



## Efeito da regeneração florestal sobre a diversidade de artrópodes de serapilheira

Aline Martins Vieira <sup>1</sup>, Jarcilene Silva de Almeida <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Ecologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, CEP 52171-900, Recife- PE. [Alinemv13@hotmail.com](mailto:Alinemv13@hotmail.com). <sup>2</sup>Professora titular do Departamento de Botânica, Centro de Biociências, Universidade Federal Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife- PE, CEP 50670-901, Recife- PE. [Jarcilene.Almeida@ufpe.br](mailto:Jarcilene.Almeida@ufpe.br) (autor correspondente).

Artigo recebido em 10/05/2020 e aceito em 19/07/2020

### RESUMO

As florestas secundárias vêm substituindo as primárias que são suprimidas pela ação antrópica. Florestas tropicais secas são ecossistemas fortemente afetados por ações antrópicas. A serapilheira representa um importante estrato florestal, composta principalmente por material vegetal, que se decompõem, retorna a matéria orgânica para o ambiente e abriga uma rica teia trófica. Artrópodes atuam na quebra do material vegetal, aeração do solo e enriquecimento do solo com matéria orgânica, auxiliando na manutenção da decomposição da serapilheira. O objetivo deste estudo foi analisar a diversidade de artrópodes em fragmentos de floresta tropical seca em diferentes estádios de regeneração na estação seca e chuvosa. A diversidade de artrópodes nas estações seca e chuvosa foi analisada através de Perfis de diversidade de Hill; a diversidade beta foi calculada para verificar os padrões de substituição de espécies entre as áreas em diferentes estádios sucessionais. As características funcionais foram comparadas através da distância de Gower e CWM. O estágio de regeneração intermediário foi mais rico e mais diversificado que os estádios iniciais e tardios. A beta diversidade foi relativamente baixa, sendo 0,195 o índice de Jaccard entre os três estádios na estação chuvosa e 0,294 para a estação seca. A guilda alimentar mais representativa foi dos herbívoros e o aparelho bucal mais comum o mastigador, não havendo diferenças significativas na distribuição das características funcionais. O estudo confirmou a importância da regeneração florestal sobre a estrutura da comunidade de artrópodes de serapilheira, que tem suas taxas de riqueza, padrões de dominância e diversidade variando de acordo com os estádios sucessionais.

Palavras-chave: Caatinga; cronosequência; fauna edáfica; sucessão ecológica.

## Effect of forest regeneration on the diversity of litter arthropods

### ABSTRACT

Secondary forests have been replacing primary forests that are suppressed by anthropic action. Dry tropical forests are ecosystems strongly affected by human actions. The litter represents an important forest layer, composed mainly of plant material, which decomposes, returns organic matter to the environment and has a rich trophic web. Arthropods act in the breakdown of plant material, aeration of the soil and enrichment of the soil with organic matter, helping to maintain the decomposition of litter. The aim of this study was to analyze the diversity of arthropods in fragments of dry tropical forest at different stages of regeneration in the dry and rainy season. The diversity of arthropods in the dry and rainy seasons was analyzed using Hill's diversity profiles; beta diversity was calculated to verify species substitution patterns between areas at different successional stages. Functional characteristics were compared using Gower and CWM distance. The intermediate regeneration stage was richer and more diverse than the early and late stages. Beta diversity was relatively low, with 0.195 the Jaccard index between the three stages in the rainy season and 0.294 for the dry season. The most representative food guild was the herbivore and the most common mouthpiece was the chewer, with no significant differences in the distribution of functional characteristics. The study confirmed the importance of forest regeneration on the structure of the litter arthropod community, which has its rates of wealth, patterns of dominance and diversity varying according to successional stages.

Keywords: Caatinga; chronosequence; edaphic fauna; ecological succession.

## Introdução

A característica que define a floresta secundária é a descontinuidade da cobertura florestal (Corlett, 1994). Após uma perturbação significativa na cobertura vegetal original a floresta tende a se regenerar por meio de processos naturais, entrando em processo de crescimento secundário (Chazdon et al., 2009). As florestas secundárias são de grande importância para a conservação das espécies, uma vez que, para a maior parte dos ambientes florestais, as florestas secundárias vêm substituindo as primárias que são suprimidas pela ação antrópica (Brown, 1990). As florestas tropicais secas (FTS) são exemplos de ecossistemas fortemente afetados por ações antrópicas tendo cerca de 30,4% a 51,7% do seu território original afetado por construções de estradas, pastagens e áreas agricultáveis. Uma parte significativa dessas áreas degradadas são abandonadas e ocupadas por florestas secundárias (Chazdon, 2014). As florestas regenerantes se tornam então foco de estudos conservacionistas, sendo consideradas refúgios para a vida silvestre e fontes de serviços ecossistêmicos que deixariam de existir junto com as florestas primárias destruídas (Chazdon et al., 2009). Esses dados sugerem que é crescente a importância de estudos sobre os diversos aspectos das florestas secundárias nos ecossistemas de FTS.

A serapilheira representa um importante estrato florestal, sendo composta pelo material vegetal, principalmente galhos e folhas, que caem e se decompõem no solo da floresta. A decomposição desse substrato é uma das principais vias de retorno da matéria para o ecossistema em ambientes terrestres (Xiong e Nilson, 1999). A velocidade dessa decomposição é fortemente influenciada pelo clima, em escala global, de modo que ambientes quentes e úmidos tem uma taxa de decomposição mais rápida do que ambientes frios e secos, enquanto em escala regional os fatores mais influentes são a qualidade da serapilheira, e a ação de organismos fragmentadores e decompositores (Lavelle et al., 1993). Entender a dinâmica da serapilheira aumenta o conhecimento sobre a ciclagem de nutrientes, o desenvolvimento florestal, os cenários de sucessão ecológica e a interação dos componentes ambientais (Zhou et al., 2007; González-Rodríguez et al., 2011).

O ambiente edáfico abriga ricas interações entre organismos de diversos níveis tróficos (Ruppert et al., 2005), incluindo uma fauna que facilita a decomposição da serapilheira, quando ingere a matéria orgânica e/ou incrementa sua composição química por meio de adição de fezes e restos mortais, o que potencializa a ação dos

microrganismos. Os diferentes componentes da complexa teia trófica presente nesse estrato florestal atuam de forma diferente as taxas de decomposição da serapilheira afetando assim o funcionamento do ecossistema como um todo (Eisenhauer et al., 2010). Os artrópodes representam uma porção significativa da fauna de serapilheira, estando presente em diversos níveis das teias tróficas e desenvolvendo diversas funções no ambiente (Speight et al., 2008).

