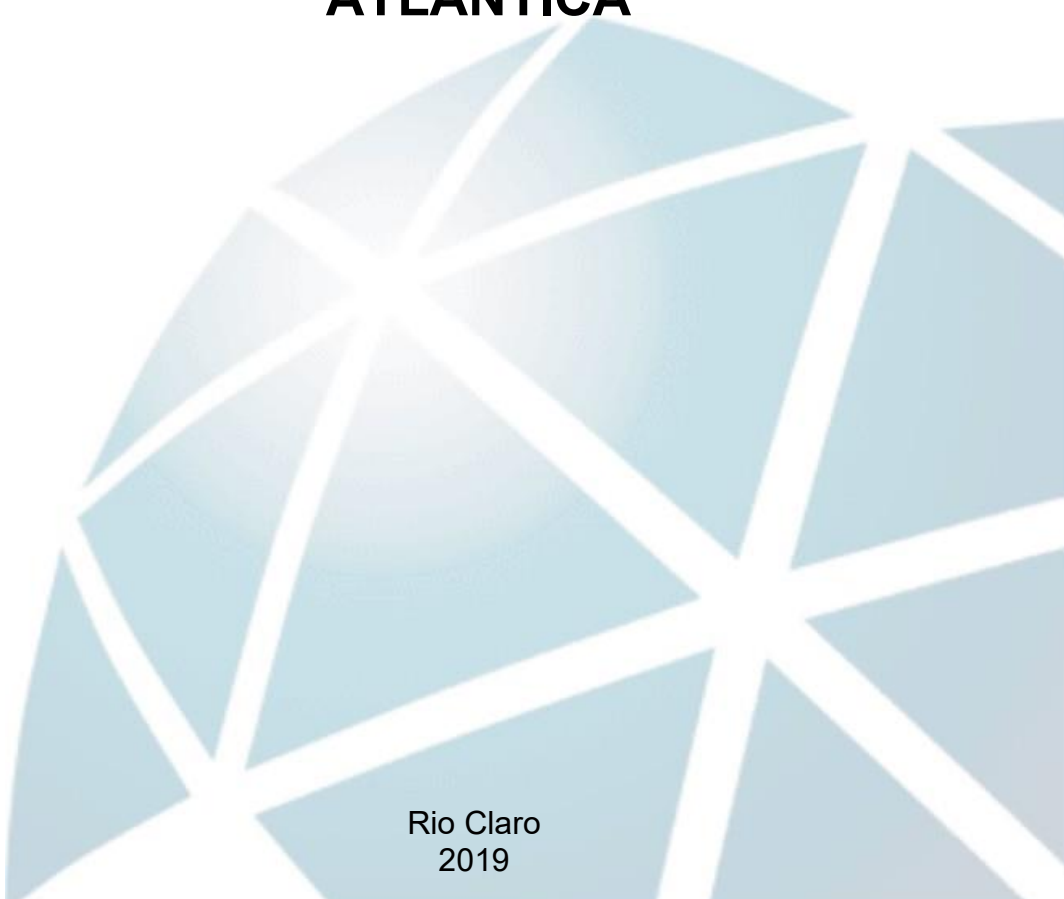

ECOLOGIA

LETICIA BULASCOSCHI CAGNONI

**FERTILIZAÇÃO DO SOLO E DISPERSÃO
DE FUNGOS MICORRÍZICOS POR
MAMÍFEROS HERBÍVOROS NA MATA
ATLÂNTICA**



Rio Claro
2019

LETICIA BULASCOSCHI CAGNONI

FERTILIZAÇÃO DO SOLO E DISPERSÃO DE FUNGOS
MICORRÍZICOS POR MAMÍFEROS HERBÍVOROS NA MATA
ATLÂNTICA

Orientador: Dr. Mauro Galetti

Co-orientadora: Dra. Claudia Paz

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -
Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau
de Ecóloga.

Rio Claro
2019

C131f	Cagnoni, Leticia Bulascoschi Fertilização do solo e dispersão de fungos micorrízicos por mamíferos herbívoros na Mata Atlântica / Leticia Bulascoschi Cagnoni. -- Rio Claro, 2019 38 p. : tabs., fotos, mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro Orientador: Mauro Galetti Coorientador: Claudia Pandolfo Paz 1. Defaunação. 2. Ecofisiologia. 3. Micorrizas. 4. Biologia da Conservação. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu pai e minha mãe, Mário Cagnoni Jr e Susana B. Cagnoni, por acreditarem em mim e por terem sido minhas maiores inspirações, por todas as viagens ao Sítio da Paz, por terem me impulsionado ininterruptamente durante os cinco anos de graduação e os vinte e dois de vida.

