



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E  
CONSERVAÇÃO  
MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO



**LIXO DE FORMIGAS CORTADEIRAS E SEU PAPEL NO  
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS**

RAFAELLA SANTANA SANTOS

Mestrado Acadêmico

São Cristóvão  
Sergipe - Brasil  
2016

RAFAELLA SANTANA SANTOS

**LIXO DE FORMIGAS CORTADEIRAS E SEU PAPEL NO  
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Leandro de Sousa Souto

**Coorientador:** Dr. Marcelo Braga Bueno Guerra

São Cristóvão  
Sergipe - Brasil  
2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S2371 Santos, Rafaella Santana.  
Lixo de formigas cortadeiras e seu papel no desenvolvimento de plantas / Rafaella Santana Santos; orientador Leandro de Sousa Souto. – São Cristóvão, 2016.  
61 f.: il.

Dissertação (mestrado em Ecologia e Conservação)–  
Universidade Federal de Sergipe, 2016.

1. Plantas - Cultivo. 2. Formiga. 3. Compostos orgânicos. 4. Hortaliças. I. Souto, Leandro de Sousa, orient. II. Título.

CDU 633:565.79

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**LIXO DE FORMIGAS CORTADEIRAS E O SEU PAPEL NO DESENVOLVIMENTO  
DE PLANTAS**

por

**RAFAELLA SANTANA SANTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

**APROVADA** pela banca examinadora composta por



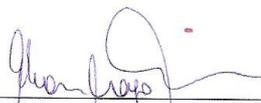
---

**PROF. DR. LEANDRO DE SOUSA SOUTO**  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe



---

**PROF.ª DR.ª MARIA DE FÁTIMA SOUZA DOS SANTOS DE OLIVEIRA**  
Universidade Federal de Sergipe



---

**PROF. DR. EDSON DIOGO TAVARES**  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

São Cristóvão/SE, 29 de julho de 2016

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,  
mas lutei pra que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus,  
não sou o que era antes”.*

**(Martin Luther King)**

## AGRADECIMENTOS

Para começar digo: “Feliz é o dia em que aprendemos algo novo”. Essa foi a frase que marcou minha passagem ao mestrado. Depois de dois anos de trabalho, desespero, noites sem dormir e preocupações diárias, tenho certeza que foram dois anos felizes!

Durante este período tive a oportunidade de conhecer e conviver com pessoas que tornaram a caminhada mais leve, e aqui gostaria de agradecer:

A minha mãe Ivone, pelo amor, esforço para me educar, por sempre se fazer presente, dando total apoio às minhas escolhas, e por abrir mão dos seus sonhos para realizar os meus. Esse mestrado é nosso! A Juliana, pelo carinho, ensinamentos, paciência, conselhos e por aturar e entender meus momentos de estresse. Mais uma conquista nossa Maninha! À minha avó Josefa, por ser meu exemplo de persistência e perseverança e ao meu vô Chico (*in memoriam*), por ser meu anjo protetor. Ao Miguel, por trazer tanta alegria em minha vida e paz nos dias nos mais difíceis E ao meu pai Jorge, por toda ajuda e carinho transmitido. A vocês, especialmente, o meu obrigado. Amo vocês!

A família Geraldo e a Cristiane, pela torcida e por terem me acolhido como se fosse da família. Obrigada.

Ao Leandro, por ter sido “pai postiço” na posição de orientador durante todos esses anos. Sempre presente em todas as etapas do trabalho, desde a escrita, a montagem dos experimentos e nas análises estatísticas. Sem contar as críticas e incentivos, broncas e brincadeiras, que foram colocadas em momentos oportunos. Agradeço por nunca ter soltado a minha mão desde meu ingresso na Universidade, me tornando hoje uma profissional e um ser humano melhor. Gratidão!

Ao meu coorientador Marcelo Braga, por toda disposição em ajudar desde as análises químicas a escrita, além da acolhida na USP, enriquecendo não somente a pesquisa, mas também a minha bagagem acadêmica. Obrigada!

A todos do laboratório de Entomologia – UFS pela acolhida e companheirismo ao longo dos anos. Em especial agradeço a Ranna e a Juci, as duas eu agradeço a paciência, o carinho, os bons e maus momentos compartilhados, por sempre dar aquele “up”

quando desanimava e por toda ajuda na condução nos experimentos. Vocês são as coautoras deste trabalho. Valeu meninas!

A professora Dr<sup>a</sup>. Bianca, pelo incentivo, paciência e grande ajuda da graduação até o ingresso ao mestrado. Obrigada!

A querida Dr<sup>a</sup> Sinara, pelo carinho, paciência, pelas horas de conversas e desabafos, pela disponibilidade e boa vontade em ajudar sempre. Obrigada!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação-PPEC/UFS: Drs (a). Adriana Bocchiglieri, Gustavo Luis Hirose, Aduino Ribeiro e Sidney Goveia pelo prazer e dedicação em ensinar e por vibrar com o crescimento dos seus alunos e do curso.

Aos membros da banca de qualificação, Drs (a). Adriana Bocchiglieri, Sinara Moreira e Délia Pinto, pelas críticas e valiosas sugestões para o melhoramento da pesquisa. E aos Drs (a). Maria de Fátima Souza e Edson Diogo, por aceitarem participar da avaliação final deste trabalho. Agradeço desde já a disponibilidade e o tempo que será dedicado para o engrandecimento do trabalho.

As todas as amizades que fiz, e ou fortaleci ao longo desses dois anos (Eduardo, Saulo, Rodrigo, Miller, Arthur, Rafinha, Joana Paula), em especial a todos dos Catingueiros do Arrocha e a Equipe Saginegue, liderada pelo capitão James, vocês já têm um lugar reservado no meu coração e na minha vida, obrigada pelos ótimos momentos. A turma do Amor (Isa, Natashinha e Vivi), agradeço pela oportunidade de conhecerem cada uma. Os dilúvios do mestrado ao lado de vocês foram transformados em arco-íris. Obrigada por me fazer um ser humano melhor!

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes: Bruno Nascimento, Bruno Melo e Luana Gila, a vocês eu agradeço a paciência por me ouvirem sempre que precisei, pela ajuda nunca recusada e por serem sempre meu suporte emocional. Lembre-se, ainda vamos sorrir de tudo isso em Paris. Aproveito e agradeço a torcida e carinho de Thaisa Alcantâra, Thalles Lavinski, Roseane e Larissa Gila. Obrigada!

Ao Arleu Viana, pela ajuda em todas as partes desta pesquisa, sendo além de grande amigo, um “coorientador”. Agradeço todas as críticas e sugestões, por atender

meus inúmeros pedidos de ajuda nas disciplinas, nas análises estatísticas e na construção do texto. Enjoo, um muito obrigada!

Ao Eduardo Vinicius, pela ajuda indispensável na identificação das espécies vegetais, sua parceria foi primordial para construção do trabalho. Muito obrigada!

A Juliana Cordeiro, pela simpatia e por sempre estar disposta a ajudar e a resolver os “pepinos” da forma mais tranquila possível.

Ao James e a Maria de Fátima, por fornecer a matéria-prima utilizada neste estudo.

A todos os integrantes do EVA (Espaço de Vivência Agroecológica – UFS), pela acolhida e a Dr<sup>a</sup>. Ângela, por permitir que parte do experimento fosse realizada dentro do espaço. A Camila pela grande ajuda na montagem do experimento, e ao Franklin, Uelligton e Will pela ajuda na manutenção.

A Universidade de São Paulo (USP), pela oportunidade de parceria e infraestrutura disponibilizada para realização das análises químicas. À técnica Fátima, agradeço pela recepção e ajuda nas análises.

A Universidade Federal de Sergipe (UFS), pela oportunidade e infraestrutura disponibilizada.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (PPEC), por todo suporte.

A Deus e aos espíritos de luz, pela força de seguir sempre em frente....

**Obrigada!**

*As mulheres da minha vida,  
por todo AMOR : Josefa, Ivone e Juliana*

**DEDICO**

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT .....	iv
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS.....	3

## **CAPÍTULO 1 - Lixo de formigas cortadeiras como substrato para produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) e rúcula (*Eruca sativa*).....7**

Resumo: .....	7
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
2.1. Delineamento experimental .....	10
2.2. Análises biológicas (Vigor) .....	10
2.3. Análises químicas .....	11
2.4. Análises estatísticas .....	12
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>13</b>
3.1. Características físico-químicas dos substratos .....	13
3.2. Parâmetros biológicos das mudas .....	13
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Agradecimentos.....</b>	<b>23</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>23</b>

## **CAPÍTULO 2 - O lixo de saúvas favorece a regeneração vegetal?.....29**

Resumo: .....	29
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
2.1. Área de estudo .....	31
2.2. Levantamento preliminar do banco de herbáceas .....	32
2.3. Delineamento experimental .....	32
2.4. Estimativa da diversidade de herbáceas entre tratamentos .....	33
2.5. Estimativa do vigor de herbáceas entre tratamentos .....	33

2.6. <i>Análise química</i> .....	33
2.7. <i>Análise estatística</i> .....	33
<b>3. RESULTADOS</b> .....	34
3.1. <i>Composição química do solo</i> .....	34
3.2. <i>Composição das espécies herbáceas entre avaliações e tratamentos</i> .....	34
3.3. <i>Diversidade de espécies de herbáceas entre tratamentos</i> .....	35
3.4. <i>Biomassa produzida entre tratamentos (vigor)</i> .....	35
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	41
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	44
<b>6. Agradecimentos</b> .....	44
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	45

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1: Lixo de formigas cortadeiras como substrato para produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) e rúcula (*Eruca sativa*)**

Tabela 1: Valores de pH e teores de macronutrientes (g/kg) contidos nos substratos avaliados. ....	15
Tabela 2: Valores de micronutrientes (mg/kg) contidos nos substratos avaliados.....	15
Tabela 3: Coeficientes de correlação ( $r^2$ ) entre 15 variáveis e o primeiro eixo da ordenação da PCA (Axis1), com nível de significância de 5% ( $p \leq 0.05$ ). ....	16
Tabela 4: Valores médios das análises de vigor das mudas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> ) e rúcula ( <i>Eruca sativa</i> ) nos quatro períodos de avaliação (15, 20, 25 e 30 dias após a semeadura) nos diferentes substratos. São Cristóvão, Sergipe. Setembro/2015. ....	17

### **CAPÍTULO 2: O lixo de saúvas favorece a regeneração vegetal?**

Tabela 1: Teores de macronutrientes (g/kg) e micronutrientes (mg/kg) contidos nos tratamentos avaliados (Controle = solo controle e Lixo = Solo + Lixo de <i>A. opaciceps</i> ). São Cristóvão, Sergipe. Novembro/2015. ....	36
Tabela 2: Espécies herbáceas amostradas na área antes da instalação do experimento (AI) e após (AF); e entre diferentes tratamentos (controle = solo sem lixo de <i>A. opaciceps</i> ; lixo= solo + lixo de <i>A. opaciceps</i> ). São Cristóvão, Sergipe, Brasil. Março/2016.....	36

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 1: Lixo de formigas cortadeiras como substrato para produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) e rúcula (*Eruca sativa*)**

Figura 1: Análise de componentes principais (PCA) para variáveis biológicas (vigor) e de nutrientes dos substratos analisados.....18

### **CAPÍTULO 2: O lixo de saúvas favorece a regeneração vegetal?**

Figura 1: Esquema do desenho experimental onde parcelas Controle e com Lixo de *A. opaciceps* foram dispostas nas subparcelas de 1m<sup>2</sup>. ..... 37

Figura 2: Análise de componentes principais (PCA) entre tratamentos (Cont = solo controle; Solo + Lixo de *A. opaciceps*) e composição dos nutrientes nos tratamentos testados. .... 38

Figura 3: a) Riqueza média de herbáceas ( $\pm$  EP); b) Abundância média de herbáceas ( $\pm$  EP) entre tratamentos (controle = solo controle; lixo = solo + lixo de *A. opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe, Março/2015..... 38

Figura 4: Análise da ordenação do NMDS para composição de espécies herbáceas para os dois tratamentos (controle = solo sem lixo; solo + lixo de *A. opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe, Março/2015..... 39

Figura 5: Biomassa média ( $\pm$  EP) produzida entre diferentes tratamentos (controle = solo sem lixo; lixo = solo + lixo de *A. opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe, Março/2015. Letras diferentes acima das barras de erro representam resultados significativos ( $P < 0.05$ )..... 40

## RESUMO

O lixo de formigas cortadeiras é o material gerado da degradação do material vegetal após ser parcialmente consumido pelas operárias, juntamente com formigas mortas e resquícios do próprio fungo simbionte. É um material extremamente rico em diversos nutrientes e pode atuar como um importante insumo em solos tropicais, influenciando na diversidade e desenvolvimento de espécies vegetais. Além disso, por ser um material renovável, relativamente de fácil disponibilidade e coleta, pode ser um composto com alto potencial em cultivos orgânicos. Nesse estudo avaliamos a influência do lixo em duas situações distintas: *i*) como substrato para a produção de hortaliças e *ii*) na regeneração vegetal de parcelas recém desmatadas. Para alcance dos nossos objetivos, os experimentos foram divididos em duas etapas: na primeira, o lixo foi avaliado como componente na formulação de substratos para produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) e rúcula (*Eruca sativa*) em diferentes concentrações. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, formado por seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: Cont (*Pinus* sp. + fibra de coco + vermiculita (3:3:1 v/v)); substrato comercial - (Trop); lixo de formigueiros + substrato Cont, oriundo de duas espécies (*Atta opaciceps* e *Acromyrmex balzani*) em duas concentrações de 15% e 25% para cada uma das espécies testadas (AT15, AT25, AC15 e AC25), respectivamente. Todos os substratos foram submetidos às análises químicas para determinação de macro e micronutrientes. A influência do substrato no desenvolvimento das mudas foi avaliada pela altura, comprimento da raiz, diâmetro do caule, massa seca e número de folhas, em quatro períodos: aos 15, 20, 25 e 30 dias após a semeadura. Para segunda etapa do experimento, uma parcela de 10 m x 5 m foi instalada em uma área em regeneração. A parcela foi subdividida em 50 subparcelas de 1 m<sup>2</sup> destas, 30 subparcelas foram selecionadas aleatoriamente para levantamento das espécies herbáceas presentes. Após isso, a vegetação original foi totalmente removida em toda a área da parcela. Posteriormente, no centro de cada uma das 30 subparcelas foi demarcado um quadrante de 30 cm x 30 cm, sendo 15 contendo uma mistura de solo com *Atta opaciceps* (25% de lixo), totalizando um litro; e 15 com 1 litro de solo (controle). Os quadrantes permaneceram no local por 150 dias, para serem recolonizados pela vegetação. Após esse período avaliou-se a riqueza, abundância, composição e biomassa seca das espécies herbáceas que colonizaram as parcelas. Os nossos resultados mostraram que as mudas de hortaliças nos tratamentos contendo lixo de formigas cortadeiras se desenvolveram tão bem quanto as do tratamento comercial nos atributos avaliados. Possivelmente, as maiores médias de crescimento das mudas no tratamento AT25 e AC25 devem-se às maiores concentrações de nutrientes presentes no material. O lixo também influenciou o desenvolvimento das espécies herbáceas, as parcelas que receberam lixo apresentaram maior biomassa (vigor) em relação ao grupo controle. Porém, não foi observada influência do lixo na diversidade das espécies entre os tratamentos. Nossos resultados sugerem que o lixo produzido por formigas cortadeiras pode ter aplicabilidades tanto para a produção de hortaliças, quanto para ser inserido em áreas que sofreram alguma perturbação, ressaltando mais um serviço ecológico fornecido pelas saúvas.