A comunidade de artrópodes apresenta alterações na sua estrutura em resposta a processos ambientais, como a mudança na disponibilidade de recursos e/ou ambientes no decorrer da sucessão ecológica (Hodecek et al., 2015). As respostas da comunidade podem ser medidas em diversos parâmetros além do estudo da diversidade, riqueza e distribuição de abundâncias, como o estudo de guildas ou grupos funcionais e estudos focados na diversidade beta (Cardoso et al., 2011; Hodecek et al., 2015; Lamarre et al., 2015). Apesar da altíssima diversidade de espécies presentes no filo, que pode dificultar a chegada aos níveis taxonômicos mais específicos, alguns estudos vêm mostrando que respostas satisfatórias podem ser obtidas a partir de estudos com níveis taxonômicos mais amplos e que englobam uma porção maior da comunidade (Timms et al., 2013; Lamarre et al., 2015; González et al., 2016).

As mudanças que ocorrem na comunidade de artrópodes, no decorrer da sucessão de florestas secas, podem ajudar a entender a dinâmica sucessional dessa região, orientando em planos de manejo e conservação. A hipótese testada é de que há um aumento na diversidade de espécies, bem como no número de guildas tróficas em ambientes de estágio de regeneração mais avançados, havendo uma grande substituição de espécies entre as áreas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar as mudanças nas comunidades de artrópodes em diferentes estágios sucessionais em uma floresta tropical.

## Material e Métodos

### Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Tamanduá (07°01'31''S e 37° 23'31,8'' W), localizada no município de Santa Terezinha, na Paraíba, há 320 km do litoral (Figura 1). A fazenda, situada na mesorregião do sertão paraibano, tem 4000 ha e está a uma altitude média de 240 metros, apresentando predominantemente Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 1997). A região apresenta precipitação anual média de 600 mm, concentradas em períodos de dois a quatro meses, com temperatura média anual variando de entre 20,8 e

32,8 °C e clima BSh, semiárido, de acordo com a classificação de Köppen (1948).



Figura 1. Localização geográfica da área de estudo: Fazenda Tamanduá, município de Santa Terezinha, Paraíba.

A área de estudo é composta por vegetação de Caatinga disposta em manchas com variados históricos de uso, grande parte delas estando em sucessão secundária. Dentro desse mosaico, o projeto SISBIOTA demarcou parcelas em áreas independentes de vegetação, com histórico de uso e tempo de abandono semelhantes, sendo classificadas em três estádios de regeneração: inicial, intermediário e tardio; ver descrição complementar em Silva et al. (2012) e Cabral et al. (2013):

•Áreas em estágio inicial de regeneração – áreas que foram utilizadas para o cultivo do algodão de fibra longa (*Gossypium hirsutum*) de 1965 até o início da década de 80, tendo recebido corte raso antes do plantio desta monocultura. O solo destes locais nunca recebeu nenhum tipo de adubação. Ao fim do ciclo de plantio do algodão, essas áreas receberam capim e passaram por destoca constante até o início da década de 90, quando foram totalmente abandonadas. Desta forma, as áreas estão em regeneração natural há mais de 25 anos. Caracterizam-se por forte presença de espécies herbáceas - que chegam a atingir quase 2 m de altura durante a estação chuvosa - e espécies de porte arbustivo e arbóreo que se apresentam relativamente dispersas. A espécie arbórea predominante na área é *Mimosa*

*tenuiflora* (Willd.) Poir., conhecida vulgarmente como Jurema preta.

•Áreas em estágio intermediário de regeneração - áreas utilizadas para o cultivo de algodão de fibra longa (*Gossypium hirsutum*) por poucos ciclos entre 1965 e 1968, tendo recebido corte raso antes do plantio desta monocultura. Foram totalmente abandonadas após este período, e, portanto, estão em regeneração natural há mais de 46 anos. A vegetação de porte arbóreo é mais densa em relação ao estágio anterior de sucessão. As áreas são dominadas por espécies como *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema preta) e *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (Catingueira) e com aparições esparsas de outras espécies como *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke (Jurema branca), *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillett (Imburana) e *Bauhinia cheilantha* Bong. Steud. (Mororó).

•Áreas em estágio tardio de regeneração - o histórico destas áreas aponta que nunca houve seu uso para fins agrícolas ou outras pressões antrópicas severas, tendo recebido apenas leve corte seletivo para a produção de estacas, porém, sem nunca ter havido o corte raso. Com base em relatos de moradores da região, passam intocadas pelo processo de sucessão há mais de 60 anos. Nestas áreas, a vegetação de porte arbóreo se destaca por sua diversidade de espécies, em relação

aos outros estádios, contando com vários indivíduos bastante desenvolvidos de espécies clímax, como *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Smith (Cumaru), *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett (Imburana) e *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss.&Cambess.) A. Robyns (Embiratanha).

#### *Desenho Experimental:*

Foram realizadas duas coletas, uma em estação seca (novembro de 2012) e uma em estação chuvosa (maio de 2013). A amostragem dos artrópodes de serapilheira foi feita em 15 parcelas (20 x 50 m), cinco em cada estádio sucessional, em cinco pontos que correspondiam a quatro árvores encontradas nos extremos das parcelas e uma central. Foram utilizados dois métodos de coletas.

Na primeira coleta, com auxílio de luvas todo material biológico acima do solo dentro de 1 m<sup>2</sup> de área foi recolhido, peneirado vigorosamente em uma peneira, especial para separação de serapilheira, que foi levada para o laboratório de campo, onde ocorreu extração dos artrópodes utilizando o miniaparelho de Winkler (Agosti e Alonso, 2000). As amostras de serapilheira peneiradas foram transferidas para sacos de malha, próprios para mini-Winkler e colocados no interior do extrator. Todos os mini-Winklers foram pendurados em um local seco e abrigados, especialmente do vento. Após 24 h, cada saco de malha foi cuidadosamente retirado e teve seu material despejado em uma bandeja e retomado ao mesmo saco de malha, seguindo o mesmo procedimento descrito acima. Este processo remexe a serapilheira e permite que mais animais sejam capturados. Em seguida, os mini-Winkler foram deixados por mais 24 h pendurados. Ao término das 48 h o pote de álcool 70%, presente na parte inferior do extrator, com os organismos capturados foi removido e o material do saco de malha descartado. Foram obtidos 75 potes em cada coleta.

