimal foraging in a tropical leafcutting ant. Oecologia, 74: 55-61.
- SILVA, P. S. D., A. G. D. BIEBER, A. T. KNOCH, M. TABARELLI, I. R. LEAL, AND R. WIRTH. 2013. Foraging in highly dynamic environments: leaf-cutting ants adjust foraging trail

networks to pioneer plant availability. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, doi: 10.1111/eea.12050.

SILVA, P. S. D., A. G. D. BIEBER, I. R. LEAL, R. WIRTH, AND M. TABARELLI. 2009. Decreasing abundance of leaf-cutting ants across a chronosequence of advancing Atlantic forest regeneration. *Journal of Tropical Ecology*, 25: 223–227.

SILVA, P. S. D., I. R. LEAL, R. WIRTH, F. P. L. MELO, AND M. TABARELLI. 2012. Leaf-cutting ants alter seedling assemblages across second-growth stands of Brazilian Atlantic forest. *Journal of Tropical Ecology*, 28: 361-368.

SOUSA-SOUTO, L., J. H. SCHOEREDER, AND E. R. LIMA. 2008. Why do leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) change their foraging pattern? *Sociobiology*, 52: 645-654.

STIPP, N. A. F. 2002. Principais tipos de solos da Bacia do rio Tibagi. *In* MEDRI, M. E., E. BIANCHINI, O. A. SHIBATTA, AND J. A. PIMENTA (Eds.). *A bacia do rio Tibagi*, p. 39-43. Eduel, Londrina.

STOWE, K. A., R. J. MARQUIS, C. G. HOCHWENDER, AND E. L. SIMMS. 2000. The evolutionary ecology of tolerance to consumer damage. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 31: 565-595.

TABARELLI, M., A. V. AGUIAR, L. C. GIRÃO, C. A. PERES, AND A. V. LOPES. 2010. Effects of pioneer tree species hyperabundance on forest fragments in Northeastern Brazil. *Conservation Biology*, 24: 1654–1663.

TERBORGH, J., L. LOPEZ, P. NUÑEZ, M. RAO, G. SHAHABUDDIN, G. ORIHUELA, M. RIVEROS, R.

ASCANIO, G. H. ADLER, T. D. LAMBERT, AND L. BALBAS. 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, 294: 1923-1925.

TRIGO, J. R., M. PAREJA, AND K. F. MASSUDA. 2012. O papel das substâncias químicas nas

interações entre plantas e insetos herbívoros. *In* DEL-CLARO, K., AND H. M. TOREZAN-SILINGARDI (Eds.). *Ecologia das interações plantas-animais*, p. 67-88. Technical Books Editora, Rio de Janeiro.

URBAS, P. 2004. Effects of forest fragmentation on bottom-up control in leaf-cuttings ants.

Dissertation zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades, Fachbereich Biologie, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern.

URBAS, P., M. V. ARAÚJO JR., I. R. LEAL, AND R. WIRTH. 2007. Cutting more from cut forests:

edge effects on foraging and herbivory of leaf-cutting ants in Brazil. *Biotropica*, 39: 489–495.

VASCONCELOS, H. L. 1990. Foraging activity of two species of leaf-cutting ants (*Atta*) in a

primary Forest of the central amazon. *Insectes Sociaux*, 37: 131-145.

VASCONCELOS, H. L. 1999. Levels of leaf herbivory in Amazonian trees from different stages

in forest regeneration. *Acta Amazonica*, 29: 615-623.

- VASCONCELOS, H. L. 2002. Variação espaço-temporal na atividade forrageira da saúva (*Atta laevigata*). *Acta Amazonica*, 32: 141-154.
- VASCONCELOS, H. L., AND H. G. FOWLER. 1990. Foraging and fungal substrate selection by leaf-cutting ants. *In* VANDER MEER, R. K., K. JAFFE, AND A. CEDENO (Eds.). *Applied myrmecology – a world perspective*, p. 411–419. Westview Press, Boulder.
- VASCONCELOS, H. L., AND J. M. CHERRETT. 1997. Leaf-cutting ants and early forest regeneration in Central Amazonia: effects of herbivory on tree seedling establishment. *Journal of Tropical Ecology*, 13: 357-370.
- WIRTH, R., W. BEYSCHLAG, H. HERZ, R. J. RYEL, AND B. HÖLLDOBLER. 2003. The herbivory of leaf-cutting ants: a case study on *Atta colombica* in the tropical rainforest of Panama. *Ecological Studies* 164, Springer-Verlag, Berlin.
- WIRTH, R., S. T. MEYER, I. R. LEAL, AND M. TABARELLI. 2008. Plant herbivore interactions at the forest edge. *In*: LÜTTGE, U., W. BEYSCHLAG, AND J. MURATA (Eds.). *Progress in Botany* 69: genetics, physiology, systematics, ecology, p. 423-448. Springer-Verlag, Berlin.
- WIRTH, R., S. T. MEYER, W. R. ALMEIDA, M. V. ARAÚJO JR., V. S. BARBOSA, AND I. R. LEAL. 2007. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* sp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. *Journal of Tropical Ecology*, 23: 501–505.
- ZAR, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall Inc., New Jersey.

ZUUR, A. F., E. N. IENO, N. J. WALKER, A. A. SVELIEV, AND G. M. SMITH. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Series: Statistics for Biology and Health. Springer-Verlag, New York.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contribuiu para ampliar os conhecimentos acerca dos impactos que as formigas cortadeiras podem exercer sobre as populações de plantas presentes em sua área de forrageamento e, conseqüentemente, sobre o ecossistema no qual seus ninhos ocorrem, que, no caso em questão, são áreas de restauração florestal com espécies nativas que apresentam alta densidade de ninhos.

No presente estudo, o forrageamento das formigas cortadeiras não apresentou preferência pelas espécies intolerantes à sombra (pioneiras) quando comparadas com as tolerantes à sombra (não pioneiras), conforme a literatura indicava. Esta preferência se deu de forma espécie-específica, sendo a relação entre o custo (AFE e taninos condensados) e o benefício (nitrogênio) um dos principais fatores moduladores de forrageio.

Dentre as dez espécies analisadas, quatro foram tolerantes (*E. leiocarpa*, *H. popayanensis*, *C. floribundus* e *S. multijuga*) e duas resistentes (*R. elaeocarpum* e *E. brasiliensis*) à herbivoria pelas formigas cortadeiras, de acordo com a intensidade e frequência de ataques. Essas espécies e suas características morfo-anatômicas e químicas, conforme a relação custo-benefício, podem ser priorizadas na seleção de espécies em áreas de restauração, visando diferentes performances para manejar os possíveis filtros bióticos que ocorrem na prática da restauração ecológica, em áreas onde as formigas sejam um problema.

O forrageamento das formigas cortadeiras, aliado a outros fatores ambientais, pode afetar o sucesso da restauração florestal em longo prazo. Para confirmar esta sugestão são necessários estudos de campo que permitam correlacionar a densidade de ninhos e a estrutura das assembléias de plantas. Dado o histórico de degradação e fragmentação de habitats da região, corroborado por observações de campo e relatos de agricultores, há uma tendência de aumento da abundância das formigas cortadeiras e, conseqüentemente, da sua influência sobre os ecossistemas. Por outro lado, o alcance desta influência será determinado pela proporção da flora nativa que for considerada suscetível às formigas.

Assim, é recomendável analisar um número maior de espécies quanto à tolerância à herbivoria por parte desses organismos. Recomenda-se, também, monitorar por um período maior os experimentos de campo, para verificar os efeitos sobre o estabelecimento dos indivíduos plantados. Como também, é necessário avaliar a predação de sementes pelas formigas cortadeiras, sabendo que esta pode influenciar negativamente sobre a colonização e estabelecimento de plântulas, como, já previamente, constatado por Cury (2009).

Atualmente, ainda, há muitos gargalos sobre os impactos das formigas cortadeiras em áreas de restauração florestal, mas, certamente, é necessário tomar todas as medidas de conservação dos inimigos naturais dessas formigas, principalmente no que diz respeito ao uso de pesticida. Tais inimigos naturais controlam as populações das formigas em um nível que não impeça o estabelecimento e crescimento das mudas plantadas e de juvenis em regeneração natural.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A-** Quadro com as características ecológicas das dez espécies arbóreas empregadas no experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. Tolerância à sombra seguindo Cavalheiro, Torezan e Fadelli (2002); nomes científicos e famílias conforme a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2015); nomes populares de acordo com Cavalheiro, Torezan e Fadelli (2002) e Dias, Vieira e Paiva (2002); fenologia e características da madeira conforme Lorenzi (2008). I: intolerante à sombra; T: tolerante à sombra; ANE: anemocórica; AUT: autocórica; ZOO: zoocórica.