**Palavras-chave:** Cultivo Orgânico; Hortaliças; Recuperação de Áreas Perturbadas; Serviços Ecológicos

## ABSTRACT

The nest refuse of leaf-cutting ants is the depleted material resulted from the degradation of vegetation harvested, after being partially consumed by workers, along with dead ants and remnants of own symbiotic fungus. It is an extremely rich material in many nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S) and may act as an important component of the organic matter in tropical soils, influencing the development and diversity of plant species. In addition, as a renewable material, of relatively easy availability and sampling, it may be a compound with a high potential for organic farming. In this study, we evaluated the influence of nest refuse in two distinct situations: *i*) as a substrate for the production of vegetables and *ii*) the plant regeneration of newly deforested plots. To this purpose, the experiments were divided into two stages: first, the nest refuse was evaluated as a component in a substrate for production of lettuce seedlings (*Lactuca sativa*) and arugula (*Eruca sativa*) at different concentrations. The experimental design was completely randomized, consisting of six treatments and four replications. The treatments were the following mixtures: Control (Cont) considered the basic substrate containing bark of *Pinus* sp. + sand + vermiculite (3:3:1 v/v); commercial substrate (Tropstrato®- Trop); nest refuse of two species (*Atta opaciceps* and *Acromyrmex balzani*) + basic substrate, in two concentrations: 15% and 25% for each of the species tested (AT15, AT25, AC15 and AC25), respectively. All substrates were subjected to chemical analysis for determination of macro- and micronutrients. The influence of the substrate in the development of seedlings was evaluated by height, root length, stem diameter, dry weight and number of leaves at four periods: 15, 20, 25 and 30 days after sowing. For the second stage of the experiment, a portion of 10 m x 5 m was installed in a regeneration area. The plot was divided into 50 sub-plots of 1 m<sup>2</sup>, of these, 30 subplots were randomly selected for cataloguing herbaceous species present. After that, the original vegetation was completely removed in the whole plot area. Thereafter, it was installed at the center of each subplot a quadrant of 30 cm x 30 cm, 15 of them containing a mixture of a liter of sieved soil with 250 mL of nest refuse of *Atta opaciceps* (25% of nest refuse) and the remaining quadrants with 1 liter of bare soil (control). The quadrants remained in the field for 150 days to be reforested. Afterwards, richness, abundance, composition and dry biomass of the herbaceous species that colonized the plots were evaluated. Our results showed that the seedlings of vegetables in treatments containing nest refuse of leaf-cutting ants developed as well as those grown in the commercial product taking into account the evaluated attributes. Possibly, the highest average growth rates of seedlings from the AT25 and AC25 treatments are due to higher nutrient concentrations present in the material. The nest refuse also influenced the development of herbaceous species, since plots receiving nest refuse had higher biomass (vigor) in comparison with the control group. However, there was no influence of nest refuse in species diversity between treatments. Our results suggest that nest refuse produced by leaf-cutting ants may have applicability to either production of vegetables or to be disposed in areas that suffered some disturbance, pointing out another ecological service provided by ants.

**Keywords:** organic farming, vegetables, recovery of disturbed areas, ecological services, leaf-cutting ants

## INTRODUÇÃO GERAL

As formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) são consideradas um dos grupos mais bem-sucedidos em relação à sua organização social e devido à relação mutualística que mantêm com seu fungo simbiote (Holldobler & Wilson, 1990). São predominantemente da região Neotropical e pertencente a dois gêneros: *Acromyrmex*, com 24 espécies e *Atta*, com 15 espécies (Ward et al. 2014).

As formigas cortadeiras são reconhecidos como os herbívoros mais vorazes e polípagos em florestas neotropicais, e de acordo com alguns estudos podem cortar anualmente mais de 15% da produção de folhas em seu sítio de forrageamento, chegando a utilizar mais de 50% das espécies da flora dentro dessas áreas (Vasconcelos & Fowler, 1990; Urbas et al. 2007; Wirth et al. 2003). Em agroecossistemas, essas formigas são consideradas uma das principais pragas por serem capazes de desfolhar, quase que totalmente uma cultura (Forti et al. 1987; Vasconcelos & Cherrett, 1995).

Todavia, cabe ressaltar que as formigas cortadeiras compreendem um grupo de organismos que está inteiramente ligado à manutenção e funcionamento dos ecossistemas por fornecerem uma variedade de serviços ecológicos, tais como provisionamento (formigas como recurso alimentar e/ou usada para fins medicinais), cultural, regulação (ciclagem de nutrientes, formação do solo, decomposição) (Del-Toro et al. 2012). Além disso, formigas cortadeiras são também conhecidas como “engenheiras de ecossistemas”, em especial, em áreas de vegetação nativa, devido à capacidade de modificar a estrutura física, química e biológica do seu próprio ambiente (Dauber & Wolters, 2000). Na área de abrangência das colônias, há mudanças na estrutura, permeabilidade e composição química do solo e na disponibilidade de nutrientes em diferentes horizontes, por conta do revolvimento do solo e mineralização da matéria orgânica acumulada nas câmaras de fungo e de lixo (Moutinho et al. 2003; Sousa-Souto et al. 2007; Sternberg et al. 2007).

Em solos tropicais, a presença de ninhos de formigas cortadeiras representa um dos principais aportes de matéria orgânica devido aos resíduos (lixo), que são mantidos no interior das colônias em câmaras específicas, ou despejados na superfície exterior do ninho, formando regiões ricas em nutrientes (Pirk & Farji- Brener, 2013; Poderoso et al. 2009).

O lixo produzido pelas formigas cortadeiras é oriundo da degradação do material vegetal transportado pelas operárias para manutenção do jardim de fungo (Moutinho et

al. 2003; Sousa-Souto et al. 2008). Além do material vegetal (flores, folhas, sementes), o lixo de formigueiro também é composto por formigas mortas, fauna microbiana específica e por resquícios do próprio fungo simbionte, após ser parcialmente consumido pelas operárias da colônia (Cherrett et al. 1989; Fowler et al. 1990; Sousa-Souto et al. 2007). É um material extremamente rico em diversos macronutrientes, chegando a aumentar o teor de fósforo no solo em 400 vezes quando comparado a um ambiente sem influência das colônias de formigas cortadeiras (Guerra et al. 2007; Moutinho et al. 2003; Sousa-Souto et al. 2007).

Tais variações nos teores de nutrientes em solos tropicais por conta das câmaras de lixo resultam em mudanças na abundância, riqueza e no desenvolvimento de espécies vegetais (Garrettson et al. 1998; Moutinho et al. 2003). Contudo, ainda há uma carência de estudos em relação ao efeito do lixo produzido pelas formigas no restabelecimento da vegetação pioneira e como as regiões com presença do lixo contribuem para o desempenho da vegetação em áreas perturbadas (Cerda et al. 2012; Farji-Brener & Werenkraut, 2014 ; Farji-Brenner & Ghermandi, 2000; Farji-Brener & Silva, 1995; Fernández et al. 2014; Pirk & Farji- Brener, 2013).

Além do papel ecológico do lixo das formigas cortadeiras no solo e nas comunidades vegetais, esse material pode apresentar outras aplicações. Para o caso de espécies que descartam esse material na superfície externa do ninho (*Acromyrmex balzani* e *Atta colombica*, por exemplo), o lixo pode ser um recurso renovável, de fácil disponibilidade e coleta, representando um composto com alto potencial em cultivos orgânicos (Cerda et al. 2012).

Nesse tipo de sistema, o sucesso da produção depende diretamente da composição do substrato, uma vez que não permite a utilização de fertilizantes químicos (Roel, 2002). Geralmente, são utilizadas fontes de nutrientes disponíveis na propriedade, que podem ser de origem animal ou vegetal, que garantam o melhor desempenho das mudas e a sustentabilidade do solo (Medeiros et al. 2007; Neto et al. 2009; Oliveira et al. 2008). Por assegurar esses efeitos, o lixo de formigas cortadeiras pode ser um componente viável na formulação de substratos nesse tipo de produção.

Assim, em razão do elevado potencial do lixo de formigas cortadeiras em modificar os locais onde se encontram, o presente estudo teve por finalidade verificar o efeito desse material em duas situações distintas: *i*) como substrato para a produção de hortaliças em cultivo orgânico e *ii*) no processo de estabelecimento inicial de herbáceas em parcelas recém desmatadas. Para atender esses objetivos, o estudo foi dividido em

duas etapas. Na primeira parte foi testada a hipótese de que o lixo oriundo de ninhos de formigas cortadeiras possui viabilidade como substrato em cultivo orgânico (Capítulo 1). A premissa desta hipótese é a de que mudas cultivadas com substrato à base de lixo de formigas cortadeiras apresentarão características de vigor semelhantes às mudas cultivadas em substratos comerciais; Na segunda parte, foi testada a hipótese de que parcelas de solo contendo lixo de formigas cortadeiras apresentarão maior abundância e riqueza de espécies vegetais herbáceas, bem como maior biomassa do que parcelas controle (Capítulo 2). A premissa da segunda hipótese é que a adição do lixo formará “ilhas” com maior recurso (nutrientes) o que favorecerá um melhor estabelecimento e desempenho das espécies herbáceas.

Nesse contexto, este trabalho apresenta aspectos de ecologia aplicada, de forma a propor duas alternativas de uso de um material obtido por meio de serviços ecossistêmicos com aplicações e consequências distintas, tanto do ponto de vista ecológico quanto do ponto de vista social.

## **REFERÊNCIAS**

Cerda, N.V., Tadey, M., Farji-Brener, A.G., Navarro, M.C. 2012. Effects of leaf-cutting ant refuse on native plant performance under two levels of grazing intensity in the Monte Desert of Argentina. *Appl. Veg. Sci.* 15, 479-487.

Cherrett, J.M., Powell, R., Stradling, D.J. 1989. The mutualism between leaf-cutting ants and their fungus, in: *Insect-Fungus Interactions* (Ed.), Wilding, N., Collins, N.M., Webber, J.F. Academic Press. pp. 93-120.

Dauber, J., Wolters, V. 2000. Microbial activity and functional diversity in the mounds of three different ant species. *Soil Biol. Biochem.* 32, 93-99.

Del-Toro, I., Ribbons, R.R., Peline, S.L. 2012. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol. News* 17, 133-146.

Farji-Brener, A.G., Ghermandi, L. 2000. Influence of nests of leaf-cutting ants on plant species diversity in road verges of northern Patagonia. *J. Veg. Sci.* 11, 453-460.

- Farji-Brener, A.G., Silva, J.F. 1995. Leaf-cutting ants and forest groves in a tropical parkland savanna of Venezuela: facilitated succession? *J. Trop. Ecol.* 11, 651-669.
- Farji-Brener, A.G., Werenkraut, V. 2014. A meta-analysis of leaf-cutting ant nest effects on soil fertility and plant performance. *Ecol. Entomol.* 40, 1-8.
- Fernández, A., Farji-Brener, A.G., Satti, P. 2014. Moisture enhances the positive effect of leaf-cutting ant refuse dumps on soil biota activity. *Austral Ecol.* 39, 198–203.
- Forti, L. C., Crocomo, W. B., Guassu, C.M.O. 1987. *Bioecologia e Controle das Formigas Cortadeiras de Folhas em Florestas Implantadas*. São Paulo. Fepaf. Boletim didático.
- Fernández, A., Farji-Brener, A.G. & Satti, P. 2014. Moisture enhances the positive effect of leaf-cutting ant refuse dumps on soil biota activity. *Austral Ecol.* 39, 198–203.
- Fowler, H. G., Forti, L.C., Romagnano, L.F.T.D. 1990. Methods for the evaluation of leaf cutting ant harvest, in: Vander-Meer, R. K., Jaffe, K., Cedeno, A. (Ed.), *Applied Myrmecology - A world perspective*. Westview Press, Boulder, San Francisco and Oxford. pp. 228-241.
- Garrettson, M., Stetzel, J.F., Halpern, B.S., Hearn, D.J., Lucey, B.T., Mckone, M.J. 1998. Diversity and abundance of understory plants on active and abandoned nests of leaf-cutting ants (*Atta cephalotes*) in a Costa Rican rain forest. *J. Trop. Ecol.* 14, 17-26.
- Guerra, M.B.B., Schaefer, C.E.G.R., Sousa-Souto, L. 2007. Características químicas do lixo de formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) mantidos com diferentes substratos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* 31, 1185-1189.
- Holldobler, B., Wilson, E.O. 1990. *The ants*. Cambridge: Harvard University Press.
- Holldobler, B., Wilson, E.O. 2009. *The superorganism: the beauty, elegance, and strangeness of insect societies*. London: Norton.
- Medeiros, M.C.L., Medeiro, D. C., Filho, J. L. 2007. Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos. *Revista Verde.* 2, 158-161.

- Moutinho, P., Nepstad, D., Davidson, E. 2003. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology*. 84, 1265–1276.
- Neto, S.E.A., Azevedo, J.M.A., Galvão, R.O., Oliveira, E.B.L., Ferreira, R.L.F. 2009. Produção de muda orgânica de pimentão com diferentes substratos. *Ciência Rural*. 39, 1408-1413.
- Oliveira, A. B., Hernandez, F.F.F., Júnior, R.N.A. 2008. Pó de coco verde, uma alternativa de substrato na produção de mudas de berinjela. *Revista Ciência Agronômica*. 39, 39-44.
- Pirk, I.G., Farji-Brener, A.G. 2013. Can the nutrient-rich soil patches created by leaf-cutting ants favor plant compensation for foliar damage? A test of the compensatory continuum hypothesis. *Plant Ecol*. 214, 1059-1070.
- Poderoso, J.C.M., Ribeiro, G.T., Gonçalves, G.B., Mendonça, P.D., Polanczyk, R., Zanetti, R., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. 2009. Nest and Foraging Characteristics of *Acromyrmex landolti balzani* (Hymenoptera: Formicidae) in Northeast Brazil. *Sociobiology*. 54, 361-371.
- Roel, A. R. A agricultura orgânica ou ecológica e a sustentabilidade da agricultura. 2002. *Revista Internacional de Desenvolvimento Local*. 3, 57-62.
- Sousa-Souto, L., Guerra, M.B.B., Schoederer, J.H., Schaefer, C.E.G.R., Silva, W.L. 2007. Determinação do fator de conversão em colônias de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) e sua relação com a qualidade do material vegetal cortado. *Revista Árvore*. 31,163-166.
- Sousa-Souto, L., Schoederer, J. H., Schaefer, C.E.G.R., Silva, W.L. 2008. Ant nests and soil nutrient availability: the negative impact of fire. *J. Trop. Ecol*. 24, 639-646.
- Sternberg, L.D., Pinzon, M.C., Moreira, M.Z., Moutinho, P., Rojas, E.I., Herre, E.A. 2007. Plants use macronutrients accumulated in leaf - cutting ant nests. *Bio. Sci*. 274, 315-321.

Urbas, P., Araújo-Jr. M.V., Leal, I.R., Wirth, R. 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., Fowler, H.G. 1990. Foraging and fungal substrate selection by leaf cutting ants, in: Vander Meer R, Jaffe K, Cedeno A (Ed.) *Applied Myrmecology - A world perspective*. Westview Press, Boulder, San Francisco, & Oxford. pp. 411-419.

Vasconcelos, H.L., Cherrett, J.M. 1995. Changes in leaf- cutting ant populations after the clearing of mature forest in Brazilian Amazonia. *Neotropica Fauna Environ*. 30, 107-113.

Ward, P. S., Brady, S. G., Fisher, B. L., Schultz, T. R. 2014. The evolution of myrmicine ants: phylogeny and biogeography of a hyperdiverse ant clade (Hymenoptera: Formicidae). *Syst. Entomol*. 40, 61–81.

Wirth, R., Meyer, S.T., Almeida, W.R., ARAUJO-Jr, M.V., Barbosa, V.S., Leal, I.R. 2007. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. *J. Trop. Ecol*. 23, 501-505.