No segundo método de coleta, foram utilizadas armadilhas do tipo pitfall (Majer, 1978), colocadas no solo dos cinco pontos amostrais, de modo que ficassem em nível do solo. Os pitfalls consistiram em recipientes plásticos de 1 litro, com 1/3 do volume preenchido com água e detergente, que ficaram expostos no campo por 48 h. Após esse período o conteúdo do pitfall foi filtrado em uma malha de voil a fim de separar água e sedimentos, eventualmente caídos no recipiente, dos animais que se encontrassem na armadilha. Os animais

foram transferidos para frascos de 250 ml contendo álcool 70%, totalizando 75 potes em cada coleta.

Os potes obtidos em campo foram armazenados no Laboratório de Interações Multitróficas (LIM) da UFPE, para posterior triagem e identificação dos organismos.

#### *Análise de dados*

Foram realizados os perfis de diversidade de Hill para os diferentes tempos de regeneração na estação seca e chuvosa, que permite observar de forma contínua os diferentes índices de diversidade, desde a riqueza até índices que dão diferentes pesos a espécies mais raras ou mais comuns na comunidade. A  $\beta$  diversidade foi observada para diferentes tempos de regeneração, e foi realizada a partição de Baselga (Baselga, 2010) que divide a beta diversidade em dois componentes: substituição (turnover) e aninhamento ou perda de espécies (nestedness). Desse modo é possível saber não só o quanto a composição taxonômica é dissimilar entre os estádios, mas também se os táxons são substituídos por outros de um estádio para outro, ou se os táxons presentes nos diferentes estádios representam subconjuntos um dos outros. As similaridades funcionais baseadas nas guildas alimentares e aparelhos bucais das ordens foram comparadas através da medida da distância de Gower. Foi realizada uma CWM para analisar como a composição das guildas se distribuem nos diferentes tempos de regeneração, esse resultado foi submetido a uma PERMANOVA para verificar se há diferença entre as composições funcionais encontradas. As análises foram realizadas com o *software* R (versão 3.2.3).

## **Resultados**

A comunidade de artrópodes amostrada nas áreas em diferentes estádios de regeneração, nas estações seca e chuvosa foram encontrados representantes das classes Arachnida, Insecta e do subfilo Myriapoda. Myriapoda foi representado pelas classes Chilopoda e Diplopoda; Arachnida pelas ordens Acarina, Aranae, Escorpione e Pseudoescorpione; e Insecta pelas ordens Hymenoptera, Isoptera, Diptera, Neuroptera, Orthoptera, Collembola, Lepidoptera, Thysanura, Hemiptera, Coleoptera, Mantodea, Blattodea e Embioptera. Apesar de não ter havido ordens encontradas exclusivamente em um estádio sucessional, as distribuições de abundâncias variaram dentre os estádios (Figura 2).

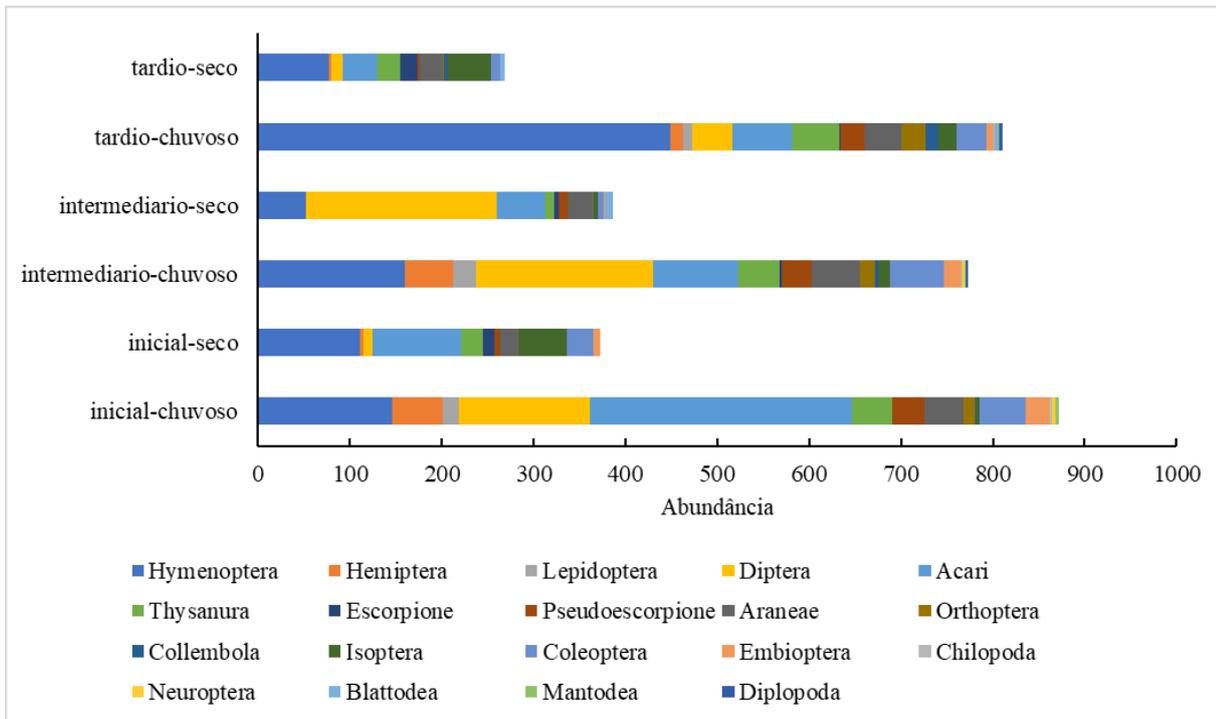


Figura 2. Distribuições de abundâncias das diferentes ordens de artrópodes de serapilheira em cada estação (seca e chuvosa), em cada estágio sucessional (inicial, intermediário e tardio) de Floresta Tropical Seca em Santa Terezinha - PB.

Enquanto a ordem Acari foi a mais abundante no estágio inicial, Diptera teve maior representatividade no intermediário e Hymenoptera foi mais abundante no tardio, quando levadas em consideração as estações seca e chuvosa juntas. Para a estação chuvosa o estágio sucessional mais abundante foi o inicial, com 872 indivíduos, seguido pelo tardio, com 810 e o intermediário com 773. Já na estação seca, o estágio intermediário apresentou um maior número de indivíduos, 386, seguido do inicial, 372 e do tardio, com 268.

A partir dos perfis de diversidade de Hill traçados para cada estágio sucessional na estação seca e chuvosa (Figura 3) foi possível constatar que a riqueza foi maior em todos os estágios durante a estação chuvosa, sendo o tardio e intermediário os mais ricos, com 18 ordens, seguidos do inicial com 16. Para a estação seca o estágio tardio obteve o maior número de ordens (14), seguido do intermediário (13) e inicial (11).