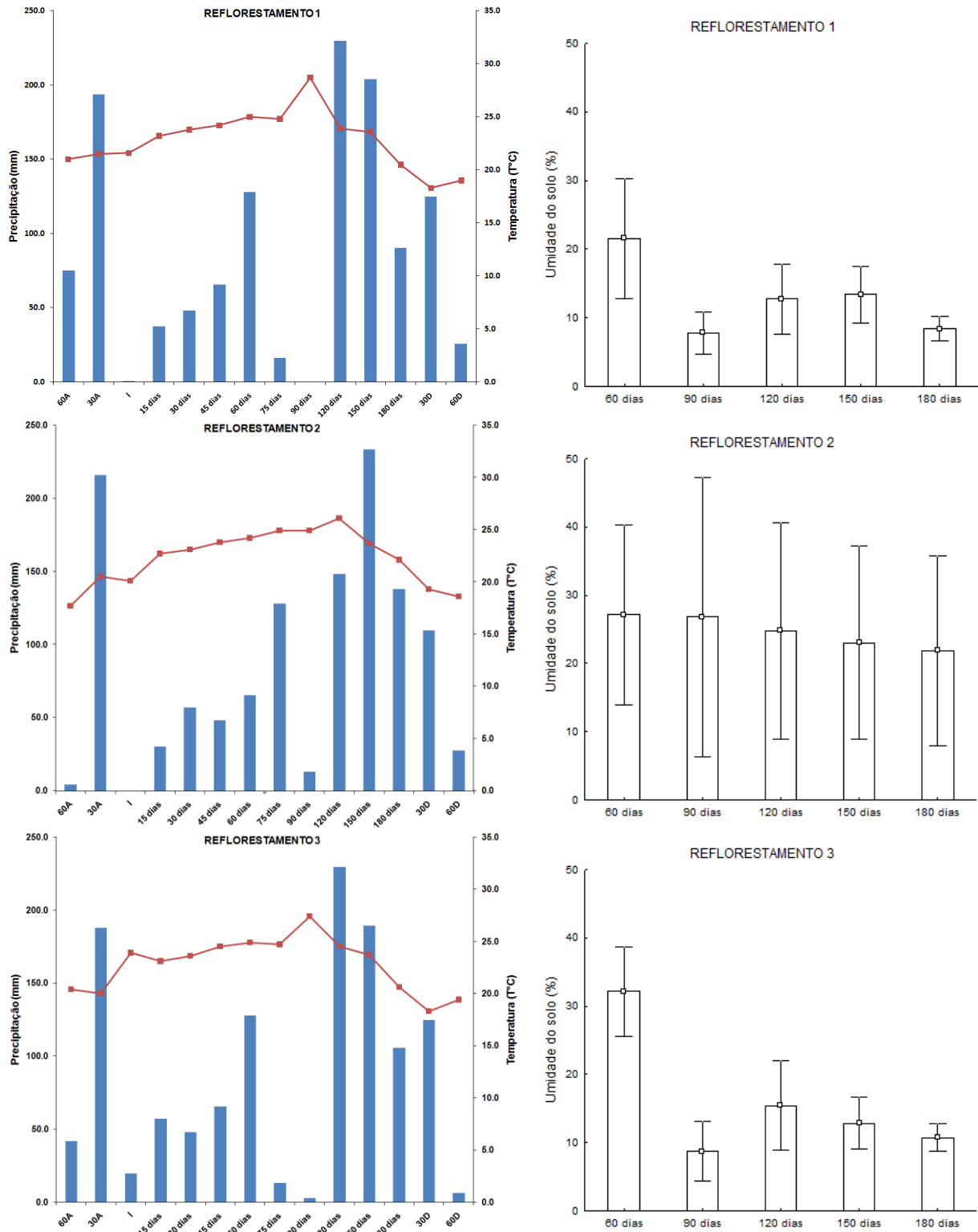
Espécie	Família	Nome popular	Tolerância à sombra	Síndrome de dispersão*	Fenologia	Madeira	Espécie plantada na implantação dos reflorestamentos
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	Lamiaceae	tamanqueiro	I	ZOO <sup>2</sup>	Floresce: dez-jan Frutifica: fev-abr	Leve, mole, de baixa durabilidade natural	SIM
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Euphorbiaceae	capixingui	I	AUT <sup>3</sup>	Floresce: out-dez Frutifica: jan-fev	Moderadamente pesada, de baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos	SIM
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Verbenaceae	pau-viola	I	ZOO <sup>1</sup>	Floresce: out-dez Frutifica: jan-mar	Leve, macia ao corte, de baixa durabilidade natural	SIM
<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth	Malvaceae	jangadeiro	I	ANE <sup>2</sup>	Floresce: jun-jul Frutifica: set-out	Leve, mole, pouco durável quando exposta	SIM
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	pau-cigarra	I	AUT <sup>3</sup>	Floresce: dez-abr Frutifica: abr-jun	Leve, mole, de baixa durabilidade quando exposta	SIM
<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Myrtaceae	grumixama	T	ZOO <sup>1</sup>	Floresce: set-nov Frutifica: nov-dez	Moderadamente pesada, dura, de média resistência ao apodrecimento	NÃO
<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	Rutaceae	guarantã	T	AUT <sup>4</sup>	Floresce: set-jan Frutifica: jul-ago	Pesada, dura, compacta, de grande durabilidade em ambientes externos	NÃO
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Ness	Lauraceae	canela-sebo	T	ZOO <sup>1</sup>	Floresce: jul-ago Frutifica: nov-dez	Leve, mole, moderadamente resistente ao apodrecimento	NÃO
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	Rhamnaceae	tarumáí	T	ZOO <sup>1</sup>	Floresce: out-nov Frutifica: dez-mar	Pesada, dura, altamente resistente ao apodrecimento	NÃO
<i>Rauvolfia sellowii</i> Mull. Arg.	Apocynaceae	casca-d'anta	T	ZOO <sup>1</sup>	Floresce: set-nov Frutifica: jan-mar	Leve, mole, pouco compacta, de baixa durabilidade natural	NÃO

\* FONTE: 1: LORENZI, 2008; 2: TOSCAN, 2013; 3: MOTA, 2013; 4: MÔNICO, 2012.











**APÊNDICE B**– Tabela com as datas de implantação do experimento em campo, e os posteriores censos realizados, durante o período de, aproximadamente, seis meses de monitoramento do experimento de transplante de mudas, realizado em três reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil.

<b>Reflorestamento</b>	<b>Censo</b>	<b>Tempo do experimento em campo</b>	<b>Data</b>
1	Implantação		29 e 30/10/2013
1	Pós-implantação		30/10/2013
1	Censo de 15 dias	1 mês	14/11/2013
1	Censo de 30 dias	1 mês	05/12/2013
1	Censo de 45 dias	2 meses	18/12/2013
1	Censo de 60 dias	2 meses	10/01/2014
1	Censo de 75 dias	3 meses	28/01/2014
1	Censo de 90 dias	3 meses	11/02/2014
1	Censo de 120 dias	4 meses	11/03/2014
1	Censo de 150 dias	5 meses	09 e 11/04/2014
1	Censo de 180 dias	6 meses	14/05/2014
2	Implantação		09 e 10/10/2013
2	Pós-implantação		-
2	Censo de 15 dias	1 mês	24/10/2013
2	Censo de 30 dias	1 mês	13/11/2013
2	Censo de 45 dias	2 meses	04/12/2013
2	Censo de 60 dias	2 meses	17/12/2013
2	Censo de 75 dias	3 meses	09/01/2014
2	Censo de 90 dias	3 meses	24/01/2014
2	Censo de 120 dias	4 meses	25/02/2014
2	Censo de 150 dias	5 meses	27/03/2014
2	Censo de 180 dias	6 meses	28/04/2014
3	Implantação		22 e 23/10/2013
3	Pós-implantação		23/10/2013
3	Censo de 15 dias	1 mês	12/11/2013
3	Censo de 30 dias	1 mês	03/12/2013
3	Censo de 45 dias	2 meses	16/12/2013
3	Censo de 60 dias	2 meses	08/01/2014
3	Censo de 75 dias	3 meses	23/01/2014
3	Censo de 90 dias	3 meses	07/02/2014
3	Censo de 120 dias	4 meses	7 e 10/3/2014
3	Censo de 150 dias	5 meses	08 e 09/04/2014
3	Censo de 180 dias	6 meses	12/05/2014











**APÊNDICE C**– Precipitação total (barras azuis), temperatura média do ar (linhas vermelhas) e umidade do solo (média  $\pm$  desvio padrão) do período de monitoramento em campo do experimento de transplante de mudas, realizado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. I: implantação; 60A: 60 dias antes da implantação; 30A: 30 dias antes da implantação; 30D: 30 dias depois do último censo; 60D: 60 dias depois do último censo. Fonte dos dados de precipitação e temperatura do ar: Instituto Agrônomo do Paraná – Estação Agrometeorológica de Bela Vista do Paraíso - PR.