# CAPÍTULO 1

## **Lixo de formigas cortadeiras como substrato para produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) e rúcula (*Eruca sativa*)**

RAFAELLA SANTANA SANTOS, MARCELO BRAGA BUENO GUERRA,  
BIANCA GIULIANO AMBROGI & LEANDRO SOUSA SOUTO

**Resumo:** O sucesso na produção de hortaliças depende diretamente da composição do substrato a ser utilizado, uma vez que ele é a fonte principal de nutrientes durante a fase de mudas. No presente estudo avaliamos o material descartado por formigas cortadeiras (lixo) como componente na formulação de substratos para produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*), e rúcula (*Eruca sativa*) em sistema orgânico. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições (blocos) para cada espécie de planta. Os tratamentos foram substrato base (Cont), substrato comercial (Tropstrato®) e quatro formulações utilizando o lixo de duas espécies de formigas cortadeiras associado ao Cont, sendo duas formulações com lixo de *Atta opaciceps* (15% e 25%) e duas formulações com lixo de *Acromyrmex Balzani* (15% e 25%). Os substratos foram submetidos à análise química para determinação de macro e micronutrientes e as mudas foram avaliadas em cinco parâmetros: altura, comprimento da raiz, diâmetro do caule, massa seca e número de folhas aos 15, 20, 25 e 30 dias após a semeadura. As maiores concentrações de nutrientes (P, K, Ca e S) foram encontradas nos substratos com 25% de lixo, refletindo no desempenho das mudas que foram significativamente superiores ao controle e tiveram desempenho similar ao substrato comercial. O estudo é o primeiro a indicar a viabilidade do lixo na composição de substratos orgânicos em pequenas áreas de cultivo orgânico.

**Palavras-chave:** Cultivo Orgânico; Hortaliças; Serviços Ecológicos; Resíduos

## 1. INTRODUÇÃO

O sucesso da produção de mudas no sistema orgânico depende diretamente da composição do substrato a ser utilizado, uma vez que nesse sistema de cultivo não se permite a utilização de fertilizantes químicos sintéticos (Ramos et al. 2002; Roel, 2002). Substratos são responsáveis pela sustentação física e pelo fornecimento inicial de água e nutrientes (Medeiros et al. 2010) e suas principais características exigidas são: baixo custo, fácil aquisição, elevado teor de nutrientes, boa textura, drenagem e absorção de água, além da ausência de patógenos (Oliveira et al. 2006).

No Brasil, a produção familiar de produtos agrícolas representa cerca de 30 % do total (Guilhoto et al. 2006), sendo a maioria dos produtores dependentes de incentivos econômicos do governo. Assim, torna-se crucial utilizar insumos que possam garantir um bom desempenho e que possuam baixo custo de produção, com o objetivo de garantir a produtividade e causar o mínimo de interferência nos ecossistemas (Nodari & Guerra, 2015).

No cultivo orgânico familiar é comum a utilização de componentes disponíveis na propriedade para formulação dos substratos que garantam o melhor desempenho das mudas (Medeiros et al. 2007; Oliveira et al. 2008).Dentre os componentes mais utilizados para a produção de hortaliças destacam-se o húmus de minhoca (Gomes et al. 2008), torta de mamona (Martins et al. 2013), casca de arroz (Freitas et al. 2013), fibra de coco (Carrijo et al. 2002; Oliveira et al. 2009), lixo urbano (Luz et al. 2004), vermiculita (Marques et al. 2003) e o esterco bovino (Cavalcanti & Resende, 2005).

Estudos sobre a viabilidade de utilização de novas fontes de substrato, que associem baixo custo e facilidade de aquisição têm sido mais frequentes, especialmente focando em componentes obtidos por serviços ambientais da fauna e flora, como por exemplo, o húmus de minhoca (Gomes et al. 2008), e o lixo produzido por formigas cortadeiras (Guerra et al. 2007; Sousa-Souto et al. 2012).

O lixo produzido por formigas cortadeiras é oriundo da degradação do material vegetal (flores, folhas, sementes) transportado pelas operárias para manutenção do jardim de fungo (Moutinho et al. 2003; Sousa-Souto et al. 2008), além de formigas mortas e resquícios do próprio fungo simbiote após ser parcialmente consumido pelas operárias da colônia (Cherrett et al.1989; Fowler et al. 1990; Sousa-Souto et al. 2007). Após ser incorporado ao fungo, o material vegetal é lentamente degradado, sendo posteriormente descartado em câmaras escavadas no interior dos ninhos ou externamente, dependendo da espécie de formiga (Hölldobler & Wilson, 1990). O

descarte do lixo por formigas cortadeiras varia entre as espécies, sendo que a maioria utiliza câmaras subterrâneas para essa finalidade (p.ex. *Atta sexdens*, *Atta laevigata*, *Atta capiguara*, *Acromyrmex rugosus*), porém algumas espécies depositam o material de descarte em pilhas fora da colônia (*Atta colombica*, *Acromyrmex balzani*) facilitando sua coleta (Herzet et al. 2007; Sousa-Souto et al. 2013).

A utilização de compostos orgânicos oriundos de colônias de formigas cortadeiras (gêneros *Atta* e *Acromyrmex*) ainda é pouco difundida na agricultura orgânica, apesar da sua alta concentração de nutrientes (Guerra et al. 2007), podendo representar uma fonte alternativa desses elementos tão importante quanto os insumos de origem animal e vegetal para a produção de mudas (Cerdeira et al. 2012).

O lixo é um material extremamente rico em diversos macronutrientes e sua influência no ambiente pode elevar o teor de diversos nutrientes como o fósforo, quando comparado a um solo sem influência de colônias (Guerra et al. 2007; Moutinho et al. 2003; Sousa-Souto et al. 2007). Esta disponibilidade de nutrientes muitas vezes aumenta a diversidade, a abundância de plantas e a produtividade do ecossistema (Moutinho et al. 2003). Assim, o lixo de formigas cortadeiras pode representar um composto com alto potencial para compor substratos alternativos, por ser um recurso renovável, de relativa disponibilidade e grande importância no ecossistema (Cerdeira et al. 2012).

Diante deste contexto, o estudo teve como objetivo testar a viabilidade do lixo de formigueiros de duas espécies de formigas: *Atta opaciceps* (deposita o lixo internamente nas colônias) e *Acromyrmex balzani* (deposita o lixo em montículos externamente à colônia) como componente na formulação de substratos alternativos na produção de mudas de hortaliças. Testamos a hipótese de que o lixo de formigueiros atua como substratos para a produção de mudas, tendo as seguintes premissas: *i*) substratos à base de lixo de formigueiros favorecem uma produtividade similar ao substrato convencional (comercial); *ii*) por ser depositado em câmaras subterrâneas ao abrigo da luz e umidade, o substrato à base de lixo de *A. opaciceps* terá melhor desempenho do que o substrato à base de lixo de *A. balzani*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Delineamento experimental

Para testar a viabilidade do lixo das duas espécies de formigas na produção de mudas foi utilizado um delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições.

Os tratamentos consistiram em: a) CONT-Substrato Controle, constituído pela mistura de casca de *Pinus* sp. + pó de coco + vermiculita na proporção 3:3:1 v/v. Esses materiais são comumente utilizados em outras formulações de substratos para produção de hortaliças (Diniz et al. 2006; Machado-Neto et al. 2005; Silveira et al. 2002); b) AT15 - substrato composto de lixo de *Atta opaciceps* (15%) + CONT (85%) v/v; c) AT25- substrato com lixo de *Atta opaciceps* (25%) + CONT (75%) v/v; d) AC15-substrato com lixo de *Acromyrmex balzani* (15%) + CONT (85%) v/v; e) AC25- substrato com lixo de *Acromyrmex balzani* (25%) + CONT (75%) v/v e f) TROP- substrato comercial TropstratoHT<sup>®</sup>.

O lixo das colônias de *Acromyrmex balzani* foi coletado em campo em setembro de 2015, junto às pilhas de descarte de 15 colônias, enquanto que o lixo de *Atta opaciceps* foi obtido de cinco colônias artificiais (cada uma com aproximadamente dois litros de fungo e 1.500 operárias) mantidas no Laboratório de Entomologia (Labento/UFS), desde 2009 (para detalhes sobre as colônias de laboratório ver Sousa-Souto & Souza 2006).

Antes do plantio das sementes, todos os componentes utilizados nesse experimento foram esterilizados em estufa a 60 °C, durante 48 h com a finalidade de eliminar fitopatógenos e a emergência de possíveis sementes presentes. Para preparação dos substratos, os componentes foram peneirados ( $\phi = 1$  mm), e misturados manualmente com as respectivas dosagens. Para a formação das mudas utilizou-se bandejas de poliestireno expandido (isopor), com 128 células e volume de 40 cm<sup>3</sup> cada.

### 2.2. Análises biológicas (Vigor)

As hortaliças testadas neste estudo foram alface (*Lactuca sativa*) (Crespa Grande Rapids – TBR) e rúcula (*Eruca sativa*) (Gigante Folha Larga). Foram utilizadas duas sementes de cada espécie vegetal depositadas a 0,5 cm de profundidade do substrato em cada célula. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas por 30 dias em bancada (1 m de altura).

Após a semeadura, durante os primeiros dez dias, foram realizadas contagens diárias do número de plântulas emergidas em todas as células. Ao décimo dia da semeadura foi realizado o desbaste das mudas, permanecendo uma planta por célula. A partir destes dados foi avaliado o índice de velocidade de emergência (IVE). Para essa etapa considerou-se sendo consideradas as sementes emergidas aquelas cujos cotilédones emergiram acima do substrato, conforme metodologia proposta por Maguire (1962).

As avaliações quanto ao desenvolvimento das mudas (aqui denominado vigor) foram realizadas em quatro períodos (Trani et al. 2004), sendo aos 15, 20, 25 e 30 dias após a semeadura. Em cada avaliação duas plantas/bloco ( $n = 8$ ), foram previamente sorteadas e os seguintes parâmetros foram avaliados: altura (ALT), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR), diâmetro do caule (DC), e massa seca (MS) (Smiderle et al. 2001). Em cada avaliação, as mudas foram retiradas do interior das células e lavadas com água. Para medição da ALT e CR utilizou-se uma régua graduada em centímetros. O DC foi medido com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0,01 mm. Para determinação da MS as mudas foram secas em estufa a 60 °C por 48h, e posteriormente pesadas em balança digital, com precisão de 0,001 g.

### **2.3. Análises químicas**

Para a análise química do material amostras de todos os tratamentos foram inicialmente secas em estufa a 60 °C até peso constante e moídas criogenicamente (6875 Freezer/Mill®, Spex, Metuchen, NJ, USA) durante 20 min (10 ciclos de 2 min). Os seguintes materiais de referência certificados (CRMs): NIST SRM 1515 (folhas de macieira), NIST SRM 1547 (folhas de pessegueiro) e NIST SRM 1573a (folhas de tomateiro) foram usados para avaliar a exatidão do método que combina a digestão ácida assistida por radiação micro-ondas e a determinação elementar por espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES).

As amostras e os CRMs foram digeridos de acordo com o seguinte procedimento: 150 mg de material seco e moído foi pesado em triplicata em frascos de digestão de TFM® e foram adicionados 3 mL de 30 %  $\text{mm}^{-1}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  e 6mL de 20 %  $\text{v v}^{-1}$   $\text{HNO}_3$ . Os frascos foram colocados no sistema de digestão (Ultrawave, Milestone, Sorisole, Itália) e o seguinte programa de aquecimento foi usado: *i*) pressurização com nitrogênio a 40 bar; *ii*) rampa de aquecimento até 240 °C durante 20 min; *iii*) 20 min a 240 °C e *iv*) resfriamento durante 15 min. Após atingir a temperatura ambiente, os

digeridos foram transferidos para balões volumétricos de 15 mL e o volume final foi aferido com água deionizada. As soluções obtidas foram analisadas por ICP OES usando um espectrômetro de visão axial e radial (iCAP 6500, ThermoScientific, Waltham, MA, USA). Utilizou-se um nebulizador do tipo Mira Mist® de PEEK e uma câmara de nebulização ciclônica. As seguintes condições operacionais foram usadas: 27 MHz do gerador de radiofrequência; 1,2 kW de potência de radiofrequência e as seguintes vazões de argônio: 12, 0,5 e 0,6 L min<sup>-1</sup> para o gás do plasma, auxiliar e nebulizador, respectivamente. Utilizou-se 1,5 mL min<sup>-1</sup> de vazão da amostra e 20s de tempo de medida. As seguintes linhas de emissão foram monitoradas no modo de visão axial (Fe II 261,187 nm, Cu I 327,396 nm, Mn II 257,610 nm, Zn I 213,856 nm, e B I 249,772 nm), e no modo radial (P I 214,914 nm, K I 766,490 nm, Ca II 184,006 nm, Mg II 280,270 nm, e S I 180,731 nm).

Para determinação do pH, utilizou-se o seguinte procedimento: 10 g do material seco de cada substrato foi colocado em frasco volumétrico previamente descontaminado, com posterior adição de 25 mL de água deionizada e agitação com bastão de vidro por 2 min. As amostras permaneceram em repouso por 1h e em seguida foi realizada a leitura potenciométrica do pH.

#### **2.4. Análises estatísticas**

Foi realizada a ordenação dos substratos em relação ao teor de nutrientes e vigor da planta foi obtido por meio de análise de componentes principais (PCA). Para isso, os dados foram autoescalados (Sousa-Souto 2013), para a padronização das variáveis e suas escalas de grandeza. Valores gerados na primeira componente principal (PC1) foram utilizados como variável resposta e submetidos à ANOVA, seguidos de teste Tukey HSD, para detectar diferenças entre os tratamentos. Adicionalmente, para cada variável (resposta) foi realizada regressão linear, tendo os valores da PC1 como variável explicativa.

As diferenças no IVE e nas características morfológicas das mudas (ALT, NF, CR, DC, MS), entre os tipos de substrato utilizados foram comparadas utilizando modelos lineares com efeitos mistos (LMEs) ( $P < 0.05$ ). Nesses modelos, as características morfológicas analisadas foram utilizadas como fator fixo, enquanto a série temporal (dias) e os blocos foram utilizados como fatores aleatórios (Crawley, 2013). Modelos que apresentaram diferenças significativas foram submetidos à análise de contraste *a posteriori* para identificação dos tratamentos que resultaram nessas

diferenças ( $P < 0.05$ ). As análises foram feitas utilizando-se o software R (R Development Core Team 2014).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Características físico-químicas dos substratos

As maiores concentrações macronutrientes (Tabela 1) e micronutrientes (Tabela 2) foram encontradas nas misturas à base de lixo de *Atta opaciceps* (Tabela 1; 2). De maneira geral, todos os substratos apresentaram diferença em relação ao pH e aos teores de nutrientes ( $P < 0.001$ ) (Tabela 1; 2), com a formação de cinco grupos distintos, sendo um deles formado por AC15 e AC25 (Figura1). As duas primeiras componentes explicaram 82 % da variância dos dados, sendo que, a PC 1, explicou 56 % da variação, com grande influência dos elementos P ( $r^2 = 0.95$ ,  $P < 0.001$ ), Ca ( $r^2 = 0.91$ ,  $P < 0.001$ ) e S ( $r^2 = 0.94$ ,  $P < 0.001$ ). As variáveis ALT, NF, DC e MS também apresentaram relação significativa com a PC 1 (Tabela 3).

#### 3.2. Parâmetros biológicos das mudas

Foram observadas diferenças estatísticas no índice de velocidade de emergência (IVE) ( $P < 0.001$ ) em cada substrato para as duas hortaliças avaliadas. Houve também diferença no tempo de emergência das plântulas, que para alface ocorreu entre 3 e 5 dias, e para rúcula entre 3 e 4 dias após a semeadura. Os resultados obtidos mostraram que o substrato TROP, CONT e as combinações com lixo de *Acromyrmex balzani* tiveram os maiores valores de IVE para as duas hortaliças avaliadas, resultando em menor tempo para emergência.

De forma geral, para os parâmetros biológicos avaliados, os resultados obtidos apresentaram diferenças significativas em função dos substratos nos quatro períodos de avaliação ( $P < 0.001$ ), para as duas espécies avaliadas (Tabela 4).