O segundo ponto encontrado nas séries de Hill, ordem  $q = 1$ , corresponde ao índice de Shannon, dando peso maior a espécies mais raras. Para a estação chuvosa o estágio intermediário apresentou

o a maior diversidade segundo esse índice, seguido do estágio inicial, enquanto o tardio teve o índice mais baixo, sendo inclusive inferior que os estágios tardio e intermediário na estação seca. Para a estação seca o estágio mais diversificado foi, o tardio, seguido do intermediário, já o inicial obteve o índice mais baixo. À medida que se aumenta o peso para as espécies mais comuns na comunidade (ordem  $q = 2$  e  $3$ ) o estágio intermediário na estação chuvosa se mantém como mais diversificado. Para a estação chuvosa, seguido do intermediário vem o inicial, enquanto o estágio tardio se mantém com índices reduzidos, equiparando-se aos do estágio inicial na estação seca. Na estação seca a sequência de tardio, intermediário e inicial, do mais para o menos diverso, se mantém.

Para a família Formicidae foram encontradas 14 espécies nas duas estações do ano, com mudança nos padrões de diversidade entre os estágios. Para a estação chuvosa, a Caatinga preservada, representada pelo estágio tardio, obteve os maiores valores de riqueza e outros índices de diversidade, seguidos pelo intermediário, enquanto o estágio inicial, obteve os menores valores para todos os indicadores (Figura 4).

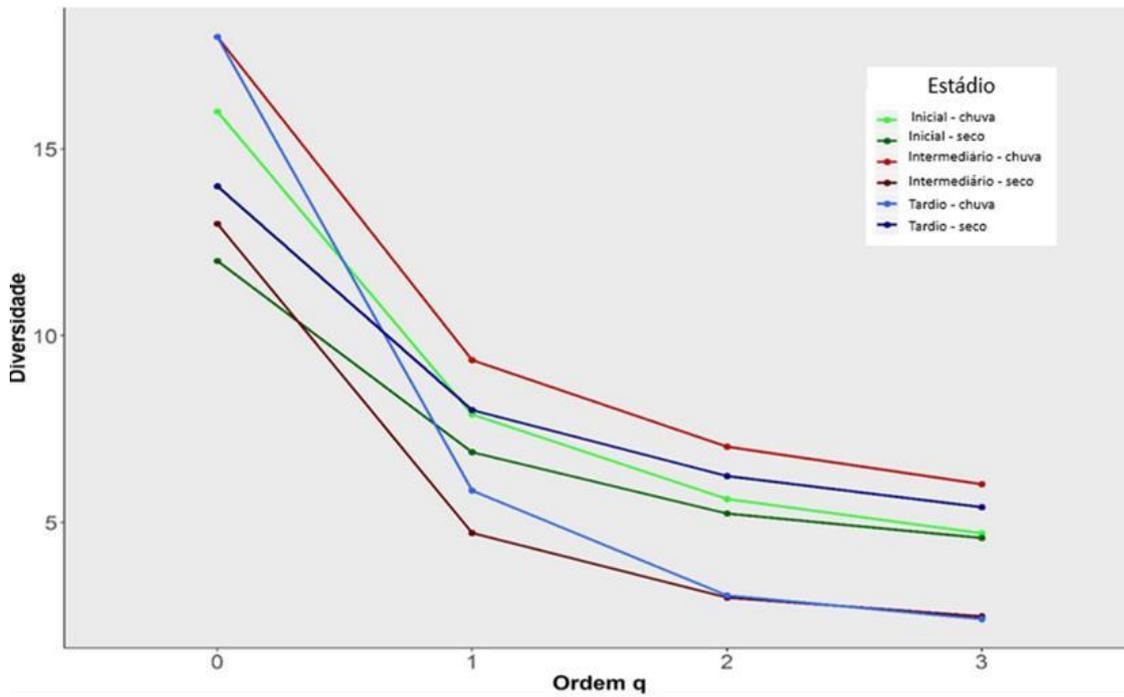


Figura 3. Resultados dos perfis de diversidade de Hill, também conhecidos como séries de Hill, para a comunidade de artrópodes de serapilheira, nos estádios tardio, intermediário e inicial de sucessão, cada qual na estação seca e chuvosa, de uma Floresta Tropical Seca em Santa Terezinha – PB. Os valores do eixo x correspondem a diferentes marcadores da diversidade da comunidade de modo que o ponto 0 equivale a riqueza de ordens, o ponto 1 equivale ao índice de Shannon, o ponto 2 equivale ao inverso do índice de Simpson, e assim segue à medida que se dá mais valor as espécies mais comuns na comunidade.