**APÊNDICE D**– *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.

<p>0 – 10% (imagem 8%)</p> 	<p>11 – 20% (imagem 15%)</p> 	<p>21 – 30% (imagem 30%)</p> 
<p>31 – 40% (imagem 38%)</p> 	<p>41 – 50% (imagem 45%)</p> 	<p>51 – 60% (imagem 60%)</p> 
<p>61 – 70% (imagem 70%)</p> 	<p>71 – 80% (imagem 75%)</p> 	<p>81 – 90% (imagem 85%)</p> 
 <p>91 – 100% (imagem 94%)</p>		











**APÊNDICE E**– *Citharexylum myrianthum* Cham.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.

<p>0 – 10% (imagem 4%)</p> 	<p>11 – 20% (imagem 15%)</p> 	<p>21 – 30% (imagem 25%)</p> 
<p>31 – 40% (imagem 40%)</p> 	<p>41 – 50% (imagem 42%)</p> 	<p>51 – 60% (imagem 55%)</p> 
<p>61 – 70% (imagem 65%)</p> 	<p>71 – 80% (imagem 75%)</p> 	<p>81 – 90% (imagem )</p> 
 <p>91 – 100% (folha inteira cortada por formiga cortadeira, restando somente o pecíolo, equivale a 100%)</p>		






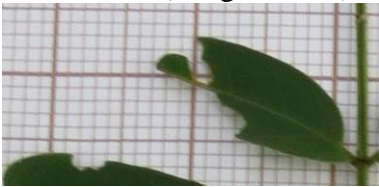
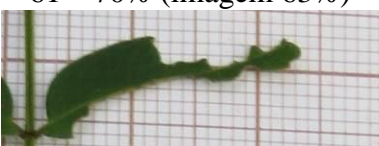

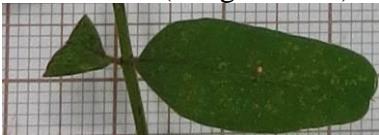

**APÊNDICE F**– *Croton floribundus* Spreng.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.

<p>0 – 10% (imagem 3%)</p> 	<p>11 – 20% (imagem 15%)</p> 	<p>21 – 30% (imagem 30%)</p> 
<p>31 – 40% (imagem 35%)</p> 	<p>41 – 50% (imagem 50%)</p> 	<p>51 – 60% (imagem 55%)</p> 
<p>61 – 70% (imagem 65%)</p> 	<p>71 – 80% (imagem 75%)</p> 	<p>81 – 90% (imagem 85%)</p> 
 <p>91 – 100% (folha inteira cortada por formiga cortadeira, restando somente o pecíolo, equivale a 100%)</p>		

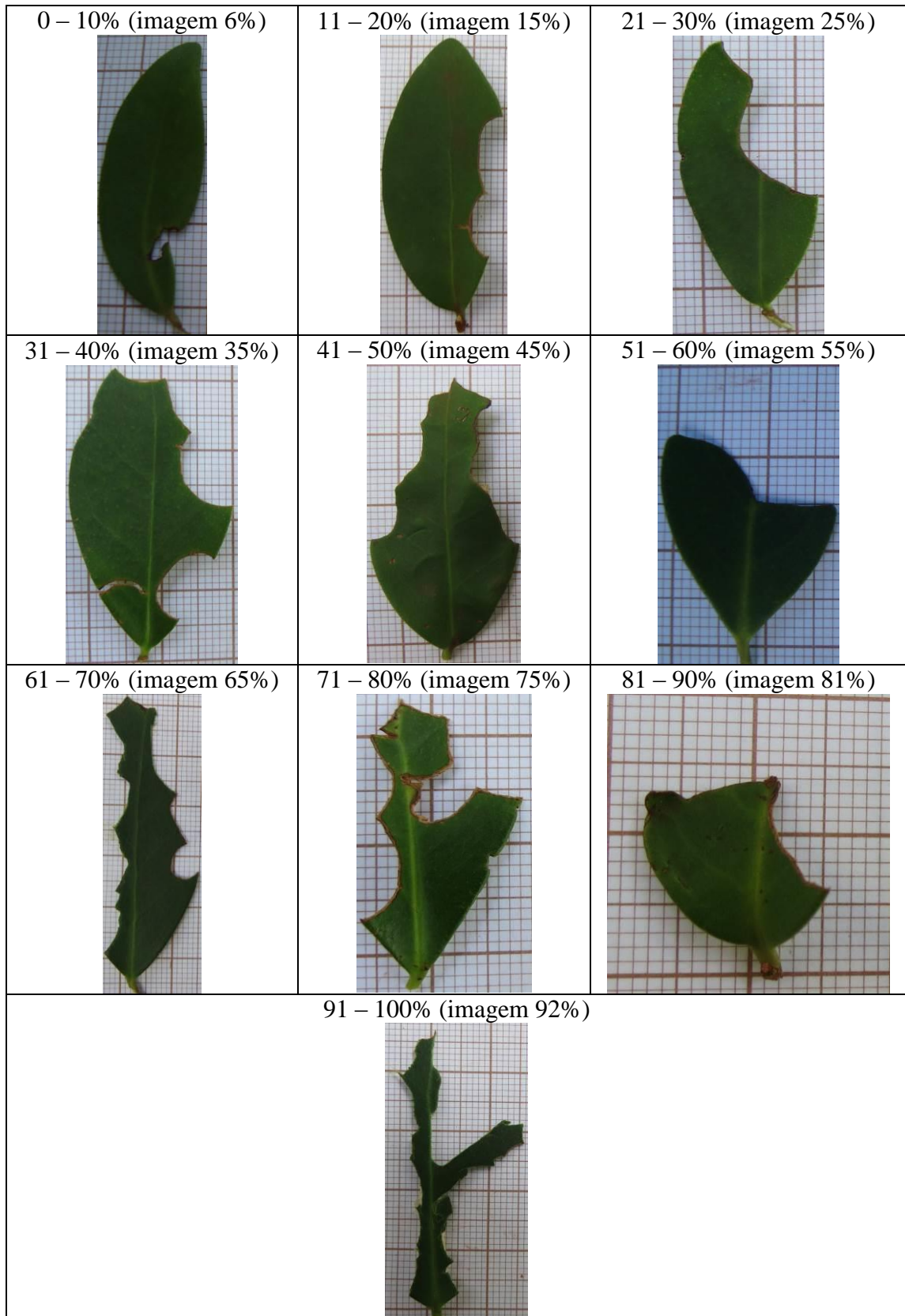
**APÊNDICE G**– *Heliocarpus popayanensis* Kunth: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.

<p>0 – 10% (imagem 8%)</p> 	<p>11 – 20% (imagem 12%)</p> 	<p>21 – 30% (imagem 30%)</p> 	
<p>31 – 40% (imagem 35%)</p> 	<p>41 – 50% (imagem 45%)</p> 	<p>51 – 60% (imagem 55%)</p> 	
<p>61 – 70% (imagem 65%)</p> 	<p>71 – 80% (imagem 75%)</p> 	<p>81 – 90% (imagem 90%)</p> 	
			<p>91 – 100% (folha inteira cortada por formiga cortadeira, restando somente o pecíolo, equivale a 100%)</p>











**APÊNDICE H**– *Senna multijuga* (Rich.) H.S.Irwin & Barneby: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. Em alguns casos o recorte da imagem foi feito de modo a deixar outro folíolo para comparação do real tamanho do folíolo herbivorado.