Na cultura de alface, aos 15 dias, as mudas cultivadas nos substratos AT25, AC15 e AC25 apresentaram as maiores médias de crescimento, diferindo estatisticamente em relação aos demais tratamentos ( $F=36.97$ ,  $P < 0.001$ ). Foi também observada que AT25 e AC25 apresentaram o maior número de folhas, apresentando em média cinco folhas por planta ( $F=78.13$ ,  $P < 0.001$ ). O comprimento da raiz, entretanto, não diferiu entre os substratos ( $F= 35.45$ ,  $P > 0.05$ )

O diâmetro do caule e massa seca diferiram estaticamente entre os substratos ( $F= 78.13$ ,  $P < 0.001$ ) (Tabela 4). No presente estudo, as médias finais dos diâmetros

variaram entre 1,06 e 1,65 mm nas mudas de alface. O substrato CONT apresentou as menores médias do número de folhas e diâmetro do caule, e as maiores médias foram encontradas nos substratos à base de lixo de formigas. Os substratos AT25 e AC25 proporcionaram um maior incremento de massa seca das plântulas (Tabela 4), sendo 50% superiores aos 30 dias quando comparadas às mudas do substrato comercial, e foram estatisticamente diferentes dos demais substratos ( $F=80,0$ ,  $P < 0.001$ ).

Para rúcula, foi observado que as mudas cultivadas no substrato CONT apresentaram as menores médias de crescimento em comparação aos demais tratamentos ( $F=28,20$ ,  $P < 0.001$ ). Na última avaliação, aos 30 dias, as mudas cultivadas nos substratos TROP e AT25 foram significativamente superiores. Assim como a altura, o número de folhas nas mudas de rúcula nos substratos CONT e AC15 apresentaram os menores valores (Tabela 4).

Tanto para as mudas de alface quanto para as mudas de rúcula, não foram observadas diferenças significativas no sistema radicular em relação aos substratos na avaliação final ( $F=18,5$ ,  $P > 0.05$ ). Contudo, para o diâmetro do caule e massa seca houve diferença significativa entre substratos, sendo que TROP e AT25 apresentaram as maiores médias de diâmetro do caule ( $F=47,6$ ,  $P < 0.001$ ) e de massa seca ( $F=24,4$ ,  $P < 0.001$ ) desde a primeira avaliação.

Tabela 1: Valores de pH e de teores de macronutrientes (g/kg) contidos entre os substratos avaliados.

Substratos*	pH	P	K	Ca	Mg	S
		g/kg				
TROP	6.0 a**	1.6 a	3.5 d	11.6 a	11.1 d	2.6 a
AT15	5.3 d	0.5 c	6.0 b	3.7 d	25.5 c	0.8 c
AT25	5.4 c	1.0 b	10.7 a	8.3 b	27.9 b	1.9 b
AC15	5.2 e	0.3 d	4.6 c	3.3 e	28.5 b	0.7 d
AC25	5.9 b	0.2 e	2.6 e	4.1 c	29.4 b	0.7 d
CONT	5.1 f	0.1 f	3.9 d	1.1 f	36.0 a	0.2 e

Tabela 2: Teores de micronutrientes (g/kg) contidos entre os substratos avaliados.

Substratos*	Fe	Cu	B	Mn	Zn
	mg/kg				
TROP	8111.1 c**	17.0 a	18.63 d	179.4 a	26.6 b
AT15	7706.8 c	5.3 c	22.49 c	65.2 e	21.4 c
AT25	8460.4 c	9.1 b	29.79 a	75.9 d	26.2 b
AC15	9365.0 b	8.2 b	22.40 c	87.2 c	30.6 a
AC25	9421.6 b	9.4 b	23.58 c	87.7 c	34.9 a
CONT	1608.1 a	5.8 c	25.48 b	94.4 b	27.7 b

CONT - Substrato Controle, constituído pela mistura de casca de *Pinus* sp. + pó de coco + vermiculita (3:3:1); AT15%- substrato composto de lixo de *A. opaciceps* + CONT (15%+85%); AT25 - substrato composto de lixo de *A. opaciceps* + CONT (25%+75%); AC15 - substrato composto de lixo de *A. balzani*+ CONT (15%+85%); AC25 - substrato composto de lixo de *A. balzani*+ CONT (25%+75%); TROP - substrato comercial TropstratoHT<sup>®</sup>.

\*\*Médias seguidas de letras iguais, em cada coluna, não diferem entre si com nível de significância de 5% ( $P \leq 0.05$ ).

Tabela 3: Coeficientes de correlação ( $r^2$ ) entre 15 variáveis e o primeiro eixo da ordenação da PCA (PC1), com nível de significância de 5% ( $P \leq 0.05$ ).

<b>Variáveis</b>	<b>PC 1*</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><i>P</i></b>
Altura	0.3199	0.74	0.001
Comprimento de raiz	-0.03181	0.007	0.6
Diâmetro do caule	0.2998	0.65	0.001
Número de folhas	0.204	0.28	0.001
Massa seca	0.2562	0.48	0.001
P	0.346	0.95	0.001
K	0.1232	0.11	0.04
Ca	0.3374	0.91	0.001
Mg	-0.31	0.72	0.001
S	0.3431	0.94	0.001
Fe	-0.2535	0.51	0.001
Cu	0.2615	0.57	0.001
Mn	0.2706	0.51	0.001
Zn	-0.1543	0.16	0.001
B	-0.08537	0.05	0.15

Tabela 4: Valores médios das análises de vigor das mudas de alface (*Lactuca sativa*) e rúcula (*Eruca sativa*) nos quatros períodos de avaliação (15, 20, 25 e 30 dias após a semeadura) nos diferentes substratos. São Cristóvão, Sergipe. Setembro/2015.

	Alface				Rúcula			
	15d	20d	25d	30d	15d	20d	25d	30d
Altura (cm)								
TROP	3.2 b	3.8 b	4.3 c	4.9 c	3.7 a	4.6 a	5.1 a	6.1 a
AT15	3.2 b	3.9 b	4.5 c	5.5 b	2.8 a	3.2 b	3.5 c	4.4 b
AT25	5.0 a	5.5 a	7.0 a	7.5 a	3.3 a	3.3 b	4.0 b	5.5 a
AC15	4.3 a	4.8 a	5.4 b	5.8 b	3.1 a	3.2 b	3.8 b	3.8 b
AC25	4.1 a	5.2 a	5.3 b	7.0 a	3.2 a	3.3 b	4.1 b	4.3 b
CONT	2.7 b	3.2 b	3.8 c	4.0 c	2.0 b	2.5 c	2.7 c	2.9 c
Comprimento de raiz (cm)								
TROP	3.1 a	4.3 a	3.7 b	5.6 a	4.0 b	4.9 a	6.1 a	6.6 a
AT15	1.2 b	2.5 b	3.3 b	4.5 a	2.7 b	4.0 a	4.7 b	5.0 a
AT25	3.0 a	3.1 b	4.1 b	5.1 a	3.7 b	4.5 a	4.8 b	5.2 a
AC15	4.0 a	5.1 a	5.1 a	5.6 a	3.9 b	4.8 a	4.9 b	5.4 a
AC25	3.2 a	4.5 a	4.6 a	4.8 a	4.3 a	4.7 a	5.1 b	5.4 a
CONT	3.7 a	4.2 a	4.3 b	4.6 a	3.0 b	3.5 a	3.7 b	5.2 a
Diâmetro do caule (mm)								
TROP	0.65 b	1.21 a	1.20 b	1.50 b	0.73 a	0.87 a	1.03 a	1.34 a
AT15	0.70 b	1.11 a	1.31 b	1.35 b	0.63 a	0.70 b	0.82 a	1.01 b
AT25	0.91 a	1.30 a	1.46 a	1.65 a	0.65 a	0.83 a	0.95 a	1.19 b
AC15	0.79 b	1.08 a	1.29 b	1.32 b	0.51 a	0.64 b	0.69 b	0.90 c
AC25	0.82 b	1.06 a	1.06 b	1.45 b	0.55 a	0.66 b	0.89 a	1.04 b
CONT	0.58 b	0.75 b	0.81 c	1.06 c	0.53 a	0.53 b	0.53 b	0.73 c
Número de folhas								
TROP	4.1 b	4.9 b	5.3 c	5.4 b	2.8 a	3.3 a	3.9 b	4.5 a
AT15	3.8 b	5.2 b	7.0 a	7.0 a	2.6 a	2.9 a	3.4 b	4.4 a
AT25	4.8 a	5.8 a	6.9 a	7.0 a	2.6 a	3.0 a	3.5 b	4.9 a
AC15	4.4 b	4.9 b	5.6 b	5.8 b	2.1 b	2.6 b	3.1 b	3.6 b
AC25	4.2 b	5.9 a	6.0 b	6.0 b	2.5 a	2.8 a	3.6 b	4.0 b
CONT	3.3 c	4.3 b	4.7 c	4.7 c	2.0 b	2.1 b	2.5 a	2.5 c
Massa seca (mg)								
TROP	4.5 b	7.4 b	8.7 c	12.7 b	5.8 a	11.9 a	16.7 a	32.8 a
AT15	4.4 b	6.2 b	10.0 b	14.8 b	5.8 a	6.7 b	8.8 c	16.0 b
AT25	6.3 b	10.3 a	20.1 a	30.2 a	5.3 b	7.5 b	9.7 b	19.6 b
AC15	6.5 a	8.4 b	14.5 b	15.9 b	3.1 b	5.6 c	6.8 c	9.5 c
AC25	5.6 b	10.7 a	15.4 a	30.7 a	6.4 a	7.2 b	10.3 b	15.0 b
CONT	2.9 b	3.7 c	5.9 c	11.4 b	3.5 b		4.2 c	6.0 c

CONT - Substrato Controle, constituído pela mistura de casca de *Pinus* sp. + pó de coco + vermiculita (3:3:1); AT15%- substrato composto de lixo de *A. opaciceps* + CONT (15%+85%); AT25 - substrato composto de lixo de *A. opaciceps* + CONT (25%+75%); AC15 - substrato composto de lixo de *A. balzani*+ CONT (15%+85%); AC25 - substrato composto de lixo de *A. balzani*+ CONT (25%+75%); TROP - substrato comercial TropstratoHT®.

\*\*Médias seguidas de letras iguais, em cada coluna, não diferem entre si com nível de significância de 5% ( $P \leq 0.05$ )

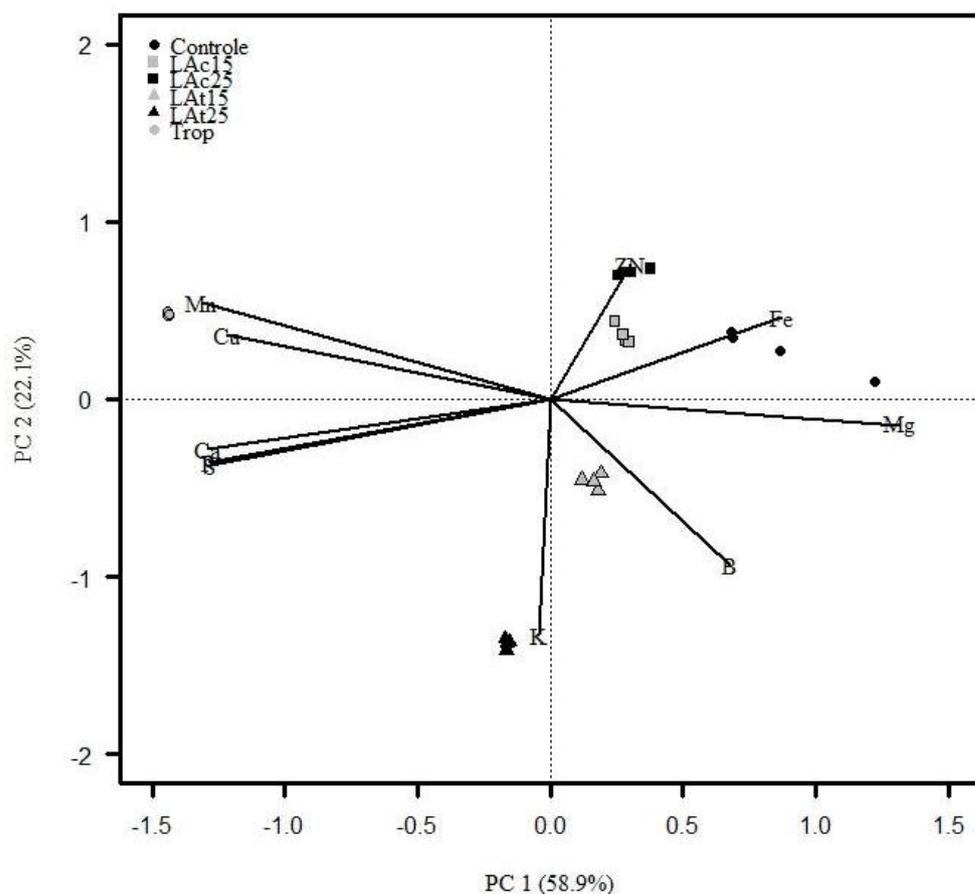


Figura 1: Análise de componentes principais (PCA) para variáveis biológicas (vigor) e de nutrientes dos substratos analisados.

#### **4. DISCUSSÃO**

O presente estudo testou a viabilidade de substratos compostos do lixo de formigueiros para a produção de mudas de hortaliças e os resultados obtidos foram promissores. Em geral, substratos à base de lixo apresentaram desempenho similar ou superior à formulação comercial nos parâmetros analisados, principalmente aos 30 dias de avaliação. A utilização de material dos ninhos de formigas para o desenvolvimento vegetal já foi observado para epífitas, em condições de campo (Longino, 1986), porém não em condições experimentais.

Os resultados aqui apresentados corroboram a primeira premissa deste estudo, ao indicar que o lixo tem viabilidade como substrato para produção de mudas de hortaliças, uma forma de aplicação ainda não explorada para o lixo produzido pelas formigas cortadeiras. Além de possuir viabilidade como componente para substratos em cultivos alternativos de hortaliças, o lixo de formigas cortadeiras é um componente renovável, de produção contínua e relativamente fácil aquisição.

O lixo de formigas na composição dos substratos apresentou significativamente altas concentrações de nutrientes, refletindo na altura, no número de folhas, no diâmetro e na massa seca das mudas no tratamento AT25, provavelmente pela influência positiva dos elementos Ca e P, uma vez que o Ca exerce influência significativa na produção de folhas e crescimento da parte aérea e o P atua positivamente no crescimento vegetativo (Taiz & Zeiger, 2004).

A composição química dos substratos foi a variável que mais influenciou o desenvolvimento das mudas. As maiores médias de crescimento na concentração de 25% de lixo indicam que esta concentração possibilitou uma condição química ideal do substrato, uma vez que estudos anteriores com menores concentrações (5 % e 10 %) de lixo não indicaram resultados satisfatórios nos atributos avaliados, e em maiores concentrações (50%) as mudas não conseguiram se desenvolver, possivelmente por excesso de algum macronutriente no substrato (dados não publicados). Além disso, as diferenças encontradas entre os substratos de mesma dosagem (AT25 e AC25) indicam que a mineralização destes materiais ocorre de forma diferenciada, já que em campo os nutrientes são mineralizados mais rapidamente do que em condições laboratoriais (Sousa-Souto et al. 2012). Porém, mesmo em condições diferentes de mineralização e de teor de nutrientes, ambos os tratamentos em concentrações de 25% suprimam as mudas e garantiram vigor igual ou superior às mudas do substrato comercial (Trop) até o final do desenvolvimento, indicando que o lixo de qualquer

espécie de formiga cortadeira pode ser utilizado como substrato, independentemente do local de descarte (internamente ou externamente ao ninho). Assim, nossa segunda premissa não foi corroborada.

Para substratos de base orgânica recomenda-se uma faixa de pH entre 5,2 a 5,5 (Kampf, 2000), pois valores inferiores podem alterar a disponibilidade de nutrientes e causar desequilíbrios fisiológicos nas espécies vegetais (Ferraz et al. 2005). Entretanto, não foi observada influência desta variável no desenvolvimento das mudas, pois substratos como o TROP e AC25 mesmo com valores de pH acima da faixa ideal produziram mudas com vigor semelhante àquelas em que o pH do substrato encontrava-se dentro da faixa considerada ideal, como as mudas do substrato AT25.