Ao meu pai por ter me ensinado a amar a natureza e a reconhecer o toque do Pai em todos os seus detalhes e à minha mãe por me ensinar a não desistir e a permanecer firme.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pela sua infinita e maravilhosa Graça. Por ter me dado um anjo forte protetor e ter aberto portas e me dado oportunidades incríveis. À minha família, em especial aos meus pais por tornarem isso possível e a cada semana terem me dado forças pra continuar. Forças em forma de carinho, de mensagens, de comidinhas, de suporte financeiro, de orações.

À minha irmã Lidia, por sempre estar comigo, apesar da distância, e pelos sábios conselhos nos momentos oportunos, pelo apoio, força e amor incondicional. E ao nosso avô Deda que nos ensinou a ter paciência e gentileza, honrando nossas origens.

Ao meu orientador, Mauro Galetti por ter me ensinado tanto sobre ciência e ter sido paciente em todo o processo. Por ter me ensinado a pensar e enxergar como ecóloga.

Aos meus coorientadores Claudia Paz e Nacho Villar, pelas idas ao Legado, pela paciência em me ensinar sendo fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Ao Mathias Pires, por ter me ajudado em todas as análises de dados, e com muita paciência oferecido seu tempo para me ensinar.

À Reserva Legado das Águas e toda a equipe que sempre foi muito solícita e deu todo o suporte para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial ao Gabriel Mesquita, Miguel Flores e Antônio Godoi que estiveram comigo na realização do experimento.

Aos irmãos que a Unesp me deu: Victória e Willian que mais do que ninguém acompanharam todo o processo e estiveram ao meu lado todos os dias.

Aos meus companheiros de trabalho no LaBiC, pelos campos, viagens, congressos, “café LaBic now”, pelas conversas e ideias, por terem me ensinado tanto. Mais especificamente à Lais, Natália, Paula, Valesca e Sergio que contribuíram diretamente na realização deste trabalho.

À comunidade IBCL pelo amor sempre recebido. Em especial à Maria Antonietta, que como uma avó sempre orou por mim e esteve presente.

Aos meus amigos de graduação, Eco 2015, pois aprendemos e construímos muito juntos.

Às amigas que moraram comigo em 2019: Mushu, Mafer, Cigana, Gabi, Laura e Amanda.

Às minhas amigas Natália, Myrella, Marina, Luana, Isabelle, Paula, Amanda Flório, Luiza Marcelli, Anna Cavalli e Ana Porto que acompanharam cada dilema e indecisão que apareceu.

À Maureen Kostiuk, Patricia Kostiuk, Ryan Crane, e Rita Kostiuk por terem me recebido de braços abertos e terem sido meu lar em terras desconhecidas.

À UNESP Rio Claro pela formação de qualidade, e por ter disponibilizado as instalações necessárias. Às professoras que me inspiraram, Maria Inez Pagani e Maria José Campos (Zezé).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2018/00212-1 pelo financiamento do projeto de pesquisa, tornando possível este trabalho.

EPÍGRAFE



*“If you choose them, the adventure is the quest,
and discoveries are your silver and gold.”*

Edward O. Wilson

Fonte imagem: Acervo da autora

RESUMO

Os mamíferos herbívoros desempenham múltiplas funções em floresta tropicais, que ajudam a manter a alta diversidade de plantas. A fertilização do solo é um desses papéis ecológicos desenvolvidos pela megafauna. As plantas necessitam de diferentes nutrientes para seu desenvolvimento como Nitrogênio e Fósforo e estabelecem interações com outros organismos como fungos e bactérias que auxiliam na aquisição desses nutrientes. Porém, pouco se sabe sobre o potencial de fertilização das fezes dos animais e a capacidade de dispersarem fungos mutualistas de raízes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos mamíferos herbívoros, como anta (*Tapirus terrestris*) e o queixada (*Tayassu peccari*) na fertilização do solo e dispersão de fungos micorrízicos arbusculares. Mais especificamente, foi testado se as fezes destes animais potencializam o crescimento e desenvolvimento de plântulas de uma espécie nativa da Mata Atlântica *Cryptocaria moschata*. Para isso, foi montado um experimento em casa de vegetação onde as plântulas de *C. moschata* foram submetidas a cinco tratamentos: (i) adição de fezes de anta, (ii) adição de fezes de queixada, (iii) adição de fertilizante inorgânico (NPK) na mesma concentração encontrada nas fezes de anta e de (iv) queixada e (v) o controle onde as plântulas não recebem nenhum tipo de adicional. Cada tratamento teve 10 réplicas e foi repetido em condição normal de luminosidade na casa de vegetação (tratamento ‘luz’) ou com luminosidade reduzida em 50% com sombrite (tratamento ‘sombra’) totalizando 100 plântulas monitoradas. As plântulas foram monitoradas e medidas por sete meses e por fim analisamos a diferença na altura inicial e final, razão de biomassa radicular/aérea, a diferença no diâmetro do caule à altura do solo, a concentração dos macronutrientes NPK do solo antes e após o início do experimento. Além disso, as fezes das duas espécies de mamíferos foram analisadas para contagem de esporos de fungos micorrízicos. Nossos resultados mostraram que em condições de maior luminosidade não houve diferenças significativas no crescimento em altura e na biomassa das raízes entre os tratamentos de fertilização. Entretanto, nas plântulas submetidas à sombra vimos que com a adição de fezes de anta o crescimento e a razão raiz:parte aérea foi maior comparado com o controle. As plântulas que receberam adição de fezes de anta e de queixada apresentaram raízes mais bem desenvolvidas. Vimos que as fezes de anta incrementam uma quantidade grande principalmente de N e de P. E que em fezes de queixadas há esporos de fungos micorrízicos, podendo mediar a ocorrência de interações mutualísticas muito importantes entre plantas e fungos. Concluimos portanto que a presença desses animais na floresta podem ter efeito no recrutamento de plântulas e no desenvolvimento da vegetação.