<p>0 – 10% (imagem 5%)</p> 	<p>11 – 20% (imagem 12%)</p> 	<p>21 – 30% (imagem 25%)</p> 
<p>31 – 40% (imagem 37%)</p> 	<p>41 – 50% (imagem 50%)</p> 	<p>51 – 60% (imagem 60%)</p> 
<p>61 – 70% (imagem 63%)</p> 	<p>71 – 80% (imagem 75%)</p> 	<p>81 – 90% (imagem 85%)</p> 
 <p>91 – 100% (folha inteira cortada por formiga cortadeira, restando somente o pecíolo, equivale a 100%)</p>		











**APÊNDICE I**– *Eugenia brasiliensis* Lam.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.













**APÊNDICE J**– *Esenbeckia leiocarpa* Engl.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.

0 – 10% (imagem 4%) 	11 – 20% (imagem 15%) 	21 – 30% (imagem 25%) 
31 – 40% (imagem 35%) 	41 – 50% (imagem 45%) 	51 – 60% (imagem 52%) 
61 – 70% (imagem 65%) 	71 – 80% (imagem 75%) 	81 – 90% (imagem 85%) 
91 – 100% (imagem 94%) 		

**APÊNDICE K**– *Ocotea puberula* (Rich.) Ness: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.

<p>0 – 10% (imagem 6%)</p> 	<p>11 – 20% (imagem 15%)</p> 	<p>21 – 30% (imagem 25%)</p> 
<p>31 – 40% (imagem 35%)</p> 	<p>41 – 50% (imagem 45%)</p> 	<p>51 – 60% (imagem 55%)</p> 
<p>61 – 70% (imagem 70%)</p> 	<p>71 – 80% (imagem 75%)</p> 	<p>81 – 90% (imagem 85%)</p> 
 <p>91 – 100% (folha inteira cortada por formiga cortadeira, restando somente o pecíolo, equivale a 100%)</p>		

**APÊNDICE L**– *Rhamnidium elaeocarpum* Reissek: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria.

<p>0 – 10% (imagem 3%)</p> 	<p>11 – 20% (imagem 12%)</p> 	<p>21 – 30% (imagem 25%)</p> 
<p>31 – 40% (imagem 38%)</p> 	<p>41 – 50% (imagem 40%)</p> 	<p>51 – 60% (imagem 55%)</p> 
<p>61 – 70% (imagem 65%)</p> 	<p>71 – 80% (imagem 75%)</p> 	<p>81 – 90% (imagem 85%)</p> 
 <p>91 – 100% (folha inteira cortada por formiga cortadeira, restando somente o pecíolo, equivale a 100%)</p>		

**APÊNDICE M**– *Rauvolfia sellowii* Mull. Arg.: prancha com fotos da porcentagem visual de dano foliar, realizada por formigas cortadeiras ou outros tipos de herbívoros, empregada para calcular o índice de herbivoria. Essa prancha não foi possível ser realizada completa, devido à maioria das mudas estarem sem folhas quando foram realizadas as fotos em campo.



Folha inteira cortada por formiga cortadeira, restando somente o pecíolo, equivaleu a 100% de herbivoria.

**APÊNDICE N**– Matriz de correlação utilizando o coeficiente de correlação de Pearson entre as seguintes variáveis: polifenóis totais ( $\mu\text{g}/\text{gr}$  de extrato); flavonóides ( $\mu\text{g}/\text{gr}$  de extrato) e taninos condensados (%).

	<b>Polifenóis totais</b>	<b>Flavonóides</b>	<b>Taninos condensados</b>
<b>Polifenóis totais</b>	1	0.68	0.71
<b>Flavonóides</b>		1	0.49
<b>Taninos condensados</b>			1

**APÊNDICE O-** Índice de herbivoria (média  $\pm$  desvio padrão) por formigas cortadeiras (IH-LCA) dos nove censos realizados durante o monitoramento do experimento de transplante de mudas, implantado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. DP: desvio padrão; T: tratamento; C: controle; AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauwolfia sellowii*.

Áreas	T/C	Espécies	15 dias		30 dias		45 dias		60 dias		75 dias		90 dias		120 dias		150 dias		180 dias	
			Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP
1	C	AI	0,00	0,00	0,12	0,30	0,00	0,00	0,01	0,05	0,03	0,11	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	0,02	0,14	0,60
1	C	CF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,75	0,28	0,62	0,17	0,45	0,09	0,20	0,06	0,18	0,20	0,80
1	C	CM	0,00	0,00	0,05	0,16	0,00	0,00	0,03	0,12	0,02	0,09	0,00	0,00	0,42	1,41	0,17	0,82	0,14	0,61
1	C	EB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	C	EL	0,18	0,70	0,02	0,10	0,05	0,19	0,07	0,19	0,08	0,20	0,09	0,20	0,09	0,19	0,30	1,01	0,11	0,25
1	C	HP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	1,05	0,25	1,01	0,00	0,00	0,03	0,15	0,00	0,01	0,48	1,14
1	C	OP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,04	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,02
1	C	RE	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,15	0,03	0,14	0,06	0,16	0,06	0,13	0,05	0,11	0,10	0,20
1	C	RS	0,00	0,00	0,10	0,35	0,03	0,13	0,25	0,65	0,17	0,61	0,11	0,33	0,13	0,27	0,33	1,07	0,26	0,69
1	C	SM	0,12	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,02	0,09	0,46	0,06	0,30	0,03	0,11	0,05	0,10	0,12	0,36
1	C	<b>Média</b>	0,03	0,30	0,03	0,16	0,01	0,07	0,13	0,57	0,10	0,46	0,05	0,22	0,11	0,58	0,10	0,55	0,16	0,58
1	T	AI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,01	0,05	0,01	0,05	0,02	0,09	0,01	0,06	0,00	0,00	0,36	1,20
1	T	CF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,17	0,07	0,19	0,00	0,00	0,78	1,77	0,08	0,36	0,20	0,78
1	T	CM	0,12	0,60	0,23	1,00	0,02	0,05	0,07	0,26	0,04	0,16	0,24	1,00	0,09	0,24	0,12	0,31	0,38	0,94
1	T	EB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,05	0,24	0,06	0,20	0,05	0,19	0,04	0,20	0,05	0,19
1	T	EL	0,27	1,04	0,04	0,13	0,30	1,02	0,29	0,62	0,24	0,45	0,11	0,28	0,27	0,88	0,08	0,23	0,08	0,21
1	T	HP	0,60	1,66	0,11	0,37	0,01	0,06	0,20	0,88	0,50	1,16	0,19	0,56	0,09	0,22	0,48	1,31	0,44	1,29
1	T	OP	0,01	0,05	0,00	0,00	0,02	0,09	0,26	1,00	0,02	0,08	0,02	0,08	0,03	0,10	0,00	0,00	0,02	0,08
1	T	RE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,03	0,14	0,04	0,15	0,05	0,17	0,10	0,26	0,11	0,25	0,13	0,27
1	T	RS	0,22	0,69	0,19	0,57	0,17	0,52	0,22	0,76	0,06	0,17	0,23	1,02	0,54	1,54	0,01	0,03	0,33	1,19
1	T	SM	0,37	1,14	0,00	0,00	0,17	0,86	0,00	0,00	0,03	0,16	0,00	0,00	0,07	0,18	0,04	0,08	0,33	0,60
1	T	<b>Média</b>	0,16	0,78	0,06	0,39	0,07	0,46	0,12	0,54	0,11	0,44	0,09	0,50	0,20	0,83	0,10	0,47	0,23	0,77
1	<b>Média</b>		0,09	0,60	0,04	0,30	0,04	0,33	0,13	0,56	0,10	0,45	0,07	0,39	0,16	0,71	0,10	0,51	0,19	0,68

Continuação...