Para o IVE, os substratos AC15, AC25, TROP e CONT apresentaram uma emergência quase uniforme das plântulas, indicando que estes substratos podem reunir características desejáveis para emergência, tais como boas condições aeróbicas e de retenção de água (Souza et al. 2013). Entretanto, apenas o IVE não assegura a qualidade final das mudas, pois mesmo com menor velocidade de emergência, o substrato AT25 produziu mudas de alface e de rúcula com atributos similares às mudas desenvolvidas nos substratos que apresentaram um maior IVE. Contudo, valores elevados no IVE permitem uma menor exposição das sementes às condições adversas, como ação de microrganismos e das mudas à ação de patógenos e herbívoros nas bandejas de produção (Martins et al. 1999).

A viabilidade do composto à base de lixo de formigas se comprova ao se analisar as variáveis de vigor. O tipo de substrato afetou significativamente quatro dos cinco atributos avaliados (ver Tabela 4). Tendo como exemplos apenas a altura das mudas de alface nos tratamentos, AC25, AT15 e AT25 apresentaram valores acima do recomendado para o transplante que é de  $\geq 5$ cm de altura, já o número de folhas para ambas as hortaliças avaliadas nestes substratos apresentaram entre 4 a 6 folhas definitivas, sendo o valor recomendado para o transplantio (Kampf, 2000). Além disso, foi observado que mudas cultivadas com substrato à base de lixo produziram aos 15 dias mais folhas do que mudas de 20 dias cultivadas com substratos comerciais (Cunha et al. 2014).

É possível que nesses tratamentos as mudas foram expostas a maiores concentrações de nutrientes, e que mesmo ao final do ciclo, aos 30 dias, os substratos ainda possuíam reservas nutricionais para manter o desenvolvimento das mudas, o que pode não ter ocorrido em tratamentos com concentrações inferiores de lixo de colônias

de formigas (AC15). Em outros estudos, concentrações de 50% e 75% de esterco bovino em associação com vermiculita, por exemplo, produziram mudas com maior altura, número de folhas e massa (Cunha et al. 2014). Além da decomposição ser mais lenta, estes resultados podem estar relacionados à composição de nutrientes destes compostos, pois substratos de fontes orgânicas são responsáveis pela maior retenção de umidade nos recipientes e pelo fornecimento da maior parte dos nutrientes essenciais para o crescimento das mudas (Paiva et al. 2011).

Ao contrário do esperado, o comprimento da raiz não sofreu influência entre os tipos de substratos analisados, já que é uma das variáveis de vigor mais influenciadas por eventuais modificações, tanto dos aspectos físicos, quanto dos aspectos químicos dos substratos (Trani et al. 2007). O diâmetro do caule, por sua vez, foi maior no tratamento AT25 a partir de 25 dias, sendo esta uma variável indicadora da qualidade para a sobrevivência e desenvolvimento das mudas em campo (Campos & Uchida, 2002; Taiz & Zeiger, 2004).

Tal como neste estudo, maiores teores de elementos como esterco ovino (Souza et al. 2013), esterco bovino (Cunha et al. 2014), composto orgânico de lixo urbano (Luz et al. 2004), na formulação dos substratos proporcionou melhoria no rendimento e qualidade comercial das hortaliças avaliadas.

Além do diâmetro do caule, mudas de alface também obtiveram maior massa seca nos substratos com maior adição do lixo (25%) em relação às mudas do substrato comercial. Uma maior produção de massa seca pelas mudas pode estar relacionada a uma melhor disponibilização de nutrientes pelo substrato, principalmente em relação ao P que exerce forte influência no crescimento da parte aérea das plantas (Taiz & Zeiger, 2004). Em geral, as mudas de alface e rúcula foram tão vigorosas em cultivos com o lixo de formigas cortadeiras quanto às mudas dos substratos comerciais, indicando que o aporte nutricional dos substratos foi adequado.

Tais resultados encontrados neste estudo destacam a importância da procura por novos compostos para formulação de substratos alternativos que possibilitem no mínimo, indicadores de desenvolvimento de mudas semelhantes aos encontrados com produtos comerciais, tendo como foco a facilidade e periodicidade de obtenção desses substratos, uma vez que a produção agrícola em nível familiar no Brasil ainda é muito dependente de recursos financeiros.

Pequenas colônias de formigas cortadeiras da espécie *Atta sexdens rubropilosa*, por exemplo, podem ser mantidas na propriedade ocupando pouco espaço, gerando

uma produção de lixo de aproximadamente 32g (peso seco) por mês, que pode alcançar até 650g/ano em colônias mantidas em laboratório em recipientes com cerca de 2 litros de volume (Sousa-Souto et al. 2007). No presente estudo, utilizou-se aproximadamente 450g de lixo na maior concentração testada (25%). A quantidade de componente utilizado é suficiente para produzir 150 mudas.

O valor é pequeno considerando a quantidade de plantas produzidas em cultivos comerciais, mas pode ser significativo caso o produtor mantenha uma criação simultânea a partir de 12 colônias em condições de laboratório. Alternativamente, produtores podem coletar o lixo descartado no campo por formigas cortadeiras da espécie *A. balzani* que possuem alta densidade em áreas antropizadas, chegando a mais de 900 colônias por hectare, com produção contínua e similar de lixo ao encontrado em colônias de *Atta* nos ninhos artificiais (Sousa-Souto et al. 2007; Sousa-Souto et al. 2013).

O presente estudo é o primeiro a testar a viabilidade do lixo oriundo de colônias de formigas em cultivos de hortaliças, e os resultados demonstraram que a proporção de 25% pode ser uma alternativa viável para a produção em pequena escala de hortaliças, pois resulta em mudas com desenvolvimento semelhante a outros compostos já estabelecidos como o produto comercial. Além disso, o presente trabalho destaca a importância dos serviços ecossistêmicos prestados por formigas cortadeiras, as quais podem promover alterações benéficas nos ambientes em que ocorrem.

Em pequena escala de produção (1 a 2 litros/mês), produtores orgânicos familiares podem investir na venda direta do lixo como ingrediente de substrato de hortas caseiras ou floriculturas, por exemplo, acondicionados em pequenas embalagens.

Além dos efeitos ecológicos do lixo de formigas cortadeiras no desenvolvimento de plantas e na estrutura vegetal já bastante discutidos na literatura, os resultados deste trabalho verificaram que o lixo pode ter outras aplicabilidades. O uso do lixo de formigas cortadeiras na composição de substratos orgânicos constitui uma alternativa viável para produção de mudas de alface e rúcula. Em todas as características avaliadas os substratos das duas espécies nos tratamentos AT25 e AC25 mostraram similares ou desempenho superior ao substrato comercial.

Por ser um recurso renovável e de produção perene, o lixo de colônias de formigas cortadeiras pode se tornar uma opção atraente de material para compor substratos em pequenos sistemas de cultivos. A qualidade do material, a elevada

concentração de nutrientes e a forma simples tanto da criação de colônias quanto da coleta do material em campo garante que o lixo de formigas cortadeiras seja considerado um fertilizante natural (Cerda et al.2012).

O estudo é o primeiro a investigar o efeito do lixo de formigas cortadeiras no desenvolvimento de plantas, e pelos resultados mostrou-se uma alternativa promissora para a agricultura orgânica familiar, pela facilidade de coleta e pelo baixo custo na aquisição do material.

## **5. Agradecimentos**

Os autores agradecem a James Cardozo e Dr.<sup>a</sup> Fátima pela ajuda na aquisição do material utilizado como matéria prima deste estudo. À equipe do laboratório de entomologia da UFS pelo auxílio na condução do experimento. A toda equipe do Centro de Energia Nuclear da Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP) pela ajuda nas análises químicas dos substratos, em especial a técnica Aparecida de Fátima Patreze. Á Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Aparecida Moreira pelas valiosas sugestões para o melhoramento do desenho experimental. A Capes/CNPq pela bolsa de estudo.

## **6. REFERÊNCIAS**

- Campos, M. A. A., Uchida, T. 2002. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37, 281-288.
- Carrijo, O. A., Liz, R. S., Makishima, N., 2002. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*. 20, 533-535.
- Cavalcanti, N.B., Resende, G.M., 2005. Influência de diferentes substratos na emergência de plântulas de imbuzeiro. *Caatinga*. 18, 22-27.
- Cerda, N. V., Tadey, M., Farji-Brener, A. G., Navarro, M. C. 2012. Effects of leaf-cutting ant refuse on native plant performance under two levels of grazing intensity in the Monte Desert of Argentina. *Appl. Veg. Sci.* 15, 479 - 487.
- Cherrett, J. M., Powell, R., Stradling, D. J. 1989. The mutualism between leaf-cutting ants and their fungus, in: Wilding, N., Collins, N.M., Webber, J.F. (Eds.), *Insect-Fungus Interactions*. Academic Press, New York, pp. 93-120.

- Crawley, M.J. 2013. The R book. 2<sup>nd</sup> ed. Wiley, London.
- Cunha, C., Gallo, A. S., Guimaraes, N. F., R. F. 2014. Substratos alternativos para produção de mudas de alface e couve em sistema orgânico. *Scientia Plena*. 10, 1-9.
- Diniz, K. A., Guimarães, S. T. M. R., Luz, J. M. Q. 2006. Húmus como substrato para a produção de mudas de tomate, pimentão e alface. *Bioscience Journal*. 22, 63-70.
- Duarte, R. F., Sampaio, R. A., Brandão, J. D. S., Silva, H. P., Parreiras, N. S., Neves, J. N. G. 2011. Crescimento inicial de mudas de *Acacia mangium* cultivadas em mantas de fibra de coco contendo substrato de lodo de esgoto. *Revista Árvore*. 35, 69-76.
- Ferraz, M. V., Centurion, J. F., Beutler, A. N. 2005. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. *Acta Sci-Agron*. 27, 209-214.
- Freitas, G. A., Silva, R. R., Barros, H. B., Vaz-de-Melo, A., Abraão, W. A. P. 2013. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. *Revista Ciência Agronômica*. 44, 159-166.
- Fowler, H. G., Forti, L. C., Romagnano, L. F. T. D. 1990. Methods for the evaluation of leaf cutting ant harvest, in: Vander-Meer, R. K., Jaffe, K., Cedeno, A. (Ed.), *Applied Myrmecology - A world perspective*. Westview Press, Boulder, San Francisco and Oxford. pp. 228-241.
- Freitas, G. A., Silva, R. R., Barros, H. B., Vaz-de-Melo, A., Abrahão, A. P. 2013. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. *Revista Ciência Agronômica*. v. 44, 159-166.
- Gomes, L. A. A., Rodrigues, A. C., Collier, L. S., Feitosa, S.S., 2008. Produção de mudas de alface em substrato alternativo com adubação. *Horticultura Brasileira*. 26, 359-363.
- Guerra, M. B. B., Schaefer, C. E. G. R., Sousa-souto, L., 2007. Características químicas do lixo de formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) mantidos com diferentes substratos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 31, 1185-1189.

- Guilhoto, J. J. M., Silveira, F. G., Ichihara, S. M., Azzoni, C. R. 2006. A importância do agronegócio familiar no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 44, 355-382.
- Herz, H., Beyschlag, W., Holldobler, B. 2007. Herbivory rate of leaf-cutting ants in a tropical moist forest in Panama at the population and ecosystem scales. *Biotropica*. 39, 482-488.
- Holldobler, B., Wilson, E. O. *The ants*. 1990. Cambridge: Harvard University Press. 732 p.
- Kampf, A. N. 2000. Seleção de materiais para uso como substrato, in: Kämpf, N. A., Fermino M. H. (Ed.), *Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes*. Porto Alegre: Gênese. pp. 139-145.
- Longino, J. T. 1986. Ants providesubstrate for epiphytes. *Selbyana*. 9, 100-103.
- Luz, J. M. Q., Bellodi, A. L., Martins, S. T., Diniz, K. A., Lana, R. M. Q. 2004. Composto orgânico de lixo urbano e vermiculita como substrato para a produção de mudas de alface, tomate e couve-flor. *Bioscience Journal*. 30, 1325-1334.
- Machado – Neto, B. N., Custódio, C. C., Carvalho, P. R., Yamamoto, N. L., Cacciolari, C. C. 2005. Casca de *Pinus*: avaliação da capacidade de retenção de água e da fitotoxicidade. *Colloquium Agrariae*. 01, 19-24.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedlings emergence and vigor. *Crop Science, Madison*. 02, 176-177.
- Marques, P. A. A., Baldotto, P. V., Santos, A. C. P., Oliveira, L., 2003. Qualidade de mudas de alface formadas em bandejas de isopor com diferentes números de células. *Horticultura Brasileira*. 21, 649-651.
- Martins, C. C., Nakagawa, J., Bovi, M. L. 1999. Efeito da posição da semente no substrato e no crescimento inicial das plântulas de palmito-vermelho (*Euterpe espírito santensis* Fernandes – Palmae). *Revista Brasileira de Sementes*. 21, 164-173.

- Martins, I. S., Silva, I. M., Ferreira, I., Melo, L. F., Nomura, M., 2013. Produtividade da alface em função do uso de diferentes fontes orgânicas fosfatadas. *Revista Uberaba*. 10, 36-40.
- Medeiros, A. S., Silva, E. G., Luison, E. A., Andreani, J. R., Kouzsný, A. D. I. 2010. Utilização de compostos orgânicos para uso como substratos na produção de mudas de alface. *Dourados*. 3, 261-266.
- Medeiros, M. C. L., Medeiro, D.C., Filho, J. L. 2007. Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos. *Revista Verde*. 2, 158-161.
- Moutinho, P., Nepstad, D., Davidson, E., 2003. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology*. 84, 1265–1276.
- Nodari, R.O., Guerra, M. P. 2015. A agroecologia: estratégias de pesquisas e valores. *Estudos Avançados*. 28, 183-207.
- Oliveira, A. B., Hernandez, F. F., Júnior, R. N. A. 2008. Pó de coco verde, uma alternativa de substrato na produção de Mudas de berinjela. *Revista Ciência Agronômica*. 39, 39-44.
- Oliveira, I. V. M., Cavalcante, I. H. L., Martins, A. B. G. 2006. Influência do substrato na emergência de plântulas de Sapota Preta. *Revista Caatinga*. 19, 383-386.
- Oliveira, L. C., Tavares, J. C., Rodrigues, G. S. O. , Maracajá, P. B., Silva, M. L. 2009. Efeito de diferentes substratos na germinação de sementes e formação inicial de plântulas de graviola. *Revista Verde*. 04, 90-97.
- Paiva, E. P. P., Maia, S. S. S., Cunha, C. S. M., Coelho, M. F. B., Silva, F. N. S. 2011. Composição do substrato para o desenvolvimento de mudas de Manjeriço (*Ocimum basilicum*). *Revista Caatinga*. 24, 62-67.
- R Development Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing.
- Ramos, J. D., Chalfun, N. N. J., Pasqual, M., Rufini, J. C. M. 2002. Produção de mudas de plantas frutíferas por semente. *Informe Agropecuário*. 23,64-72.