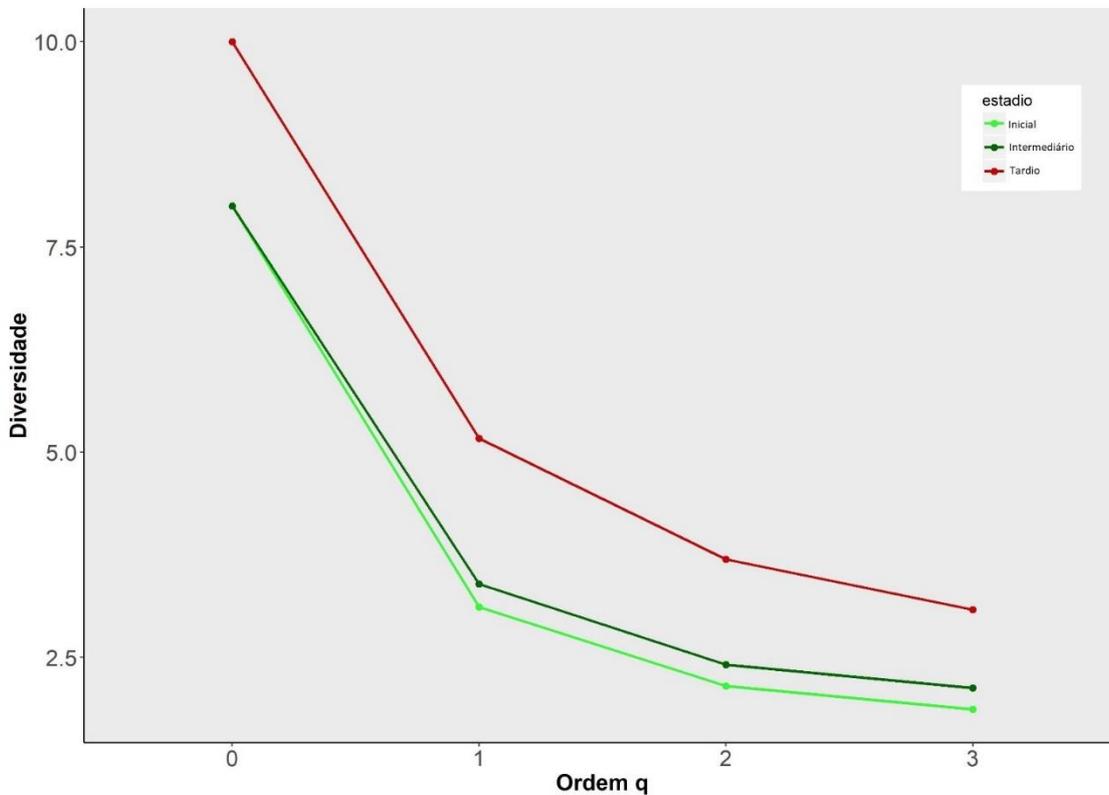


Figura 4. Resultados dos perfis de diversidade de Hill, também conhecidos como séries de Hill, para a as espécies da família Formicidae, nos estádios tardio, intermediário e inicial de sucessão, na estação chuvosa de uma Floresta Tropical Seca em Santa Terezinha – PB. Os valores do eixo x correspondem a diferentes

marcadores da diversidade da comunidade de modo que o ponto 0 equivale a riqueza de ordens, o ponto 1 equivale ao índice de Shannon, o ponto 2 equivale ao inverso do índice de Simpson, e assim segue à medida que se dá mais valor as espécies mais comuns na comunidade.

Para a estação seca (Figura 5), o estágio inicial apresentou as maiores taxas de riqueza e diversidade equivalentes ao índice de Shannon, seguido pelo intermediário, enquanto o estágio

tardio apresentou as menores taxas de riqueza e diversidade, para todas as ordens  $q$ . Ao observar índices que enfatizam as espécies mais abundantes (ordem  $q = 2$  e  $3$ ) para essa estação, o estágio intermediário se torna o mais diversificado.

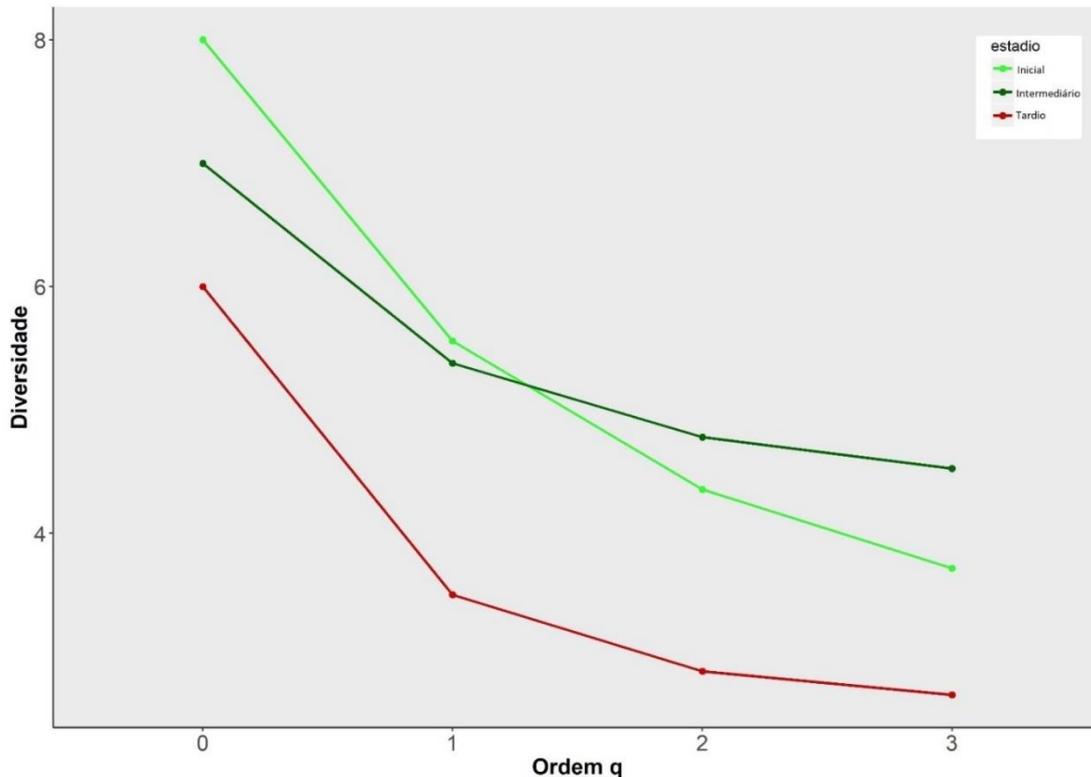


Figura 5. Resultados dos perfis de diversidade de Hill, também conhecidos como séries de Hill, para as espécies da família Formicidae, nos estágios tardio, intermediário e inicial de sucessão, na estação seca de uma Floresta Tropical Seca em Santa Terezinha – PB. Os valores do eixo x correspondem a diferentes marcadores da diversidade da comunidade de modo que o ponto 0 equivale a riqueza de ordens, o ponto 1 equivale ao índice de Shannon, o ponto 2 equivale ao inverso do índice de Simpson, e assim segue à medida que se dá mais valor as espécies mais comuns na comunidade.

Em relação a substituição de ordens dentre os estágios os valores da diversidade beta foram, de modo geral, baixos entre os estágios. Para a estação chuvosa, a comparação geral entre os três estágios obteve o valor da  $\beta$ diversidade (índice de Jaccard) de 0,195, por meio da partição de Baselga (Baselga, 2010), foi possível constatar que o principal fator responsável por esse resultado foi a substituição de ordens de um estágio para o outro (turnover de espécies  $\beta=0,108$ ), enquanto o fator aninhamento (nestedness) foi menos representativo ( $\beta=0,087$ ). Os estágios com maior diferença na composição de ordens, para a estação chuvosa, foram os estágios inicial e tardio, com  $\beta=0,21$ , havendo uma maior substituição de ordens ( $\beta_{turnover}=0,111$ ) do que o aninhamento delas ( $\beta_{nestedness}=0,092$ ). Entre os

estádios inicial e intermediário a  $\beta$ diversidade foi de 0,11, sendo totalmente representada pelo aninhamento das ordens. Entre os estágios intermediário e tardio  $\beta$ diversidade foi 0,105, sendo resultada inteiramente pela substituição de ordens.