2	C	AI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	1,07	0,03	0,17	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,33	0,35	1,19	0,00	0,02
2	C	CF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,40	0,30	1,02	0,12	0,25	0,22	0,69	0,55	1,42	0,13	0,36
2	C	CM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,13	0,07	0,18	0,20	1,00	0,07	0,14
2	C	EB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,24	0,94	0,07	0,20
2	C	EL	0,00	0,00	0,20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,13	0,02	0,07	0,05	0,12	0,08	0,24	0,17	0,47
2	C	HP	0,01	0,03	0,00	0,00	0,31	0,69	0,73	1,57	0,58	1,42	0,15	0,37	0,48	1,39	0,04	0,15	0,35	1,20
2	C	OP	0,00	0,00	0,20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,00	0,02	0,08	0,02	0,08	0,31	0,93	0,70	1,44
2	C	RE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,21	0,07	0,20	0,06	0,15	0,10	0,25	0,07	0,18	0,11	0,23	0,29	1,00
2	C	RS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,28	1,06	0,00	0,00	0,04	0,17	0,00	0,00	2,50	2,56	1,91	2,44
2	C	SM	0,20	1,00	0,08	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,04	0,13	0,01	0,04	0,02	0,08	0,20	0,32
2	C	<b>Média</b>	0,02	0,32	0,05	0,46	0,08	0,43	0,12	0,65	0,12	0,65	0,05	0,19	0,11	0,54	0,41	1,26	0,27	0,90
2	T	AI	0,01	0,05	0,20	0,49	0,05	0,14	0,18	0,61	0,34	1,01	0,39	1,02	0,77	1,43	0,55	1,28	0,99	1,52
2	T	CF	0,22	1,00	0,51	1,29	0,24	0,86	0,68	1,46	0,13	0,37	0,51	1,07	0,78	1,48	1,55	2,10	1,02	1,57
2	T	CM	0,09	0,25	0,21	0,50	0,49	1,38	0,10	0,25	0,17	0,28	0,38	0,42	0,58	1,43	0,38	1,03	1,27	1,71
2	T	EB	0,00	0,00	0,40	1,38	0,21	1,00	0,31	1,04	0,15	0,38	0,14	0,39	0,44	1,00	0,28	0,61	0,42	0,90
2	T	EL	0,31	0,83	1,85	1,99	0,61	1,18	0,41	0,72	0,67	1,02	0,88	1,27	0,67	0,99	1,04	1,53	1,53	1,87
2	T	HP	0,82	1,68	1,74	2,19	0,49	1,12	1,19	2,01	0,79	1,67	0,82	1,73	0,22	0,78	0,90	1,96	1,34	1,89
2	T	OP	0,60	1,66	1,18	2,08	0,46	1,38	0,01	0,06	0,86	1,65	0,49	1,38	0,68	1,50	0,95	1,81	1,33	1,81
2	T	RE	0,16	0,80	0,71	1,47	0,20	1,00	0,18	0,63	0,06	0,13	0,10	0,22	0,27	0,99	0,34	0,70	0,38	1,02
2	T	RS	0,42	1,41	0,89	1,69	0,54	1,14	0,92	1,62	1,03	1,94	0,22	0,54	0,41	1,14	1,53	2,19	3,15	2,48
2	T	SM	0,66	1,66	0,50	1,28	0,03	0,14	0,02	0,10	0,15	0,43	0,46	0,59	1,05	1,66	1,42	1,75	2,28	1,92
2	T	<b>Média</b>	0,33	1,14	0,82	1,62	0,33	1,03	0,40	1,10	0,43	1,11	0,44	1,00	0,60	1,28	0,87	1,58	1,22	1,72
2	<b>Média</b>		0,17	0,85	0,44	1,25	0,21	0,80	0,26	0,91	0,28	0,92	0,25	0,74	0,35	1,00	0,63	1,45	0,73	1,43
3	C	AI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	C	CF	0,40	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,02	0,09	0,11	0,40	0,15	0,67	0,20	1,00
3	C	CM	0,11	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03	0,17	0,80
3	C	EB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	C	EL	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	0,01	0,03	0,00	0,00	0,14	0,46	0,25	1,04	0,13	0,44
3	C	HP	0,05	0,24	0,03	0,13	0,40	1,38	0,26	1,01	0,05	0,21	0,40	1,38	0,06	0,22	0,21	0,87	0,47	1,24
3	C	OP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,21	0,03	0,12	0,08	0,29	0,03	0,12	0,00	0,00	0,07	0,23

Continuação...

3	C	<i>RE</i>	0,00	0,00	0,02	0,12	0,03	0,12	0,36	0,59	0,42	0,65	0,37	0,59	0,47	0,49	0,74	0,86	0,74	0,67
3	C	<i>RS</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,09	0,00	0,00
3	C	<i>SM</i>	0,13	0,67	0,00	0,00	0,20	1,00	0,10	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,72	0,22	0,38
3	C	<b>Média</b>	0,07	0,53	0,00	0,05	0,07	0,55	0,09	0,44	0,05	0,25	0,09	0,50	0,09	0,30	0,19	0,72	0,21	0,69
3	T	<i>AI</i>	0,07	0,33	0,02	0,08	0,20	1,00	0,02	0,08	0,54	1,35	0,15	0,42	0,18	0,59	0,35	1,22	0,36	0,98
3	T	<i>CF</i>	0,53	1,38	0,21	1,00	0,28	1,02	0,24	1,00	1,03	1,93	0,07	0,27	0,17	0,78	0,33	1,15	0,02	0,06
3	T	<i>CM</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	1,42	0,03	0,13	0,03	0,11	0,15	0,40	0,07	0,33	0,08	0,18	0,60	1,24
3	T	<i>EB</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,01	0,05	0,01	0,04
3	T	<i>EL</i>	0,97	1,83	0,54	1,32	0,70	1,42	0,15	0,50	0,19	0,81	0,06	0,17	0,05	0,15	0,13	0,32	0,31	0,82
3	T	<i>HP</i>	1,06	1,74	0,23	0,64	1,59	2,32	0,08	0,28	0,03	0,09	0,26	1,01	0,38	0,78	0,62	1,19	0,19	0,39
3	T	<i>OP</i>	0,00	0,00	0,20	1,00	0,25	1,04	0,30	1,09	0,26	1,07	0,15	0,62	0,29	1,04	0,64	1,44	0,44	1,33
3	T	<i>RE</i>	0,00	0,00	0,12	0,40	0,10	0,29	0,24	0,40	0,58	1,08	0,36	0,50	0,63	1,11	0,94	1,34	0,77	0,73
3	T	<i>RS</i>	0,52	1,29	0,15	0,42	0,33	1,02	0,22	0,70	0,10	0,41	0,07	0,22	0,02	0,11	0,05	0,21	0,00	0,00
3	T	<i>SM</i>	0,77	1,64	0,15	0,51	0,02	0,08	0,00	0,00	0,50	1,43	0,07	0,32	0,18	0,63	0,28	0,82	0,68	1,30
3	T	<b>Média</b>	0,39	1,18	0,16	0,69	0,40	1,24	0,12	0,56	0,32	1,06	0,13	0,47	0,19	0,66	0,33	0,94	0,34	0,87
3	<b>Média</b>		0,23	0,93	0,08	0,50	0,23	0,97	0,11	0,50	0,19	0,78	0,11	0,49	0,14	0,52	0,26	0,84	0,28	0,79
<b>Média</b>			0,17	0,81	0,19	0,82	0,16	0,75	0,16	0,68	0,19	0,75	0,14	0,57	0,22	0,78	0,33	1,03	0,39	1,03

**APÊNDICE P-** Índice de herbivoria (média  $\pm$  desvio padrão) por outros tipos de herbívoros (IH-OH) dos nove censos realizados durante o monitoramento do experimento de transplante de mudas, implantado em reflorestamentos localizados na margem paranaense do Reservatório de Capivara, Primeiro de Maio, Paraná, Brasil. DP: desvio padrão; T: tratamento; C: controle; AI: *Aegiphila integrifolia*; CF: *Croton floribundus*; CM: *Citharexylum myrianthum*; HP: *Heliocarpus popayanensis*; SM: *Senna multijuga*; EB: *Eugenia brasiliensis*; EL: *Esenbeckia leiocarpa*; OP: *Ocotea puberula*; RE: *Rhamnidium elaeocarpum*; RS: *Rauvolfia sellowii*.