- Roel, A. R. 2002. A agricultura orgânica ou ecológica e a sustentabilidade da agricultura. *Revista Internacional de Desenvolvimento Local*. 03, 57-62.
- Silveira, E. B., Rodrigues, V. J. L. B., Gomes, A. M. A., Mariano, R. L. R., Mesquita, J. C. P., 2002. Pó de coco como substrato para produção de mudas de tomateiro. *Horticultura Brasileira*. 20, 211-216.
- Smiderle, O. J., Salibe, A. B., Hayashi, A. H., Minami, K. 2001. Produção de mudas de alface, pepino e pimentão em substratos combinando areia, solo e Plantmax. *Horticultura Brasileira*. 19, 253-257.
- Souza, E. G. F., Barros-Junior, A. P. B., Silveira, L. M., Calado, T. C., Sobreira, A. M. 2013. Produção de mudas de alface babá de verão com substratos à base de esterco ovino. *Revista Mossoró*. 26, 63-68.
- Sousa-Souto, L., Guerra, M. B. B., Schoederer, J. H., Schaefer, C. E. G. R., Silva, W. L. 2007. Determinação do fator de conversão em colônias de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) e sua relação com a qualidade do material vegetal cortado. *Revista Árvore*. 31, 163-166.
- Sousa-souto, L., Guerra, M. B. B., Ambrogi, B. G., Pereira-Filho, E. R. 2012. Nest refuse of leaf-cutting ants mineralize faster than leaf fragments: Results from a field experiment in Northeast Brazil. *Appl. Soil. Ecol. (Print)*. 61, 131-136.
- Sousa-Souto L., Souza, D. J. 2006. Queen influence on workers behavior of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (FOREL, 1908). *Braz. J. of Biol.* 66, 29-41.
- Sousa-Souto, L., Schoederer, J. H., Schaefer, C. E. G. R., Silva, W. L. 2008. Ant nests and soil nutrient availability: the negative impact of fire. *J. Trop. Ecol.* 24, 639-646.
- Sousa-Souto, L.; Viana-Junior, A. B.; Nascimento, E. S. 2013. Spatial Distribution of *Acromyrmex balzani* (Emery) (Hymenoptera: Formicidae: Attini) Nests Using Two Sampling Methods. *Sociobiology*. 60, 162-168.
- Taiz, L., Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 2004. Porto Alegre: Artmed. pp. 95-114.
- Trani, P. E., Feltrin, D. M., Pott, C. A., Schwingel, M. 2007. Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. *Horticultura Brasileira*. 25, 256-260.

Trani, P. E., Novo, M. C. S. S., Cavallaro-Júnior, M. L., Telles, L.M.G. 2004. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. Horticultura Brasileira. 22, 290-294.

## CAPÍTULO 2

### O lixo de saúvas favorece a regeneração vegetal?

RAFAELLA SANTANA SANTOS, MARCELO BRAGA BUENO GUERRA &  
LEANDRO SOUSA SOUTO

**Resumo:** O lixo produzido por formigas cortadeiras pode atuar como fertilizante natural em áreas em regeneração, uma vez que os solos nessas áreas são geralmente pobres em nutrientes e matéria orgânica. Este estudo investigou o efeito do lixo na regeneração da vegetação recém desmatada, tendo como hipóteses que o lixo: *i*) modifica a diversidade *ii*) aumenta a biomassa (vigor) das espécies herbáceas nas parcelas. Uma parcela de 10 m x 5m foi demarcada e dividida em 50 parcelas de 1 m<sup>2</sup>. Destas, 30 parcelas foram sorteadas para levantamento das espécies herbáceas presentes. Após isso, a vegetação original foi totalmente removida em toda a área da parcela. Posteriormente, no centro de cada uma das 30 subparcelas de 30 cm x 30 cm foi demarcada, sendo 15 contendo uma mistura de um litro de solo peneirado + 250 mL de lixo de *Atta opaciceps* (25% de lixo) e 15 com 1 litro de solo (controle). Os quadrantes permaneceram no local por 150 dias, para serem recolonizados pela vegetação. Após 150 dias avaliou-se a riqueza, abundância, biomassa seca e composição das espécies herbáceas que colonizaram as parcelas. Não houve diferença na riqueza, nem na abundância das espécies entre os tratamentos. Entretanto, a composição das espécies diferiu entre tratamentos bem como os quadrantes com lixo apresentaram maior biomassa. Desta forma, o lixo pode atuar como um substrato facilitador nas áreas em regeneração, aumentando o vigor das plântulas (biomassa) e a biodiversidade da área. Este é o primeiro estudo que mostra de forma aplicada como o lixo pode ser inserido em programa de restauração de áreas recém desmatadas.

**Palavras-chave:** Descarte; Formigas Cortadeiras; Regeneração Florestal; Nutrientes do Solo; Vigor de Plantas; Serviços Ecológicos

## 1. INTRODUÇÃO

As formigas cortadeiras são organismos de organização social peculiar e dominante nos ambientes tropicais, ocupando áreas extensas e impactando os ecossistemas de diferentes formas, podendo ser consideradas como espécies-chave (Della Lúcia & Fowler, 1993). Juntamente com os cupins, besouros e minhocas formam o grupo dos “engenheiros do ecossistema” (Lavelle et al. 1997), devido à capacidade de modificar a estrutura do solo, criando micro-habitats ricos em nutrientes que são disponibilizados para a vegetação adjacente (Farji-Brener & Illes, 2000; Garrettson et al. 1998; Sousa-Souto & Sternberg, 2011; Pirk & Farji- Brener, 2013).

Além do papel de engenheiras, as formigas cortadeiras também desempenham outros serviços ecossistêmicos com efeito direto sobre população de plantas, como exemplos na dispersão de sementes, na polinização e na ciclagem de nutrientes (Del-Toro et al. 2012; Leal & Oliveira, 2000). Apesar dos diversos estudos que demonstram o efeito dos serviços ecológicos prestados pelas formigas cortadeiras para a vegetação, pouco se sabe sobre seu papel como agente facilitador no processo inicial de recrutamento de espécies vegetais (Farji-Brener & Illes; 2000; Garrettson et al. 1998; Leal & Oliveira, 2000; Sousa-Souto & Sternberg, 2011; Pirk & Farji- Brener, 2013).

Entre os exemplos existentes, pode-se citar que a presença de colônias de *Atta* sp. (saúvas) em solos tropicais facilitou a penetração de raízes e influenciou o desempenho das plantas, avaliado pela altura, comprimento de raiz, biomassa, bem como a concentração de nutrientes foliares, e a riqueza de espécies vegetais quando comparado com áreas adjacentes (Farji- Brener et al. 2014; Moutinho et al. 2003; Sousa-Souto et al. 2008; Sternberg et al. 2007). Ao que parece, as mudanças ocorridas na vegetação devem-se às atividades de engenharia e especialmente pelas câmaras de lixo.

O lixo é o material gerado após a degradação pelo fungo simbiote do material vegetal carregado para o ninho, juntamente com formigas mortas, microorganismos e detritos não decompostos pelo fungo (Cherrett et al.1989; Fowler et al. 1990; Sousa-Souto et al. 2007). Em solos distróficos, como áreas que sofreram perturbações (queimadas, seca, desmatamento recente), o lixo pode atuar como áreas de recrutamento para as espécies pioneiras, como herbáceas por fornecer melhores condições (nutrientes, umidade, aeração) que o solo do entorno (Farj-Brener & Ghermandi et al. 2004; Farji-Brenner et al. 2014).

Em áreas recém desmatadas, o processo inicial de recuperação pode ser limitado por diversos fatores, como: solo compactado, baixas concentrações de nutrientes e de umidade, árvores esparsas, limitada presença de dispersores de sementes e intenso ataque de insetos herbívoros (Vasconcelos & Cherrett, 1997). Nesses ambientes, os serviços prestados pelas formigas cortadeiras podem minimizar ou até mesmo balancear esse impacto, ao aumentar a fertilidade, porosidade e umidade do solo e propiciar um maior recrutamento de indivíduos, que em áreas adjacentes (solo raso, seco e infértil) (Cerda et al. 2012; Farji-Brener & Illes 2000; Fernández et al. 2014; Garrettson et al. 1998; Moutinho et al. 2003).

Esse tipo de informação torna-se ainda mais relevante se levarmos em conta que as formigas cortadeiras promovem todos os tipos de serviços ecossistêmicos (regulação, provisão e cultural) e são um dos grupos que mais beneficiam ecossistemas perturbados por meio dos serviços ecológicos fornecidos (Del-Toro et al. 2012).

Dentre os serviços prestados, o de regulação está intimamente ligado aos processos de ciclagem de nutrientes, formação do solo, acúmulo de nutrientes e matéria orgânica (Del-Toro et al. 2012). Apesar dos efeitos positivos deste tipo de serviço, uma abordagem permanece inexplorada: como o lixo produzido pelas formigas cortadeiras pode ser útil em áreas em processo de regeneração?

Esse tipo de abordagem é importante tanto para saber como o lixo pode ser utilizado como fertilizante natural em práticas de restauração (Cerda et al. 2012), bem como para compreender melhor os serviços ecossistêmicos de regulação fornecidos pelas formigas cortadeiras.

Assim, esse estudo propôs testar se o lixo da formiga cortadeira *Atta opaciceps*: *i*) modifica a diversidade e *ii*) aumenta a biomassa (vigor) das espécies herbáceas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado no espaço agroecológico (EVA) pertencente ao campus da Universidade Federal de Sergipe (UFS) (10°55 "S e 37°06 "W), no município de São Cristovão, Sergipe, Brasil. A vegetação da área é composta por herbáceas, com presença de espécies arbóreas esparsas com porte de até 5 m e um sistema

agroflorestal (SAF) com árvores que atingem uma altura de aproximadamente 10 m, circundado por um fragmento de mata Atlântica.

O clima da região é tropical úmido e seco (Köpper), com temperatura média de 25,3 °C e pluviosidade média anual de 1372 mm. O experimento foi realizado na estação seca entre os meses de outubro/2015 e março/2016.

## **2.2. Levantamento preliminar do banco de herbáceas**

Um levantamento da vegetação herbácea da área foi realizado antes da instalação do experimento com a finalidade de conhecer o banco local de espécies herbáceas (avaliação inicial - AI), e facilitar a identificação após a instalação do experimento (avaliação final - AF). Para isto, foi delimitada uma área de 10 m x 5 m e instaladas 30 parcelas de 1m<sup>2</sup> previamente sorteadas.

Todo material botânico com estruturas reprodutivas das parcelas foi coletado, prensado, colocado em estufa por 48h a 60 °C e posteriormente montado em exsiccatas. As identificações ocorreram por meio de chaves taxonômicas, consulta a especialista em botânica e comparação com amostras já existentes no Herbário da Universidade Federal de Sergipe (ASE), ao menor nível possível. Todo material coletado foi depositado no acervo do Herbário ASE.

## **2.3. Delineamento experimental**

Após o levantamento preliminar das espécies herbáceas presentes, toda a vegetação presente na área foi completamente removida por meio de capina manual, para a instalação de subparcelas e monitoramento do processo de colonização natural posterior. Para avaliar o efeito do lixo de formigas na dinâmica do crescimento da vegetação na área, foram instaladas 30 subparcelas de 30 cm x 30 cm, sendo 15 parcelas contendo um substrato à base de solo local e 25% v/v de lixo e 15 parcelas compostas somente com solo local. As parcelas foram instaladas no centro das mesmas parcelas em que foi realizado o levantamento herbáceo (Figura 1).

Para formulação do substrato contendo o lixo, o material foi adquirido de 30 colônias artificiais de *Atta opaciceps* (cada uma com aproximadamente 1L de fungo) mantidas em laboratório desde 2015 (para detalhes da criação ver Sousa-Souto & Souza 2006). O lixo foi posto em estufa por 48h a 60 °C, com a finalidade de eliminar patógenos presentes no material.

A formulação do substrato ocorreu a partir do lixo de *A. opaciceps* e solo da área do experimento na proporção 1:3 (250 mL de lixo + 750 mL de solo peneirado

(v/v), ou seja, 25% de lixo. O solo foi primeiramente peneirado em malha de 1 mm, sendo realizada a mistura com o lixo de forma manual. Cada parcela do tratamento com lixo recebeu 1 litro do substrato. As parcelas controle receberam 1 litro apenas com o solo peneirado, retirado do próprio local.

#### **2.4. Estimativa da diversidade de herbáceas entre tratamentos**

As 15 parcelas com lixo e suas respectivas áreas controle foram monitoradas para observação das plantas que se estabeleceram nestes locais naturalmente. Aos 150 dias após a instalação do experimento em todas as parcelas, os indivíduos foram morfotipados e contados para determinar a riqueza e a abundância. Um exemplar de cada morfotipo foi coletado para identificação da espécie. Todo material botânico coletado passou pelo mesmo procedimento descrito anteriormente (ver sessão 2.2.).

#### **2.5. Estimativa do vigor de herbáceas entre tratamentos**

Para avaliar se há influência do lixo no desempenho das herbáceas, após a avaliação da diversidade, a biomassa aérea de todas as parcelas foi removida com auxílio de uma tesoura de poda.

O material cortado foi colocado em sacos de papel individualizados e levado ao Laboratório de Entomologia da UFS. Posteriormente foi seco em estufa a 60 °C por 48h e pesado em balança analítica, para estimar a biomassa vegetal das parcelas.

#### **2.6. Análise química**

Foram coletadas amostras de solo para determinar as concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn e B entre os tratamentos : solo e solo + lixo .

Ver 2.2. *Análises químicas* (Capítulo 1)

#### **2.7. Análise estatística**

A ordenação dos nutrientes em relação aos tratamentos (Controle e lixo) foi obtida por meio de análise de componentes principais (PCA). Para a aplicação da PCA, os dados foram autoescalados (Sousa-Souto 2013), para que os valores das diferentes variáveis e suas escalas de grandeza tivessem o mesmo peso. Valores gerados na PCA foram tratados como variável resposta e submetidos à ANOVA para detectar diferenças entre os tratamentos.

Diferenças na diversidade (riqueza e abundância) de herbáceas, bem como biomassa em relação ao tipo de tratamentos, foram comparadas por meio de modelos lineares generalizados (GLMs). Nesses modelos, a riqueza, abundância e biomassa foram as variáveis resposta e os tratamentos foram as variáveis explicativas.

Com a finalidade de verificar se houve mudanças na composição de espécies herbáceas entre os tratamentos, foi realizada uma análise de escalamento multidimensional não-métrico (NMDS) com os dados de antes e depois da implantação do experimento. Dessa forma foi realizada a ordenação das parcelas, com os dados de presença/ausência das espécies em cada parcela, utilizando-se o índice de similaridade de Jaccard. Posteriormente, para testar se a composição das espécies herbáceas eram estatisticamente diferentes entre as parcelas, foram feitas análises de similaridade (ANOSIM), com nível de significância de 5% (Clarke,1993).

Os modelos foram submetidos à análise de resíduos para verificar a adequabilidade da distribuição de erros assumida. (Crawley, 2013). As análises foram feitas utilizando-se o software R (R Development Core Team 2014).

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Composição química do solo**

Houve diferenças significativas entre a composição química dos tratamentos (Tabela 1) ( $P < 0.001$ ). Dentre os elementos químicos determinados, os teores de P, K, Ca, Mg e S foram aproximadamente duas vezes mais elevados nas parcelas com presença do lixo em relação às parcelas do tratamento controle.

Na PCA, as duas primeiras componentes explicaram 97,8% da variância total dos dados, com formação de dois grupos distintos (Figura 2). Em geral, a primeira componente principal teve forte influência dos macronutrientes P ( $r^2 = 0.99$ ,  $P < 0.001$ ), K ( $r^2 = 0.99$ ,  $P < 0.001$ ), Ca ( $r^2 = 0.98$ ,  $P < 0.001$ ), Mg ( $r^2 = 0.97$ ,  $P < 0.001$ ), e S ( $r^2 = 0.99$ ,  $P < 0.001$ ), enquanto a segunda componente está relacionada com os micronutrientes Mn ( $r^2 = 0.25$ ,  $P < 0.001$ ), Cu ( $r^2 = 0.48$ ,  $P < 0.001$ ), e Zn ( $r^2 = 0.27$ ,  $P < 0.001$ ).

#### **3.2. Composição das espécies herbáceas entre avaliações e tratamentos**

Foram coletadas 10 espécies de herbáceas na área antes da instalação do experimento (AI), pertencentes a oito famílias (Tabela 2). Na avaliação final (AF), após 150 dias da remoção da vegetação, houve acréscimo de quatro novas espécies, apresentando um total de 12 espécies pertencentes a nove famílias. A espécie mais frequente nas duas avaliações foi a *Cenchrus echinatus* (ocorrência em 90% das parcelas) (Tabela 2).