Palavras-chave: Defaunação. Ecofisiologia. Micorrizas. Biologia da Conservação.

ABSTRACT

Herbivorous mammals perform multiple functions in tropical rainforests that help maintain high plant diversity. Soil fertilization is one of these ecological roles developed by megafauna. Plants need different nutrients for their development such as Nitrogen and Phosphorus, establishing interactions with other organisms such as fungi and bacteria that assist in the acquisition of these nutrients. However, little is known about the fertilization potential of animal feces and the ability to disperse mutualistic root fungi. The objective of this work was to evaluate the effect of herbivorous mammals such as tapir (*Tapirus terrestris*) and peccaries (*Tayassu peccari*) on soil fertilization and dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi. More specifically, we tested whether the feces of these animals potentiate the growth and development of seedlings of *Cryptocaria moschata* from Atlantic Forest. For this, an experiment was set up in a greenhouse where *C. moschata* seedlings were submitted to five treatments: (i) addition of tapir feces, (ii) addition of peccary feces, (iii) addition of inorganic fertilizer (NPK) at the same concentration found in the tapir feces and (iv) peccary and (v) control where the seedlings receive no additions. Each treatment had 10 replicates in normal light conditions in the greenhouse ('light' treatment) or 50% dimmed with shade ('shade' treatment) totaling 100 monitored seedlings. The seedlings were monitored and measured for seven months and finally we analyzed the difference in the initial and final height, root/aerial biomass ratio, the difference in stem diameter at ground height, the concentration of NPK before and after beginning of the experiment. In addition, feces from both mammals were analyzed for mycorrhizal fungal spore counting. Our results showed that under higher light conditions there were no significant differences in height growth and root biomass between fertilization treatments. However, in the seedlings submitted to shade we saw that with the addition of tapir feces the growth and the root: aerial biomass ratio was higher compared to the control. Seedlings that received tapir and peccaries feces had better developed roots. We have seen that tapir feces increase a large amount mainly of N and P. And that in peccary feces there are spores of mycorrhizal fungi, which may mediate the occurrence of very important mutualistic interactions between plants and fungi. We conclude, therefore, that the presence of these animals in the rapier may have an effect on seedling recruitment and vegetation development.

Key-words: Defaunation. Ecophysiology. Mycorrhizae. Conservation Biology.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMA: Fungos micorrízicos arbusculares

LaBiC: Laboratório de Biologia da Conservação

FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

NPK – A : NPK inorgânico equivalente a concentração encontrada em fezes de anta

NPK – Q : NPK inorgânico equivalente a concentração encontrada em fezes de queixada

NPK: Nitrogênio, Fósforo e Potássio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Desenho Experimental	13
3.1.1 Espécie avaliada	16
3.1.2 Tratamento Nutrientes (NPK).....	16
3.1.3 Tratamento Adição de Fezes	17
3.1.4 Monitoramento e medições das variáveis	17
3.2 Análise dos Fungos	19
3.3 Análise de Nutrientes	19
3.4 Análise de Dados	20
4. RESULTADOS	21
4.1 Crescimento em Altura	21
4.2 Razão entre Biomassa Radicular e Aérea	23
4.3 Espessura do Caule	25
4.4 Nutrientes	26
4.5 Fungos	27
5. DISCUSSÃO	29
6. CONCLUSÃO	31
7. BIBLIOGRAFIA	32

1. INTRODUÇÃO

A defaunação em florestas tropicais tem causado a perda de espécies e de interações ecológicas que mantêm o ecossistema em funcionamento (DIRZO *et al.*, 2014; BROCARD *et al.*, 2013; GALETTI *et al.*, 2015). Florestas tropicais são ecossistemas altamente produtivos e diversos onde as interações entre herbívoros e plantas dominam a dinâmica das comunidades (SCHUPP, 1993). Muitos herbívoros tropicais são frugívoros e aproximadamente 89% de espécies de árvores em florestas tropicais são dispersas por animais (JORDANO, 2000; ALMEIDA-NETO *et al.*, 2008). Os mamíferos herbívoros influenciam positivamente na dispersão de sementes, que são defecadas a longas distâncias da planta-mãe (O'FARRILL *et al.*, 2013), mas também têm um impacto variável na sobrevivência das plântulas nas florestas (KURTEN; CARSON, 2015; VILLAR, *et al.*, 2019).