Áreas	T/C	Espécies	15 dias		30 dias		45 dias		60 dias		75 dias		90 dias		120 dias		150 dias		180 dias	
			Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP	Média	$\pm$ DP
1	C	AI	0,02	0,05	0,67	1,16	0,43	0,57	0,55	0,62	0,82	1,13	0,60	0,82	0,65	0,80	0,78	0,84	0,75	0,97
1	C	CF	2,71	1,33	1,95	1,01	1,70	1,13	1,10	0,88	0,71	0,65	0,39	0,51	0,33	0,35	0,26	0,27	0,37	0,47
1	C	CM	0,04	0,09	0,42	0,80	0,20	0,28	0,29	0,29	0,45	0,50	0,44	0,60	0,32	0,45	0,35	0,49	0,31	0,42
1	C	EB	0,01	0,03	0,05	0,08	0,01	0,05	0,04	0,07	0,05	0,10	0,03	0,10	0,03	0,09	0,03	0,08	0,04	0,07
1	C	EL	0,26	0,32	0,42	0,52	0,43	0,48	0,55	0,50	0,68	0,48	0,41	0,48	0,52	0,44	0,63	0,43	0,57	0,33
1	C	HP	0,45	1,00	0,68	0,55	0,69	0,41	0,58	0,53	0,58	0,49	0,34	0,40	0,64	0,42	0,84	0,50	0,65	0,47
1	C	OP	0,05	0,16	0,07	0,16	0,10	0,33	0,06	0,12	0,09	0,17	0,05	0,13	0,22	0,40	0,10	0,26	0,23	0,40
1	C	RE	0,00	0,02	0,06	0,10	0,06	0,09	0,11	0,11	0,13	0,16	0,06	0,13	0,12	0,16	0,15	0,18	0,14	0,15
1	C	RS	0,00	0,00	0,16	0,26	0,13	0,20	0,24	0,38	0,50	0,53	0,44	0,51	0,64	0,80	0,47	0,59	0,43	0,60
1	C	SM	0,09	0,21	0,12	0,14	0,07	0,08	0,26	0,35	0,30	0,36	0,35	0,36	0,27	0,30	0,28	0,33	0,26	0,31
1	C	Média	0,36	0,96	0,46	0,81	0,38	0,67	0,38	0,54	0,43	0,59	0,32	0,49	0,38	0,51	0,40	0,52	0,38	0,52
1	T	AI	0,03	0,07	0,98	1,50	0,40	0,50	0,53	0,70	0,60	0,74	0,31	0,41	0,34	0,27	0,50	0,37	0,44	0,41
1	T	CF	2,74	1,36	2,09	1,08	1,73	1,03	1,09	0,91	0,82	0,63	0,47	0,46	0,43	0,37	0,30	0,33	0,55	0,54
1	T	CM	0,05	0,11	0,42	0,54	0,60	0,81	0,53	0,42	0,86	0,91	0,62	0,77	0,64	0,65	0,66	0,72	0,69	0,72
1	T	EB	0,06	0,11	0,08	0,17	0,06	0,15	0,04	0,07	0,08	0,13	0,12	0,31	0,07	0,11	0,10	0,21	0,10	0,28
1	T	EL	0,33	0,47	0,26	0,38	0,46	0,79	0,42	0,64	0,93	1,13	0,54	0,64	0,67	0,49	0,62	0,45	0,69	0,53
1	T	HP	0,21	0,21	0,83	0,67	0,78	0,58	0,66	0,50	0,63	0,56	0,44	0,70	0,80	0,57	0,70	0,66	0,85	0,61
1	T	OP	0,02	0,07	0,05	0,09	0,05	0,10	0,07	0,13	0,16	0,20	0,06	0,15	0,10	0,19	0,23	0,33	0,17	0,25
1	T	RE	0,01	0,04	0,12	0,16	0,19	0,16	0,17	0,15	0,22	0,29	0,14	0,23	0,18	0,17	0,22	0,25	0,22	0,20
1	T	RS	0,01	0,04	0,26	0,44	0,19	0,28	0,28	0,32	0,40	0,39	0,40	0,53	0,61	1,01	0,42	0,81	0,27	0,65
1	T	SM	0,02	0,06	0,15	0,14	0,10	0,17	0,24	0,23	0,31	0,23	0,29	0,23	0,25	0,21	0,32	0,35	0,30	0,33
1	T	Média	0,35	0,93	0,52	0,90	0,46	0,73	0,40	0,56	0,50	0,67	0,34	0,51	0,40	0,52	0,40	0,50	0,43	0,52
1	Média		0,35	0,94	0,49	0,86	0,42	0,70	0,39	0,55	0,47	0,63	0,33	0,50	0,39	0,52	0,40	0,51	0,40	0,52

Continuação...

2	C	<i>AI</i>	0,01	0,06	0,16	0,44	1,30	1,49	0,76	0,98	0,52	1,03	1,21	1,25	0,68	0,87	0,35	0,49	0,51	0,63
2	C	<i>CF</i>	1,25	1,33	1,97	1,25	1,80	1,09	1,57	1,01	1,40	0,85	1,04	0,87	0,74	0,72	0,47	0,34	0,98	0,97
2	C	<i>CM</i>	0,01	0,03	0,04	0,07	0,49	0,52	0,22	0,33	0,39	0,46	0,76	0,72	0,82	0,75	0,71	0,87	0,65	0,67
2	C	<i>EB</i>	0,02	0,06	0,02	0,05	0,05	0,14	0,09	0,21	0,10	0,26	0,13	0,24	0,13	0,19	0,08	0,11	0,12	0,18
2	C	<i>EL</i>	0,18	0,41	0,27	0,40	0,46	0,70	0,36	0,45	0,36	0,47	0,43	0,35	0,60	0,50	0,65	0,49	0,76	0,49
2	C	<i>HP</i>	0,04	0,12	0,30	0,25	1,29	0,79	1,15	0,79	1,49	0,97	1,27	0,82	1,15	0,99	0,92	0,64	0,98	0,66
2	C	<i>OP</i>	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,07	0,07	0,14	0,10	0,16	0,10	0,15	0,11	0,15	0,15	0,20	0,14	0,16
2	C	<i>RE</i>	0,00	0,00	0,02	0,08	0,16	0,23	0,16	0,20	0,19	0,21	0,21	0,18	0,14	0,14	0,23	0,18	0,25	0,23
2	C	<i>RS</i>	0,00	0,00	0,01	0,05	0,17	0,42	0,08	0,12	0,12	0,21	0,29	0,36	0,19	0,32	0,42	1,13	0,14	0,27
2	C	<i>SM</i>	0,00	0,00	0,05	0,12	0,27	0,41	0,24	0,43	0,25	0,37	0,29	0,35	0,27	0,27	0,30	0,25	0,35	0,29
2	C	<b>Média</b>	0,15	0,57	0,29	0,72	0,61	0,93	0,47	0,74	0,49	0,76	0,57	0,76	0,50	0,67	0,43	0,60	0,52	0,62
2	T	<i>AI</i>	0,07	0,30	0,13	0,33	1,77	1,47	0,93	0,74	1,51	1,42	0,65	0,80	0,76	0,70	0,87	1,18	0,54	0,82
2	T	<i>CF</i>	1,12	1,07	1,84	1,60	1,42	1,11	1,18	1,03	0,98	0,90	0,48	0,46	0,45	0,55	0,40	0,45	0,56	0,73
2	T	<i>CM</i>	0,02	0,08	0,07	0,13	0,82	1,02	0,41	0,47	0,46	0,43	0,66	0,61	0,95	1,10	0,95	1,20	0,49	0,48
2	T	<i>EB</i>	0,00	0,00	0,02	0,07	0,03	0,06	0,02	0,06	0,06	0,10	0,08	0,18	0,10	0,13	0,36	0,99	0,16	0,22
2	T	<i>EL</i>	0,09	0,34	0,12	0,41	0,64	0,68	0,78	0,56	0,83	0,74	0,48	0,43	0,69	0,66	0,83	1,14	0,83	0,83
2	T	<i>HP</i>	0,03	0,09	0,25	0,39	0,92	0,85	1,08	0,90	0,35	0,69	0,53	1,08	0,43	0,76	0,26	0,52	0,37	0,57
2	T	<i>OP</i>	0,03	0,10	0,03	0,14	0,02	0,05	0,15	0,26	0,15	0,25	0,13	0,19	0,12	0,23	0,08	0,13	0,09	0,17
2	T	<i>RE</i>	0,00	0,00	0,05	0,14	0,19	0,23	0,32	0,31	0,41	0,44	0,27	0,19	0,23	0,19	0,24	0,17	0,36	0,29
2	T	<i>RS</i>	0,00	0,00	0,04	0,13	0,17	0,26	0,27	0,67	0,38	0,91	0,24	0,45	0,22	0,44	0,08	0,20	0,00	0,00
2	T	<i>SM</i>	0,00	0,00	0,05	0,14	0,27	0,35	0,27	0,38	0,34	0,29	0,36	0,26	0,22	0,23	0,43	0,99	0,18	0,26
2	T	<b>Média</b>	0,14	0,49	0,26	0,76	0,62	0,95	0,55	0,72	0,55	0,82	0,39	0,57	0,42	0,63	0,47	0,88	0,38	0,56
2	<b>Média</b>		0,14	0,53	0,27	0,74	0,62	0,94	0,51	0,73	0,52	0,79	0,48	0,68	0,46	0,65	0,45	0,75	0,46	0,60
3	C	<i>AI</i>	0,07	0,32	0,04	0,09	0,10	0,21	0,42	0,79	0,26	0,31	0,16	0,19	0,17	0,26	0,19	0,45	0,13	0,31
3	C	<i>CF</i>	0,25	0,56	0,30	0,78	0,40	0,60	0,60	0,53	0,56	0,66	0,55	0,69	0,44	0,48	0,27	0,52	0,28	0,41
3	C	<i>CM</i>	0,04	0,06	0,03	0,07	0,07	0,09	0,15	0,32	0,13	0,14	0,14	0,12	0,10	0,15	0,12	0,12	0,17	0,20
3	C	<i>EB</i>	0,03	0,08	0,01	0,06	0,06	0,10	0,03	0,09	0,05	0,11	0,03	0,08	0,04	0,08	0,07	0,11	0,06	0,08
3	C	<i>EL</i>	0,04	0,09	0,17	0,32	0,28	0,45	0,33	0,71	0,44	1,02	0,50	1,23	0,41	0,70	0,53	0,75	0,56	0,75
3	C	<i>HP</i>	0,13	0,17	0,21	0,27	0,27	0,24	0,41	0,27	0,44	0,28	0,45	0,33	0,55	0,27	0,56	0,32	0,69	0,52
3	C	<i>OP</i>	0,05	0,12	0,06	0,19	0,09	0,19	0,05	0,17	0,05	0,19	0,08	0,28	0,18	0,36	0,24	0,35	0,27	0,51