Para a estação seca, a comparação geral entre os três estágios resultou no valor de  $\beta$ diversidade de 0,294, resultante majoritariamente da substituição das ordens entre os estágios ( $\beta_{turnover}=0,2$  e  $\beta_{nestedness}=0,09$ ). Os estágios inicial e tardio apresentaram o maior valor de  $\beta$ diversidade (0,266), com valores aproximados de substituição e aninhamento das ordens entre as áreas ( $\beta_{turnover}=0,153$  e  $\beta_{nestedness}=0,057$ ). Entre os estágios inicial e intermediário a

$\beta$ diversidade foi de 0,214, majoritariamente resultante da substituição de ordens ( $\beta$ turnover= 0,153 e  $\beta$ nestedness=0,06). Já para os estádios intermediário e tardio  $\beta$ diversidade foi 0,2, com os valores de turnover ( $\beta$ turnover= 0,142) mais elevados que os de aninhamento ( $\beta$ nestedness= 0,05).

Em relação a divisão das guildas alimentares, a maior parte das ordens apresentam

aparelho bucal do tipo mastigador e hábito alimentar herbívoro (Tabela 1). A distância de Gower demonstrou uma alta similaridade funcional entre os grupos e a PERMANOVA baseada nos resultados da CWM demonstraram que não há diferença significativa entre os grupos baseados nos caracteres observados.

Tabela 1. Relação das ordens presentes na comunidade de artrópodes de serapilheira coletados em diferentes áreas de regeneração de uma Floresta Tropical Seca na Paraíba com suas características funcionais referentes a guildas alimentares.

Ordens	Aparelho Bucal	Hábito Alimentar
Hymenoptera	mastigador/sugador	onívoro/herbívoro
Hemiptera	sugador	herbívoro
Lepidoptera	sugador lambedor	herbívoro
Diptera	sugador lambedor	herbívoro/hematófago
Acari	picador/sugador	onívoro/herbívoro/carnívoro
Thysanura	mastigador	herbívoro
Pseudoescorpione	mastigador	carnívoro
Araneae	mastigador/sugador	carnívoro
Orthoptera	mastigador	herbívoro
Collembola	mastigador	onívoro/detritívoro
Isoptera	mastigador	herbívoro
Coleoptera	mastigador	onívoro
Embiodoptera	mastigador	herbívoro
Chilopoda	mastigador	carnívoro
Neuroptera	mastigador	carnívoro
Blattodea	mastigador	detritívoro
Diplopodcca	mastigador	herbívoro

## Discussão

O estudo demonstra como as mudanças microclimáticas, refletidas pelas mudanças de composição vegetal alteram a dinâmica da comunidade de artrópodes de serapilheira, afetando principalmente os padrões de dominância dos grupos ao longo da sucessão, como foi observado em áreas de regeneração de Mata Atlântica por Machado et al. (2015). Áreas de sucessão inicial, apesar de apresentarem uma riqueza arbórea menor (Cabral et al., 2013) apresentam uma serapilheira com folhas de menor complexidade química, e estrutural, sendo mais facilmente decomposta e fornecendo matéria orgânica mais rapidamente no solo. O que favorece a proliferação dos grupos que são mais bem sucedidos em ambientes edáficos ricos em matéria orgânica, como os ácaros, que ao

mesmo tempo são mais generalistas e resistentes a insolação (Pereira et al., 2012; Berude et al., 2015). As áreas intermediárias de sucessão apresentam uma maior diversidade vegetal, bem como ambientes mais sombreados que propiciam a presença de grupos mais sensíveis a insolação, como os dípteros. Enquanto as áreas tardias de sucessão apresentam copas mais fechadas, uma alta diversidade vegetal e, em consequência disso, uma maior quantidade de microhabitats a serem ocupados, nesse ambiente vemos o afloramento de grupos mais diversificados funcionalmente, e que tenham relações ecológicas estreitas com determinados tipos vegetais/florísticos, como é o caso dos himenópteros (Oliveira et al., 2009).

Durante a estação chuvosa, onde a serapilheira tem uma taxa de deposição de material

mais baixa (Silva et al., 2015), o estágio intermediário apresentou uma maior diversidade, segundo o índice de Shannon. Isso pode ser associado a presença de organismos adaptados aos dois extremos da regeneração florestal (inicial e tardio). O estágio tardio apresentou a menor diversidade em relação aos outros estágios sucessionais, na estação chuvosa, o que pode ser reflexo da presença de folhas com mais compostos secundários na serapilheira (Azevedo et al., 2018; Silva et al., 2019) dificultando a proliferação de herbívoros que ajudariam a aumentar a taxa de decomposição, favorecendo assim o desenvolvimento das comunidades de artrópodes dependentes desse processo. Enquanto na estação seca, onde a serapilheira tem um grande incremento de material, o estágio tardio teve a maior diversidade, o que corrobora com as previsões do estudo, e pode ser uma resposta a uma maior complexidade morfológica da serapilheira que é proveniente de um ambiente com uma maior diversidade vegetal (Cabral et al., 2013).

O número de ordens, diferentemente dos índices de diversidade, foi favorecido pelo avanço da sucessão, tanto na estação seca quanto na chuvosa. Isso sugere que a chegada de diferentes grupos no ambiente está relacionada a fatores físicos, como a variedade de microhabitats, enquanto o aumento no número de indivíduos em cada grupo, deve estar mais relacionado com a composição físico-química do solo e da serapilheira, uma vez que fatores ambientais podem afetar diferentemente os componentes da diversidade de artrópodes, como riqueza e diversidade alfa e beta (Hendrickx et al., 2007). Além disso a estrutura da comunidade de artrópodes de solo responde negativamente as alterações nos índices de umidade nesse ambiente (Kardol et al., 2011), o que pode estar relacionado com a menor riqueza nos ambientes iniciais, cujos solos são mais expostos a insolação. As áreas iniciais de sucessão estão, ainda, mais propensas a presença de espécies exóticas, o que pode atuar na redução da riqueza de artrópodes de solo (Belnap et al., 2005; Simao et al., 2010).