### **3.3. Diversidade de espécies de herbáceas entre tratamentos**

Um total de 12 espécies herbáceas foi registrado na área analisada após 150 dias e destas, apenas duas espécies foram exclusivas do tratamento controle (Tabela 2).

A riqueza das espécies herbáceas não foi significativamente diferente nas parcelas com lixo do que nas parcelas controle ( $P > 0.05$ ) (Figura 3a), apresentando riqueza média ( $\pm$  EP) de  $3,6 \pm 0,2$  espécies nas parcelas com lixo e  $4,2 \pm 0,2$  espécies nas parcelas controle.

Para a abundância das espécies, os resultados também não mostraram diferenças estatísticas entre os tratamentos ( $P > 0.05$ ) (Figura 3b).

Com relação à composição das espécies herbáceas, o NMDS mostrou uma distinção entre as parcelas com lixo e suas parcelas controle, apesar de uma sobreposição parcial (Figura 4), essa diferença foi confirmada pela análise de similaridade (ANOSIM) ( $r^2 = 0.12$ ;  $P = 0.014$ ).

### **3.4. Biomassa produzida entre tratamentos (vigor)**

A biomassa vegetal diferiu estatisticamente entre as parcelas com lixo e as parcelas controle ( $P < 0.05$ ). Houve um incremento de 43% na biomassa das parcelas com lixo (média ( $\pm$  EP) de  $164 \pm 42$  gramas *versus*  $114 \pm 29$ , respectivamente (Figura 5).

Tabela 1: Teores de macronutrientes (g/kg) e micronutrientes (mg/kg) contidos nos tratamentos avaliados (Controle = solo controle e Lixo = Solo + Lixo de *A. Opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe. Novembro/2015.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	B	Fe
	g/Kg					mg/kg				
Controle	0.12b*	0.59b	1.32b	0.29b	0.25b	4.21a	18.38a	25.12a	7.81a	4470a
Lixo	0.22a	1.05a	2.06a	0.40a	0.69a	3.58b	19.24a	18.36b	5.22b	2224b

Tabela 2: Espécies herbáceas amostradas na área antes da instalação do experimento (AI) e após (AF); e entre diferentes tratamentos (controle = solo sem lixo; lixo= solo + lixo de *A. opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe, Brasil. Março/2016.

ESPÉCIES VEGETAIS	TRATAMENTOS			
	AI	AF	CONT	LIXO
<b>FAMÍLIA / ESPÉCIE</b>				
<b>Amaranthaceae</b>				
<i>Alternanthera ficoidea</i> (L.) P. Beauv.	X			
<b>Asteraceae</b>				
<i>Conocliniopsis prasiifolia</i>		X	X	X
<b>Cleomaceae</b>				
<i>Cleome aculeata</i> L.	X	X	X	
<b>Commelinaceae</b>				
<i>Commelina erecta</i> L.		X	X	X
<b>Euphorbiaceae</b>				
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	X	X	X	X
<b>Passifloraceae</b>				
<i>Turnera subulata</i> Sm.	X	X	X	X
<b>Phyllanthaceae</b>				
<i>Phyllanthus niruri</i> L.	X	X	X	X
<b>Poaceae</b>				
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	X	X	X	X
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	X	X	X	X
<i>Paspalum ligulare</i> Nees		X	X	X
<i>Paspalum pleostachyum</i> Döll	X	X	X	
<b>Portulacaceae</b>				
<i>Portulaca beldroega</i> L.		X	X	X
<b>Rubiaceae</b>				
<i>Diodella teres</i> (Walter) Small	X			
<i>Richardia grandiflora</i> (Cham. &Schltdl.) Steud.	X	X	X	X
<b>TOTAL</b>	10	12	12	10

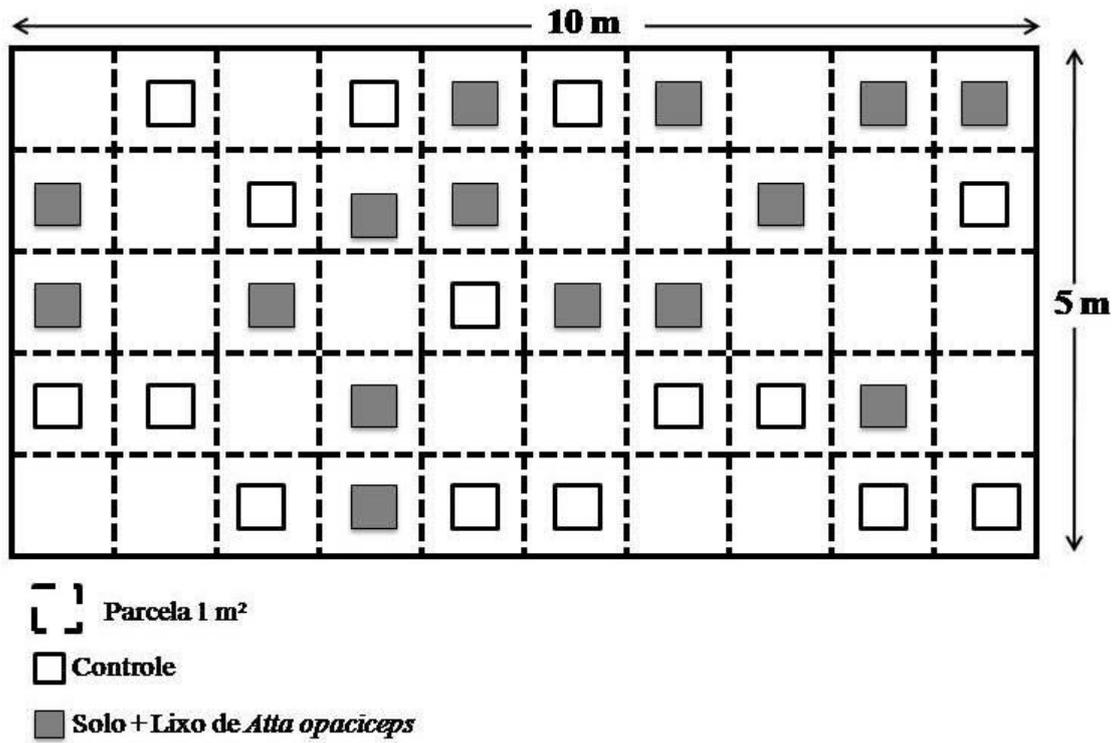


Figura 1: Esquema do desenho experimental onde parcelas Controle e com Lixo de *A. opaciceps* foram dispostas nas subparcelas de 1m<sup>2</sup>.

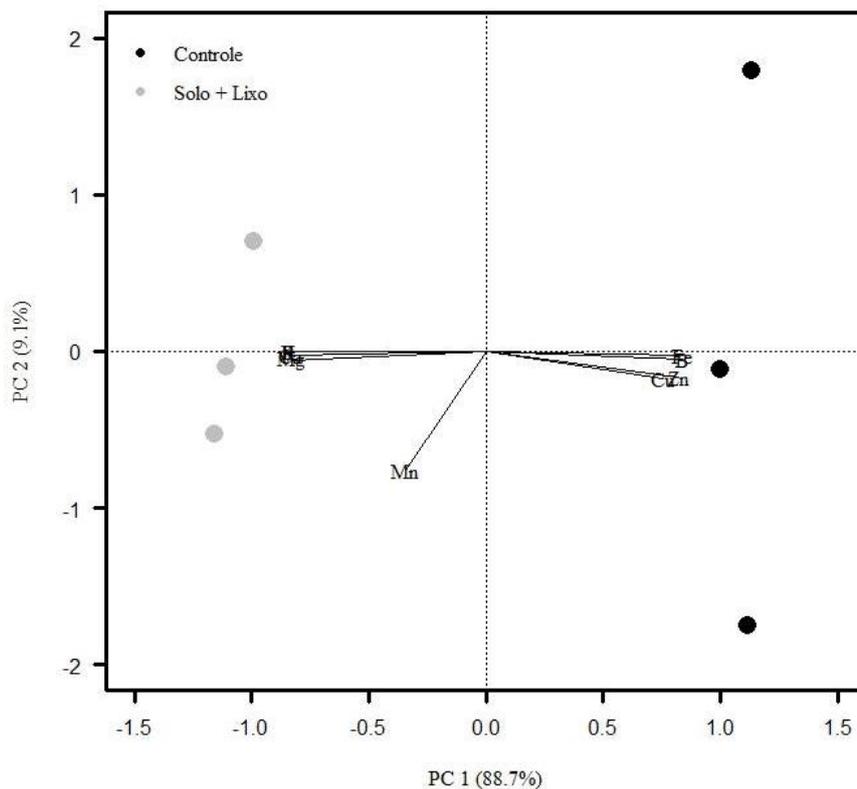


Figura 2: Análise de componentes principais (PCA) entre tratamentos (Cont = solo controle; Solo + Lixo de *A. opaciceps*) e composição dos nutrientes nos tratamentos testados.

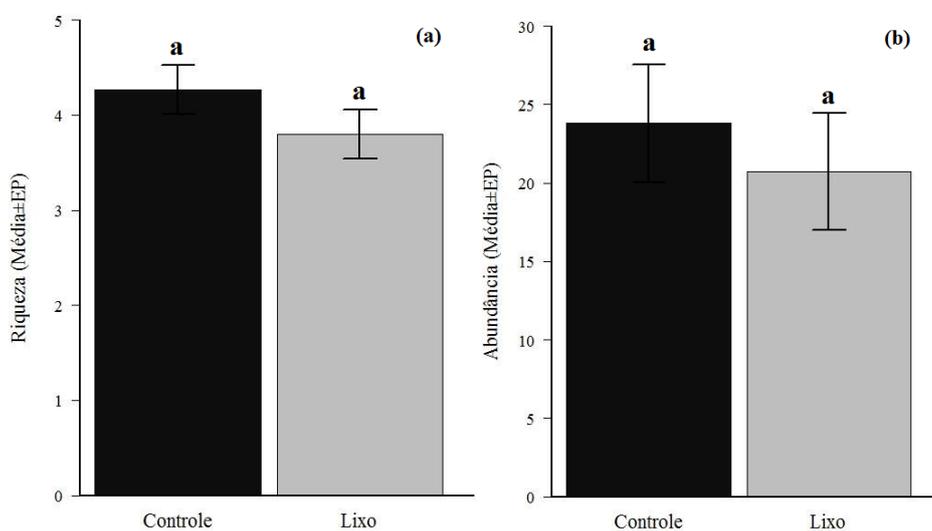


Figura 3: Riqueza média de herbáceas ( $\pm$  EP); b) Abundância média de herbáceas ( $\pm$  EP) entre tratamentos (controle = solo controle; lixo = solo + lixo de *A. opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe, Março/2015.

\* Letras diferentes acima das barras de erro representam resultados significativos ( $P < 0.05$ ).

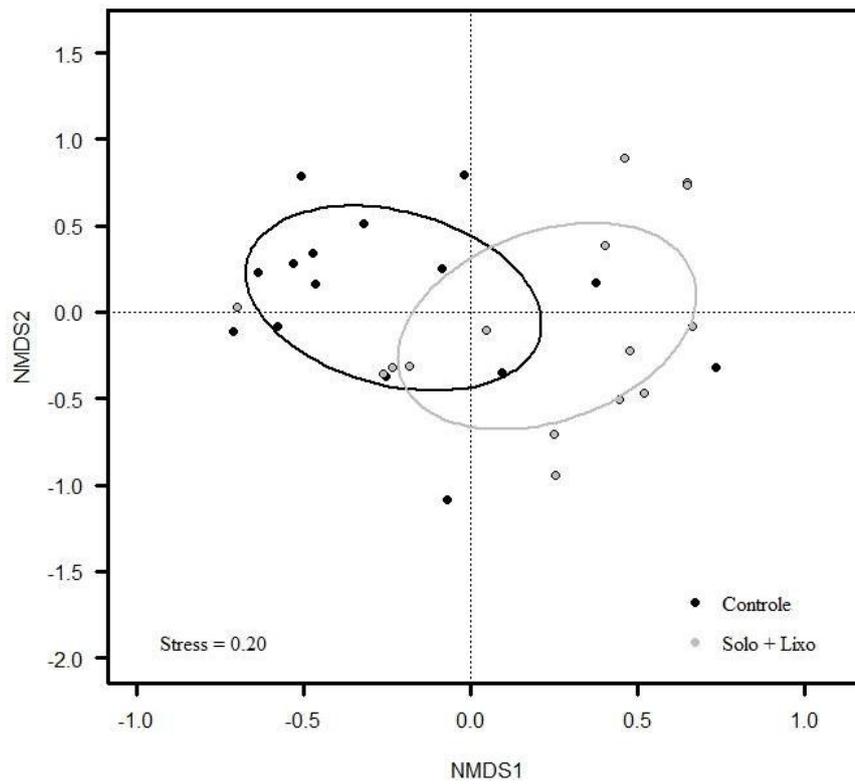


Figura 4: Análise da ordenação do NMDS para composição de espécies herbáceas para os dois tratamentos (controle = solo sem lixo; solo + lixo de *A. opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe, Março/2015

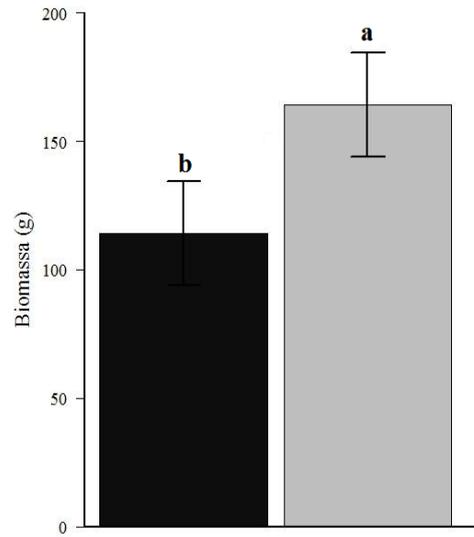


Figura 5: Biomassa média ( $\pm$  EP) produzida entre diferentes tratamentos (controle = solo sem lixo; lixo = solo + lixo de *A. opaciceps*). São Cristóvão, Sergipe, Março/2015. Letras diferentes acima das barras de erro representam resultados significativos ( $P < 0.05$ ).

#### 4. DISCUSSÃO

Câmaras de descarte (lixo) dos ninhos de formigas cortadeiras vêm sendo consideradas um dos agentes mais importantes na dinâmica da vegetação em ambientes perturbados. Neste estudo foi confirmado experimentalmente o efeito do lixo na dinâmica vegetal e no desempenho vegetativo das espécies herbáceas em ambientes recém desmatados. Os resultados obtidos corroboraram com outros estudos, indicando que o lixo promove mudanças da vegetação do entorno dos ninhos (Hainnes,1978; Farji-Brener & Illes 2000; Farji-Brener & Werenkraut, 2014 ; Fernández et al. 2014; Moutinho et al. 2003).

Alguns padrões foram observados nesse estudo, primeiro que houve mudança no teor de nutrientes do solo após a adição do lixo (corroborando com Farji-Brener & Illes, 2000; Farji-Brener & Silva 1995; Sousa-Souto et al. 2007,2008), contudo, não foi observada mudança significativa na riqueza e abundância vegetal (Farji-Brener & Ghermandi, 2008; Hudson et al. 2009), mas na composição e no desempenho das plantas (Farji-Brener et al. 2010; Moutinho et al. 2003), avaliada pela biomassa.

A constatação de maiores teores de nutrientes em áreas sob a influência de colônias de formigas cortadeiras do que em áreas adjacentes foi mostrada em diversos trabalhos com saúvas (*Atta* sp.) tanto em áreas de cerrado como em mata Atlântica (Moutinho et al. 2003; Sousa-Souto et al. 2008; Sternberg et al. 2007). Da mesma forma, demonstrou-se que as melhorias nas propriedades químicas do solo são oriundas do lixo, que também contribui para o aperfeiçoamento no desempenho da vegetação (Farji-Brener & Werenkraut, 2014 ).