Continuação...

3	C	<i>RE</i>	0,03	0,07	0,01	0,03	0,05	0,09	0,05	0,09	0,07	0,10	0,13	0,15	0,07	0,14	0,07	0,14	0,04	0,07
3	C	<i>RS</i>	0,03	0,15	0,01	0,04	0,05	0,18	0,12	0,28	0,23	0,50	0,18	0,37	0,33	0,41	0,44	0,65	0,15	0,30
3	C	<i>SM</i>	0,14	0,15	0,09	0,19	0,12	0,19	0,26	0,31	0,35	0,41	0,31	0,44	0,43	1,04	0,20	0,25	0,25	0,24
3	C	<b>Média</b>	0,08	0,24	0,09	0,31	0,15	0,30	0,24	0,46	0,26	0,49	0,26	0,53	0,27	0,50	0,27	0,45	0,26	0,43
3	T	<i>AI</i>	0,05	0,09	0,07	0,09	0,10	0,16	0,12	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12	0,16	0,17	0,25	0,21	0,29
3	T	<i>CF</i>	0,32	0,70	0,15	0,24	0,18	0,21	0,20	0,29	0,23	0,40	0,27	0,53	0,21	0,35	0,19	0,26	0,25	0,41
3	T	<i>CM</i>	0,05	0,11	0,09	0,12	0,09	0,10	0,08	0,11	0,12	0,09	0,14	0,14	0,14	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22
3	T	<i>EB</i>	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02	0,06	0,03	0,06	0,03	0,05
3	T	<i>EL</i>	0,08	0,17	0,19	0,42	0,29	0,39	0,33	0,47	0,32	0,38	0,28	0,33	0,37	0,61	0,36	0,31	0,43	0,43
3	T	<i>HP</i>	0,17	0,30	0,28	0,43	0,28	0,44	0,31	0,34	0,35	0,34	0,36	0,42	0,36	0,38	0,29	0,30	0,33	0,28
3	T	<i>OP</i>	0,00	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,06	0,21	0,10	0,26	0,02	0,05	0,06	0,15	0,12	0,16	0,11	0,14
3	T	<i>RE</i>	0,05	0,12	0,07	0,13	0,11	0,15	0,17	0,30	0,09	0,12	0,10	0,12	0,06	0,08	0,07	0,11	0,08	0,12
3	T	<i>RS</i>	0,03	0,08	0,04	0,09	0,04	0,07	0,16	0,23	0,32	0,37	0,22	0,43	0,22	0,30	0,13	0,21	0,08	0,13
3	T	<i>SM</i>	0,10	0,12	0,04	0,08	0,11	0,21	0,43	0,43	0,44	0,49	0,41	0,51	0,34	0,44	0,45	0,52	0,49	0,62
3	T	<b>Média</b>	0,08	0,27	0,10	0,23	0,12	0,24	0,19	0,31	0,21	0,32	0,20	0,35	0,19	0,33	0,19	0,29	0,22	0,34
3	<b>Média</b>		0,08	0,25	0,09	0,27	0,14	0,27	0,22	0,39	0,24	0,42	0,23	0,45	0,23	0,42	0,23	0,38	0,24	0,39
<b>Média</b>			0,19	0,65	0,29	0,69	0,39	0,72	0,37	0,59	0,41	0,64	0,35	0,56	0,36	0,55	0,36	0,57	0,36	0,52

## ANEXOS

**ANEXO A**– Método de quantificação dos taninos condensados (GUANGCHENG; YUNLU; YAZAKI, 1991). Realizado no Laboratório de Habilidades Farmacêuticas II - Departamento de Ciências Farmacêuticas - Centro de Ciências da Saúde – UEL, com o auxílio dos prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa e Dra. Rúbia Casagrande, e do estagiário Pedro Augusto Goularte, estudante do último ano do curso de Farmácia da UEL.

### A) EXTRAÇÃO

- Triturar folhas frescas da espécie vegetal num moinho de facas.
- Pesar, em balança analítica, as folhas trituradas até completar 5 gr.
- Preparar um decocto (15 minutos) com 5 gr de folha fresca triturada pulverizada com 100 ml de água destilada.
- Esfriar o preparado.
- Filtrar o preparado, por algodão, para um cálice (solução extrativa A).
- Completar o volume do filtrado (solução extrativa A) até 100 ml com água destilada.
- Homogeneizar (solução extrativa A).

### B) REAÇÃO DE STIASNY: separação dos taninos condensados dos hidrolisáveis.

- Preparar no momento do uso o reativo de Stiasny: 5 ml de HCl concentrado + 10 ml de formol, sob refluxo por 20 minutos.
- Submeter a refluxo por 30 minutos: 50 ml de solução extrativa A + 15 ml do reativo de Stiasny = solução extrativa B.
- Pesar, em balança analítica, o papel de filtro que será filtrada a solução extrativa B.
- Filtrar a solução extrativa B com papel de filtro.
- Após a filtragem pesar, em balança analítica, o papel de filtro com o precipitado.
- Os taninos condensados originam um precipitado vermelho (flobafenos).

### C) CÁLCULOS (sem repetição, ou seja, n = 1):

- $\text{Peso do papel filtro final} - \text{peso do papel filtro inicial} = X \text{ (gr)}$
- 100 ml de água destilada com 5 gr de folha, então, 50 ml de água destilada terá 2,5 gr de folha
- 2,5 gr equivale 100%, então, X (gr) terá Y% de taninos condensados.

**ANEXO B**– Método de quantificação dos polifenóis totais (LOWRY *et al.*, 1951). Realizado no Laboratório de Habilidades Farmacêuticas II - Departamento de Ciências Farmacêuticas - Centro de Ciências da Saúde – UEL, com o auxílio dos prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa e Dra. Rúbia Casagrande, do estagiário Pedro Augusto Goularte (estudante do último ano do curso de Farmácia da UEL) e da doutoranda Renata Micheli Martinez (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da UEL).