No recorte taxonômico da família Formicidae vemos que os efeitos da regeneração sobre esta comunidade têm respostas diferentes do que a comunidade geral de artrópodes. Isso pode estar associado a forte fidelidade ao hábitat observada em várias espécies de formigas (Andersen, 1997). Na estação chuvosa as formigas apresentam sua riqueza e diversidade sendo favorecidas pela sucessão ecológica, semelhante a comunidade de artrópodes como um todo,

enquanto na estação seca o estágio inicial obteve os maiores números de espécies e índices de diversidade. Marques et al. (2017) estudando o papel da sazonalidade e estágio de sucessão em assembleias de formigas em floresta seca de Minas Gerais, observaram maior riqueza de espécies de formigas na estação seca, quando comparado a estação chuvosa. Isso vai de encontro a evidências que indicam que a comunidade de formigas é desfavorecida pelo aquecimento excessivo do solo (Diamond et al., 2016) que é mais intenso nos ambientes iniciais de sucessão. Em contrapartida alguns estudos constatem que formigas tem uma alta resiliência ao uso intensivo de solo mantendo comunidades com riqueza e diversidade semelhante em áreas preservadas e florestas secundárias (Schmidt e Diehl, 2008; Solar et al., 2016; Marques et al., 2017). Desse modo o ambiente inicial do presente estudo pode representar uma escala temporal suficiente para o reestabelecimento das comunidades de formigas, que agora são controladas por outros fatores, como por exemplo a predação, uma vez que há mais predadores (e demais níveis tróficos) no estágio tardio.

A composição de ordens foi similar entre os estágios, no entanto, há diferenças entre os componentes dessa diversidade  $\beta$ , o que sugere diferenças nas causalidades por trás da diversificação dessas ordens nos diferentes estágios (Baselga, 2010). Os valores de  $\beta$  diversidade foram baixos para os 3 estágios em ambas as estações (seca e chuvosa), com uma maior importância da substituição de ordens entre os estágios, o que demonstra que existem condições limitantes para a permanência de alguns grupos enquanto outros conseguem se estabelecer. A maior diferença de composição, nas duas estações, está entre o estágio tardio e o inicial, demonstrando que a regeneração deve estar influenciando a estruturação da comunidade de artrópodes de serapilheira, que se estabelece de forma distinta entre os pontos mais contrastantes da sucessão. Essa diferente pressão exercida na comunidade de artrópode entre os diferentes estágios e estações enfatiza a importância da conservação de florestas em variados estágios de regeneração, e não apenas áreas preservadas (Gering et al., 2003).

Os resultados obtidos a partir das guildas alimentares demonstraram alta redundância funcional entre os estágios, o que pode estar relacionado com a similaridade geral na composição das ordens e na amplitude de nichos ocupadas por algumas ordens. Neste caso estudos com uma amostragem taxonômica mais refinada se

fazem necessários. No entanto esse resultado pode também representar um reflexo das boas condições de regeneração encontradas desde as áreas mais iniciais que já fornecem subsídio para uma comunidade com as funções ecológicas encontradas na mata preservada (Machado et al., 2015). A presença de grupos mais generalistas para ambientes com escassez de recursos já foi descrita em regiões semiáridas (Neves et al., 2010; Oliveira, 2011), e faz aumentar a probabilidade de que esses grupos sejam encontrados nos diversificados tempos de regeneração, aumentando assim a similaridade entre os estádios.

## Conclusão

O estudo confirmou a importância da regeneração florestal sobre a estrutura da comunidade de artrópodes de serapilheira, que tem suas taxas de riqueza, padrões de dominância e diversidade variando de acordo com os estádios sucessionais. Desse modo, demonstra que cada estádio abriga respostas peculiares nos padrões estruturais da comunidade, sendo assim importantes na preservação de uma composição e interações entre as espécies típicas em cada etapa da regeneração, bem como para entender o histórico de diversificação dos grupos.

É possível observar que cada fragmento em determinado tempo de regeneração possibilita uma diferente estruturação na comunidade de artrópodes de serapilheira, de modo que, para a manutenção geral das diferentes funções ecológicas do grupo, é necessário se levar em conta não apenas as florestas preservadas, mas sim todo o mosaico de florestas secundárias tão comuns em diversos ecossistemas.

Estudos que avaliem os diversos aspectos da comunidade de artrópodes, bem como os diversos grupos que compõem essa comunidade em ambientes de florestas secundárias são necessários para entender como a regeneração atua na estruturação da comunidade de artrópodes, uma vez que características peculiares de cada grupo podem interferir na dinâmica de ocupação dos diferentes tempos de regeneração.

## Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro (SISBIOTA/CNPQ 563304-03) e a bolsa produtividade (PQ-314532/2009- 9 e PQ-309965/2016-0) de J.S. Almeida. À FACEPE (1807-2.05/15) pela concessão da bolsa de Mestrado de Aline M. Vieira. À Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES (Ministério da Educação, Brasil; Finance Code 001). Ao Sr. Pierre Landolt, proprietário da Fazenda Tamanduá e ao Instituto Tamanduá pelo apoio logístico.

## Referências

- Agosti, D., Alonso, L.E., 2000. The ALL protocol: a standard protocol for the collection of ground-dwelling ants. *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 204-206.
- Andersen, A.N., 1997. Using Ants as bioindicators: Multiscale Issues in Ant Community Ecology. *Conservation Ecology* [online] 1(1): 8. Available from the Internet. URL: <<http://www.consecol.org/vol1/iss1/art8/>> (acessado em 15 dezembro 2017).
- Azevedo, A.D., Camara, R., Francelino, M.R., Pereira, M.G., Leles, P.S.S., 2018. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. *Floresta*, 48(2), 183-194.
- Belnap, J., Phillips, S.L., Sherrrod, S.K., Moldenke, A., 2005. Soil biota can change after exotic plant invasion: does this affect ecosystem processes? *Ecology*, 86(11), 3007-3017.
- Baselga, A., 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 134-143.
- Berude, M.C., Galote, J.K.B., Pinto, P.H., Amaral, A., 2015. A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. *Enciclopédia Biosfera, Goiânia*, 11(22), 14-28.
- Brown, S., Lugo, A.E., 1990. Tropical secondary forests. *Journal of tropical ecology*, 6(1), 1-32.
- Cabral, G.A.L., Sampaio, E.V.S.B., Almeida-Cortez, J.S., 2013. Spatial Structure and Aboveground Biomass in Different Caatinga Succession Stages, in Santa Terezinha, Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6, 566-574.
- Chazdon, R.L., Peres, C.A., Dent, D., Sheil, D., Lugo, A.E., Lamb, D., Stork, N.E., Miller, S.E., 2009. The potential for species