No presente estudo, demonstrou-se que houve aumento dos teores de nutrientes no solo perturbado devido à adição do lixo (ver Tabela 1; 2), corroborando com dados apresentados na literatura (Farji-Brener & Werenkraut, 2014). Para acessar os teores de nutrientes, utilizou-se a digestão ácida assistida por radiação micro-ondas com a adição de ácido nítrico e peróxido de hidrogênio seguida pela quantificação por ICP OES. Neste caso, para o material vegetal, os teores se referem à fração total dos analitos e para o solo, à fração lixiviável. Cabe ressaltar, todavia, que os métodos mais apropriados para a avaliação da fertilidade de solos envolvem o uso de extrações químicas sob condições brandas, com o objetivo de acessar a fração de nutrientes prontamente disponível para as plantas (Soratto & Crusciol, 2008). Para este objetivo, os extratores mais recomendados são o Mehlich-1 (Defilippo & Ribeiro, 1997), solução composta por ácido dietilenotriaminopentacético e trietanolamina (DTPA-

TEA) (Raij et al. 1996) e o extrator Mehlich-3 (Mehlich, 1984). Não obstante, o método empregado neste estudo é apropriado para o propósito desta abordagem inicial que se refere à caracterização química do solo e do material resultante da incorporação do lixo de formigas ao mesmo.

Diante disso, a primeira conclusão deste estudo é a de que o lixo produzido por formigas cortadeiras aumentou a fertilidade do solo das parcelas tratadas com esse substrato e através desse efeito positivo sobre a composição química, pode beneficiar o desenvolvimento da comunidade de herbáceas estabelecidas nestas parcelas (Cerda et al. 2012; Farji-Brener & Medina, 2000; Farji-Brener & Silva, 1995; Moutinho et al. 2003).

A presença do lixo nas parcelas não influenciou na abundância e na riqueza da vegetação de herbáceas, ao contrário do que se esperava, já que são variáveis biológicas intimamente relacionadas com as alterações químicas promovidas no solo pelo lixo de formigas cortadeiras (Cherrett et al. 1989; Fowler et al. 1990; Sousa-Souto et al. 2007). No entanto, não foi possível observar este padrão neste estudo, possivelmente por: *i*) adaptação das espécies a solos pobres, *ii*) ciclo de vida rápido, *iii*) mineralização acelerada, *iv*) influência apenas em nível de indivíduo (vigor) (Farji-Brener & Werenkraut, 2014 ).

A análise dos dados apresentados permite supor que o tipo de substrato com lixo não é o fator que determina mudanças na riqueza e/ou abundância das espécies (Farji-Brener & Werenkraut, 2014), contudo quando se leva em consideração a composição das espécies pode haver mudança devido à dinâmica de ocupação e adaptação de algumas espécies pioneiras a ambientes mais pobres (Farji-Brener et al. 2010). O lixo pode contribuir não apenas no sentido de recrutar um maior número de espécies, mas também no favorecimento de um grupo específico com algum tipo de requerimento especial, como nutrientes (Farji-Brener & Illes, 2000). Para a elucidação desse comportamento, seria necessário um estudo de longo prazo com foco nas espécies *Cenchrus echinatus* L., *Phyllanthus niruri* L. e *Euphorbia hyssopifolia* L. por terem sido as mais abundantes na área estudada.

Finalmente, os resultados deste estudo confirmam o padrão geral de que as plantas se desenvolvem melhor nas parcelas com lixo do que em nas parcelas controle (Farji-Brener & Werenkraut, 2014 ). A maior biomassa encontrada nas parcelas com lixo indica que em situações de estresse (como seca ou fogo) este substrato contribui

para aumentar a resistência das plantas a essas perturbações o que pode auxiliar na sobrevivência, no recrutamento inicial e na expansão das comunidades vegetais.

As formigas cortadeiras prestam diversos serviços nos ecossistemas em que ocorrem. Neste estudo demonstrou-se, de forma indireta, que estes organismos podem auxiliar na regeneração da cobertura inicial de áreas recém-desmatadas, destacando mais um serviço de provisionamento prestado pelas formigas cortadeiras, por utilizar o lixo como produto para fins de restauração (Del-Toro et al. 2012).

Esse tipo de informação é crucial para entender como o lixo produzido por formigas cortadeiras pode ser inserido em ambientes em regeneração. Apesar de ser uma atividade para manutenção da colônia, o lixo produzido mostra-se como uma alternativa viável para restauração de áreas que sofreram algum tipo de perturbação (queimadas, desmatamento, seca), mostrando mais um efeito benéfico do grupo aos ecossistemas. Ao diminuir a compactação do solo e elevar a concentração de nutrientes, plantas de vida curta que possuem raízes superficiais facilmente se estabelecerão e assimilarão os nutrientes disponíveis pelo lixo (Farji-Brener & Ghermandi, 2004; Farji-Brener et al. 2010, 2014).

Neste estudo também confirmou-se que plantas em ambientes com influência do lixo tem um melhor vigor (Farji-Brener & Werenkraut, 2014 ; Moutinho et al. 2003). Particularmente, o incremento do lixo em regiões perturbadas como as testadas neste estudo favorecem o desempenho de plantas conferindo-as uma maior resistência ao ataque de herbívoros, e às perturbações. Isto faz com que haja maiores chances de sobrevivência, garantindo assim uma rápida regeneração destes ambientes

A mata Atlântica, possui atualmente cerca de 12 % da sua cobertura original, formada por pequenos fragmentos circundados por culturas agrícolas, pastos e ocupação urbana (Tabarelli et al. 2012). No estado de Sergipe, apenas 2% da vegetação original é preservada (Dantas et al. 2010). Sabendo que em áreas degradadas a densidade de ninhos de formigas cortadeiras tende a aumentar (Vasconcelos & Cherrett, 1995), a contribuição do lixo produzido pelas formigas cortadeiras em formar regiões com alta concentração de nutrientes potencialmente biodisponível pode ser importante para auxiliar no processo de sucessão ecológica destes ambientes. A redistribuição destes pontos nestas áreas seria uma possibilidade para acelerar o processo, por tornar disponível um maior número pontos de recrutamento que atuam como “ilhas de recurso” com mais nutrientes que a matriz circundante (Fernández et al. 2013).

No presente estudo, testamos o lixo de *Atta opaciceps* produzido em colônias artificiais, porém há outras espécies que depositam o lixo em câmaras externas continuamente, como, por exemplo, *Acromyrmex balzani* que tem alta densidade em áreas antropizadas (Sousa-Sousa et al. 2013). A deposição do lixo externamente ao ninho facilita a coleta e o uso do mesmo em programas de regeneração vegetal, proporcionando um recurso renovável e rico em nutrientes para fins de restauração (Cerdeira et al. 2012).

## **5. CONCLUSÃO**

Os resultados apresentados demonstram que parcelas tratadas com lixo de *Atta opaciceps* aumentaram a concentração de nutrientes no solo da área estudada, resultando em mudanças na composição das plantas pioneiras e maior biomassa da vegetação nessas parcelas. Em virtude do lixo produzido pelas formigas cortadeiras ser um recurso renovável e de produção perene, esse material pode ser utilizado como substrato natural em áreas degradadas em projetos de pequena escala com a finalidade de restaurar a cobertura vegetal, especialmente formada por herbáceas.

## **6. Agradecimentos**

Os autores agradecem a James Cardozo e Dr.<sup>a</sup> Maria de Fátima Souza pela ajuda na aquisição do material utilizado como matéria prima deste estudo. À equipe do EVA (Espaço de Vivência Agroecológico – Universidade Federal de Sergipe (UFS)), em especial a Dr.<sup>a</sup> Ângela pela concessão da área para realização do experimento. Ao Eduardo Vinicius de Oliveira pela identificação das espécies vegetais. A Camila Rocha pela ajuda na montagem do experimento e ao Frankilin Modesto, Uellington Lima e Willamis Passos pela ajuda na manutenção do experimento. A todos do laboratório de entomologia da UFS pelo auxílio na condução do experimento. Ao Arleu Viana pela ajuda nas análises dos dados e contribuições com o texto. A toda equipe do Centro de Energia Nuclear da Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP) pela ajuda nas análises químicas dos substratos, em especial à técnica Aparecida de Fátima Patreze. À Capes/CNPq pela bolsa de estudo.

## 7. REFERÊNCIAS

- Cerda, N.V., Tadey, M., Farji-Brener, A.G., Navarro, M.C. 2012. Effects of leaf-cutting ant refuse on native plant performance under two levels of grazing intensity in the Monte Desert of Argentina. *Appl. Veg. Sci.* 15, 479-487.
- Cherrett, J.M., Powell, R., Stradling, D.J. 1989. The mutualism between leaf-cutting ants and their fungus, in: *Insect-Fungus Interactions* (Ed.), Wilding, N., Collins, N.M., Webber, J.F. Academic Press. pp. 93-120.
- Clarke, K. R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.* 18:117–143.
- Crawley, M.J. 2013. *The R book*. 2<sup>nd</sup> ed. Wiley, London.
- Dantas, T.V.P., Nascimento-Junior, J.E., Ribeiro, A.S., Prata, A.N., 2010. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea das Areias Brancas do Parque Nacional Serra de Itabaiana/Sergipe, Brasil. *Rev. Bras. Bot.* 33, 575–588.
- Defilipo. B.V., Ribeiro, A.C. 1997. *Análise química do solo-metodologia*. (Ed). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 26 p.
- Della-Lucia, T. M. C., Fowler, H. G. 1993. As formigas cortadeiras, in: Della Lucia, T. M. C. (Ed.). *As formigas cortadeiras*. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 262p.
- Del-Toro, I., Ribbons, R.R., Pelini, S.L. 2012. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol. News* 17, 133-146.
- Farji-Brener, A.G., Illes, A. 2000. Do leaf-cutting ant nests make “bottom-up” in neotropical rain forest? : a critical review of the evidence. *Ecol. Lett.* 3, 219-227.
- Farji-Brener, A.G., Ghermandi, L. 2004. Seedling recruitment in the semi-arid Patagonian steppe: facilitative effects of refuse dumps of leaf-cutting ants. *J. Veg. Sci.* 15, 823–830.

- Farji-Brener, A.G., Ghermandi, L. 2008. Leaf-cutting ant nests near roads increase fitness of exotic plant species in natural protected areas. *P. Roy Soc B. Bio.* **275**, 1431–1440.
- Farji-Brener, A.G., Medina, C. 2000. The importance of where to dump the refuse: seed banks and fine roots in nests of the leaf-cutting ants *Atta cephalotes* and *Atta colombica*. *Biotropica*, 32, 120–126.
- Farji-Brener, A.G., Silva, J.F. 1995. Leaf-cutting ants and forest groves in a tropical parkland savanna of Venezuela: facilitated succession? *J. Trop. Ecol.* 11, 651-669.
- Farji-Brener, A.G., Lescano, N., Ghermandi, L. 2010. Ecological engineering by a native leaf-cutting ant increases the performance of exotic plant species. *Oecologia*.163, 163–169.
- Farji-Brener, A.G., Werenkraut, V. 2014. A meta-analysis of leaf-cutting ant nest effects on soil fertility and plant performance. *Ecol. Entomol.* 40, 1-8.
- Fernández, A., Farji-Brener, A.G., Satti, P. 2014. Moisture enhances the positive effect of leaf-cutting ant refuse dumps on soil biota activity. *Austral Ecol.* 39, 198–203.
- Fowler, H. G., Forti, L.C., Romagnano, L.F.T.D. 1990. Methods for the evaluation of leaf cutting ant harvest, in: Vander-Meer, R. K., Jaffe, K., Cedeno, A. (Ed.), *Applied Myrmecology - A world perspective*. Westview Press, Boulder, San Francisco and Oxford. pp. 228-241.
- Garrettson, M., Stetzel, J.F., Halpern, B.S., Hearn, D.J., Lucey, B.T., Mckone, M.J. 1998. Diversity and abundance of understory plants on active and abandoned nests of leaf-cutting ants (*Atta cephalotes*) in a Costa Rican rain forest. *J. Trop. Ecol.* 14, 17-26.
- Haines, B. 1978. Element and energy flows through colonies of the leaf-cutting ant, *Atta colombica*, in Panama. *Biotropica*.10, 270–277.
- Hudson, T.M., Turner, B., Herz, H., Robinson, J.S. 2009. Temporal patterns of nutrient availability around nests of leaf-cutting ants (*Atta colombica*) in secondary moist tropical forest. *Soil Biol. Biochem.* 41, 1088–1093.

- Lavelle, P., Bignell, D., Wolkmar, W., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., Dhillon, S. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers, *Eur. J. Soil. Biol.* 33,159-193.
- Leal, I.R.,Oliveira, P.S. 2000. Foraging ecology of attini ants in a Neotropical savanna: seasonal use of fungal substrate in the cerrado vegetation of Brazil.*Insect.Soc.*47, 376–382.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*15,1409-1416.
- Moutinho, P., Nepstad, D., Davidson, E. 2003. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology.* 84, 1265–1276.
- Pirk, I.G., Farji-Brener, A.G. 2013. Can the nutrient-rich soil patches created by leaf-cutting ants favor plant compensation for foliar damage? A test of the compensatory continuum hypothesis. *Plant Ecol.* 214, 1059-1070.
- R Development Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing.
- Raij, B., Cantarella, H., Quaggio, J.A., Furlani, A.M.C. 1996. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. (Ed). Campinas, Instituto Agronômico & Fundação, 1996. 285 p.
- Sousa-Souto, L., Guerra, M.B.B., Schoereder, J.H., Schaefer, C.E.G.R., Silva, W.L. 2007. Determinação do fator de conversão em colônias de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) e sua relação com a qualidade do material vegetal cortado. *Revista Árvore.* 31,163-166.
- Sousa-Souto, L., Schoereder, J. H., Schaefer, C.E.G.R., SILVA, W.L. 2008. Ant nests and soil nutrient availability: the negative impact of fire. *J. Trop. Ecol.* 24, 639-646.
- Sousa-Souto L., Souza, D. J. 2006. Queen influence on workers behavior of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (FOREL, 1908).*Braz. J. of Biol.* 66, 29-41.

Sousa-Souto, L., Sternberg, L. 2011. Ciclagem de nutrientes por formigas cortadeiras, in: Terezinha Maria Castro Della Lucia. (Org.). Formigas-Cortadeiras da Bioecologia ao Manejo (Ed.), Viçosa, Editora UFV, pp. 249-261.

Fowler, H. G., Forti, L. C., Romagnano, L. F. T. D. 1990. Methods for the evaluation of leaf cutting ant harvest, in: Vander-Meer, R. K., Jaffe, K., Cedeno, A. (Ed.), Applied Myrmecology - A world perspective. Westview Press, Boulder, San Francisco and Oxford. pp. 228-241.

Soratto, R. P., Crusciol, C. A. C. 2008. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um Latossolo submetido a aplicação de calcário e gesso em superfície. R. Bras. Ci. Solo, 32, 663-673.

Sousa-Souto, L.; Viana-Junior, A. B.; Nascimento, E. S. 2013. Spatial Distribution of *Acromyrmex balzani* (Emery) (Hymenoptera: Formicidae: Attini) Nests Using Two Sampling Methods. Sociobiology. 60, 162-168.

Sternberg, L.D., Pinzon, M.C., Moreira, M.Z., Moutinho, P., Rojas, E.I., Herre, E.A. 2007. Plants use macronutrients accumulated in leaf - cutting ant nests. Bio. Sci. 274, 315-321.

Tabarelli, M., Aguiar, A. V., Ribeiro, M. C. 2012. The Conversion of the Atlantic Forest in anthropogenic landscapes: lessons for the conservation of biological diversity of tropical forests. Interciencia. 37, 88-92.

Vasconcelos, H. L., Cherrett, J.M. 1995. Changes in leaf- cutting ant populations after the clearing of mature forest in Brazilian Amazonia. Neotropica Fauna Environ. 30, 107-113.

Vasconcelos, H. L., Cherrett, J. M. 1997. Leaf cutting ants and early forest regeneration in central Amazonia: effects of herbivory on tree seedling establishment. J. Trop. Ecol. 13, 357-370.