- **PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS VEGETAIS FOLIARES:**

- 200 gr de folhas frescas de cada espécie foram trituradas em moinho de facas.
- extração dos compostos foi feita por percolação por, aproximadamente, 30 dias com solvente etanol:água (8:2).

- **CURVA PADRÃO**

- solução A: 0,01 g ácido gálico + 5 ml água destilada = 2mg/ml
- solução B: 1 ml da solução A + 5 ml água destilada = 0,4 mg/ml
  - subamostra 1: 5 ml água destilada + 50µl da solução B = 4µg/ml
  - subamostra 2: 5 ml água destilada + 75µl da solução B = 6µg/ml
  - subamostra 3: 5 ml água destilada + 100µl da solução B = 8µg/ml
  - subamostra 4: 5 ml água destilada + 150µl da solução B = 12µg/ml
  - subamostra 5: 5 ml água destilada + 200µl da solução B = 16µg/ml
  - subamostra 6: 5 ml água destilada + 300µl da solução B = 24µg/ml
- BRANCO: 0,5 ml água destilada + 0,5 ml Folin-Ciocalteu + 0,5 ml Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 10%
- CONTROLE (duplicata): 0,5 ml subamostra (1 à 6) + 0,5 ml Folin-Ciocalteu + 0,5 ml água destilada
- TRATAMENTO (triplicata): 0,5 ml subamostra (1 à 6) + 0,5 ml Folin-Ciocalteu + 0,5 ml na Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 10%

$$Y = - 0,07376 + ( 0,05526) x$$

$$R^2 = 0,99$$

Onde: y é a absorbância (760 nm); x é a concentração

- **QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS:**

- amostra A: 0,1 g extrato vegetal + 5 ml solução etanol:água (5:5)
- amostra B: transferir a amostra A para um balão volumétrico de 5 ml e completar com solução de etanol:água (5:5)
- BRANCO: 0,5 ml solução etanol:água (5:5) + 0,5 ml Folin-Ciocalteau + 0,5 ml Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 10%
- CONTROLE (duplicata): 0,5 ml amostra B (extrato vegetal) + 0,5 ml Folin-Ciocalteau + 0,5 ml água destilada
- TRATAMENTO (triplicata): 0,5 ml amostra B (extrato vegetal) + 0,5 ml Folin-Ciocalteau + 0,5 ml Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 10%

Esperou-se uma hora em temperatura ambiente para fazer a leitura no espectrofotômetro, com 760 nm de absorbância.

O conteúdo total de compostos fenólicos foi expresso em mg equivalente de ácido gálico por grama de extrato vegetal, considerando-se o teor de extrato seco das mesmas.

**ANEXO C**– Método de quantificação dos flavonóides (RANI; SHARMA; VASUDEVA, 2012). Realizado no Laboratório de Habilidades Farmacêuticas II - Departamento de Ciências Farmacêuticas - Centro de Ciências da Saúde – UEL, com o auxílio dos prof. Dr. Nilton Syogo Arakawa e Dra. Rúbia Casagrande, do estagiário Pedro Augusto Goularte (estudante do último ano do curso de Farmácia da UEL) e da doutoranda Renata Micheli Martinez (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da UEL).

- **PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS VEGETAIS FOLIARES:**

- 200 gr de folhas frescas de cada espécie foram trituradas em moinho de facas.
- extração dos compostos foi feita por percolação por, aproximadamente, 30 dias com solvente de etanol:água (8:2).

- **DETERMINAÇÃO DA CURVA PADRÃO:**

- solução A: 10 mg quercetina + 5 ml solução etanol:água (8:2) = 2mg/ml
- solução B: 1 ml da solução A + 5 ml solução etanol:água (8:2) = 0,4 mg/ml
  - subamostra 1: 5 ml solução etanol:água (8:2) + 75µl da solução B = 6µg/ml
  - subamostra 2: 5 ml solução etanol:água (8:2) + 100µl da solução B = 8µg/ml

- subamostra 3: 5 ml solução etanol:água (8:2) + 150µl da solução B = 12µg/ml
- subamostra 4: 5 ml solução etanol:água (8:2) + 200µl da solução B = 16µg/ml
- subamostra 5: 5 ml solução etanol:água (8:2) + 300µl da solução B = 24µg/ml
- subamostra 6: 5 ml solução etanol:água (8:2) + 375µl da solução B = 30µg/ml
- BRANCO: 2 ml solução etanol:água (8:2) + 2 ml AlCl<sub>3</sub> a 2% em metanol
- CONTROLE (duplicata): 1,5 ml quercetina + 1,5 ml AlCl<sub>3</sub> a 2% em metanol
- TRATAMENTO (triplicata): 6 pontos de concentrações de quercetina (6, 8, 12, 16, 24 e 30 µg/mL)

$$Y = 0,03567 + (-0,08402) x$$

$$R^2 = 0,99$$

Onde: y é a absorbância (420 nm); x é a concentração

- **QUANTIFICAÇÃO DE FLAVONÓIDES TOTAIS:**
  - amostra A: 0,1 g extrato vegetal + 5 ml solução etanol:água (8:2)
  - amostra B: transferir a amostra A para um balão volumétrico de 5 ml e completar com solução de etanol:água (8:2)
  - BRANCO: 2 ml solução etanol:água (8:2) + 2 ml AlCl<sub>3</sub> a 2% metanol
  - CONTROLE (duplicata): 1,5 ml amostra B (extrato vegetal) + 1,5 ml solução etanol:água (8:2)
  - TRATAMENTO (triplicata): 1,5 ml amostra B (extrato vegetal) + 1,5 ml AlCl<sub>3</sub> a 2% metanol

Esperou-se uma hora em temperatura ambiente para fazer a leitura no espectrofotômetro, com 420 nm de absorbância.

O conteúdo total de flavonóides foi expresso em mg de equivalentes de quercetina por grama de extrato vegetal, considerando o teor de extrato seco das mesmas.

#### **ANEXO D**– Método de quantificação do nitrogênio total (EMBRAPA, 1997).

- **PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS (LABRE - UEL)**
  - Secagem das folhas em estufas a 50°C durante 72 hrs até peso constante;
  - Trituração das folhas em liquidificador;

- Armazenagem em sacos de papéis para posteriores análises.

- QUANTIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO TOTAL (auxílio do prof. Dr. Marco Antônio Nogueira, Embrapa Soja, Londrina, PR, BR)

O teor de nitrogênio total das folhas das dez espécies foi determinado após digestão sulfúrica pelo método de Kjeldahl, segundo Embrapa (1997, p. 89-92), realizando três repetições para cada espécie (n= 3).

## REFERÊNCIAS

- CAVALHEIRO, A.L.; TOREZAN, J.M.D.; FADELLI, L. Recuperação de áreas degradadas: procurando por diversidade e funcionamento dos ecossistemas. p. 213-224. In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O.A.; PIMENTA, J.A. (Eds.). **A bacia do rio Tibagi**. Londrina: Eduel, 2002.
- CURY, R.T.S. **Limitações para a emergência e o estabelecimento de plântulas: remoção de sementes e microclima**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.
- DIAS, M.C.; VIEIRA, A.O.S.; PAIVA, M.R.C. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas das florestas da bacia do rio Tibagi. p. 109-124. In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O.A.; PIMENTA, J.A. (Eds.). **A bacia do rio Tibagi**. Londrina: Eduel, 2002.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2007.
- GUANGCHENG, Z.; YUNLU, L.; YAZAKI, Y. Bark tannin contents of *Acacia mearnsii* provenances and the relationship between the hide-powder and the Stiasny methods of estimation. **Australian Forestry**, v. 54, p. 209-211, 1991.
- LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 1 maio 2015.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
- LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N.J.; FARR, A.L.; RANDALL, R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 193, p. 265-275, 1951.
- MÔNICO, A.C. **Transferência de banco de sementes superficiais como estratégia de enriquecimento de uma floresta em processo de restauração**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.
- MOTA, M.C. **Efeitos da largura da mata ciliar em restauração sobre a comunidade vegetal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.
- RANI, N.; SHARMA, S.K.; VASUDEVA, N. Assessment of antiobesity potential of *Achyranthes aspera* Linn. seed. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, 7 pages, 2012, doi:10.1155/2012/715912.
- TOSCAN, M.A.G. **Produção de serapilheira e chuva de sementes no corredor de biodiversidade Santa Maria, PR**. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos Naturais), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.