- conservation in tropical secondary forests. *Conservation biology*, 23(6), 1406-1417.
- Chazdon, R.L., 2014. *Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation*. University of Chicago Press, Chicago, IL, 485 p.
- Corlett, R.T., 1994. What is secondary forest? *Journal of Tropical Ecology*, 10, 445-447.
- Diamond, S.E, Nichols, L.M., Pelini, S.L., Penick, C.A., Barber, G.W., Sara Helms Cahan, S.H., Robert R. Dunn, R.R., Aaron M., Ellison, A.M., Nathan J., Sanders, N.J., Gotelli, N.J., 2016. Climatic warming destabilizes forest ant communities. *Science advances*, 2(10), e1600842.
- Eisenhauer, N., Beßler, H., Engels, C., Gleixner, G., Habekost, M., Milcu, A., Partsch, S., Sabais, A.C., Scherber, C., Steinbeiss, S., Weigelt, A., Weisser, W.W., Scheu, S., 2010. Plant diversity effects on soil microorganisms support the singular hypothesis. *Ecology*, 91(2), 485-496.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. *Atlas do Meio Ambiente do Brasil*. Brasília: Editora Terra Viva, 160p.
- Gering, J.C., Crist, T.O., Veech, J.A., 2003. Additive partitioning of species diversity across multiple spatial scales: implications for regional conservation of biodiversity. *Conservation biology*, 17(2), 488-499.
- González-Rodríguez, H., Domínguez-Gómez, T.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Ramírez-Lozano, R.G., Pando-Moreno, M.C., Fernández, J., 2011. Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico. *Plant Ecology*, 212 (10), 1747-1757.
- González, E., Salvo, A., Valladares, G., 2016. Natural vegetation cover in the landscape and edge effects: differential responses of insect orders in a fragmented forest. *Insect Science*, 24(5), 801-901.
- Hendrickx, E., Maelfait, J., Van Wingerden, W., Schweiger, O., Speelmans, M., Aviron, S., Augenstein, I., Billeter, R., Bailey, D., Bukacek, R., Burel, F., Diekötter, T., Dirksen, J., Herzog, F., Liira, J., Roubalova, M., Vandomme, V., Rob Bugter., 2007. How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44(2), 340-351.
- Hodecek, J., Kuras, T., Sipos, J., Dolny, A., 2015. Post-industrial areas as successional habitats: Long-term changes of functional diversity in beetle communities. *Basic and Applied Ecology*, 16(7), 629-640.
- Kardol, P., Reynolds, W.N., Norby, R.J., Classen, A.T., 2011. Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. *Applied Soil Ecology*, 47(1), 37-44.
- Köppen, W., 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Lamarre, G., Hérault, B., Fine, P.V., Vedel, V., Lupoli, R., Mesones, I., Baraloto, C., 2015. Taxonomic and functional composition of arthropod assemblages across contrasting Amazonian forests. *Journal of Animal Ecology*, 85(1), 227-239.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 130-150.
- Machado, D.L., Pereira, M.G., Correia, M.E.F., Diniz, A.R., Menezes, C.E.G., 2015. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da mata atlântica em floresta estacional semidecidual na bacia do rio Paraíba do Sul-RJ. *Ciência Florestal*, 25(1), 91-106.
- Majer, J.D., 1978. An improved pitfall trap for sampling ants and other epigeaic invertebrates. *Australian Journal of Entomology*, 17(3), 261-262.
- Marques, T., Espírito-Santo, M.M. Neves, F.S. Schoederer J.H., 2017. *Ant Assemblage Structure in a Secondary Tropical Dry Forest: The Role of Ecological Succession and Seasonality*. *Sociobiology* 64(3): 261-275.
- Neves, F.S., Oliveira, V.H.F., do Espírito-Santo, M.M., Vaz-de-Mello, F.Z., Louzada, J., Sanchez-Azofeifa, A., Fernandes, G.W., 2010. Successional and Seasonal Changes in a Community of Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a Brazilian Tropical Dry

- Forest. *Natureza & Conservação* 8(2), 160-164.
- Oliveira, E.A., Calheiros, F.N., Carrasco, D. S., Zardo, C.M.L., 2009. Famílias de Hymenoptera (Insecta) como ferramenta avaliadora da conservação de restingas no extremo sul do Brasil.
- Oliveira, F.M.P., 2011. Influência de perturbações antrópicas sobre a composição de espécies e de grupos funcionais de formigas (Hymenoptera: Formicidae) na caatinga. Dissertação (Mestrado em Zoologia), Universidade Federal de Pernambuco, 66p.
- Pereira, R.C., Albanez, J.M., Mamédio, I.M.P., 2012. Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas – BA. *Magistra*, v. 24 (número especial), p. 63-76.
- Ruppert, E.E., Fox, R.S., Barnes, R.D., 2005. *Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva. Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva*, Roca.
- Schmidt, F.A., Diehl, E., 2008. What is the effect of soil use on ant communities?. *Neotropical Entomology*, 37(4), 381-388.
- Silva, B.L.R., Tavares, F.M., Almeida-Cortez, J.S., 2012. Composição florística do componente herbáceo de uma área de caatinga - Fazenda Tamanduá, Paraíba, Brasil. *Revista de Geografia (Recife)*, 29, 54-64.
- Silva, V.N., Souto, L.S., Dutra Filho, J.D.A., de Souza, T.M., Borges, C.H., 2015. Deposição de serapilheira em uma área de caatinga preservada no semiárido da Paraíba, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10(2), 21-25.
- Silva, W.B., Périco, E., Cajaiba, R.L., 2019. Composição de nutrientes na serapilheira em diferentes coberturas florestais no estado do Pará, norte do Brasil. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 17(1).
- Simao, M., Flory, S.L., Rudgers, J.A., 2010. Experimental plant invasion reduces arthropod abundance and richness across multiple trophic levels. *Oikos*, 119(10), 1553-1562.
- Solar, R.R. de C., Barlow, J., Andersen, A.N., Schoereder, J.H., Berenguer, E., Ferreira, J.N., Gardner, T.A., 2016. Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. *Biological Conservation*, 197, 98–107. doi: 10.1016/j.biocon.2016.03.005
- Speight, M.R., Hunter, M.D., Watt, A.D., 2008. *Ecology of Insects. Concepts and Applications*, 2nd edn. Blackwell Scientific, Oxford, UK.
- Timms, L.L., Bowden, J.J., Summerville, K.S., Buddle, C.M., 2013. Does species-level resolution matter? Taxonomic sufficiency in terrestrial arthropod biodiversity studies. *Insect Conservation and Diversity*, 6(4), 453-462.
- Xiong, S., Nilsson, C., 1999. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis. *Journal of Ecology*, 87(6), 984-994.
- Zhou, G., Guan, L., Wei, X., Zhang, D., Zhang, Q., Yan, J., Wen, D., Liu, J., Liu, S., Huang, Z., Kong, G., Mo, J., Yu, Q., 2007. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. *Plant Ecology*, 188, 77–89.