Os mamíferos herbívoros são agentes importantes também na ciclagem de nutrientes e na fertilização do solo através da defecação, favorecendo a germinação e crescimento das espécies vegetais (PASTOR *et al.*, 1987, BONAN; SHUGART, 1989). Em zonas temperadas, existem evidências empíricas que mostram que alces estimulam a mineralização de nitrogênio do solo e assim aumentam a produtividade primária líquida (PASTOR *et al.*, 1993). Renas alteram a composição, respiração do solo e a atividade microbiana, potencializando a mineralização líquida de nitrogênio por pastagem e defecação (STARK, *et al.*, 2000). No Ártico, os grandes herbívoros aumentam a disponibilidade total de nitrogênio em camadas mais superficiais do solo interferindo positivamente na produtividade das plantas (MULDER, 1999). Analogamente, nas regiões tropicais espera-se que grandes mamíferos herbívoros favoreçam a manutenção de acúmulo de matéria orgânica no solo (SMYTHE, 1989; FRAGOSO, 1997; FRAGOSO, 2000) e uma maior concentração de carbono retida no solo (SOBRAL *et al.*, 2017).

Espera-se que a ciclagem de nutrientes pode ser potencializada por mamíferos herbívoros de grande porte, pois por serem os animais com maior biomassa, são os que ingerem e dispersam os frutos e sementes maiores. A digestão animal pode acelerar consideravelmente a ciclagem de nutrientes tanto pela decomposição de matéria vegetal como pela defecação, que libera os nutrientes para serem remineralizados no solo. Além disso, a passagem pelo trato digestório dos herbívoros tende a aumentar a taxa de germinação das sementes. Portanto, a perda dessas espécies dispersoras pode tornar os ambientes tropicais mais pobres em nutrientes e com menor abundância das espécies que produzem sementes grandes (HOBBS, 1996; DOUGHTY, 2016; MCNAUGHTON; BANYIKWA; MCNAUGHTON, 1997, BELLO *et al.*, 2015).

Enquanto diversos estudos avaliam o efeito dos mamíferos herbívoros de médio e grande porte na dispersão de sementes e na sobrevivência (STEVENSON; GUZMAN-CARO, 2010), recrutamento e diversidade de plântulas (MCKENDRICK *et al.*, 1985), poucos estudos têm medido empiricamente o papel dos herbívoros na fertilização do solo e na ciclagem de nutrientes através da deposição de fezes na região neotropical (WOLF; DOUGHTY; MALHI, 2013)

Grandes mamíferos herbívoros podem afetar positivamente também a produtividade primária em áreas de floresta tropical (DOUGHTY *et al.*, 2016; DASKIN; PRINGLE, 2016). Este tipo de *feedback* positivo é bem estudado em ecossistemas de pradarias e savanas, onde os herbívoros de grande porte promovem a diversidade, regulam a produtividade primária e a ciclagem de nitrogênio (N) e fósforo (P), por exemplo (MCNAUGHTON, 1979; MCNAUGHTON *et al.*, 1997; AUGUSTINE; MCNAUGHTON, 1998; BORER *et al.*, 2014).

Além da fertilização direta herbívoros podem auxiliar indiretamente na aquisição de recursos minerais pelas plantas. Cerca de 80% das plantas terrestres (SMITH; READ, 2008; MOORA, 2014) possuem associações simbióticas fungos micorrízicos arbusculares que auxiliam na absorção de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Assim como as sementes de plantas, os esporos de fungos funcionam como propágulos de dispersão e poderiam em tese ser transportados por qualquer organismo de alta mobilidade, como os grandes animais. Entretanto conhecemos muito pouco o potencial papel de herbívoros na dispersão desses fungos.

A transferência de carboidratos oriundos de fotossíntese se dá pela relação das hifas do fungo com as células das raízes, oferecendo então subsistência para os fungos, que em troca, expandem a sua área de superfície para que haja uma maior absorção dos nutrientes mais difíceis das plantas obterem (SMITH; READ, 2008). Estudos afirmam que esta simbiose planta-fungo confere benefícios associados a aptidão das espécies vegetais, como a tolerância ao estresse do ambiente, tais como secas e resistência a patógenos (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2015). Apesar de evidências de micofagia (consumo de corpos de frutificação por vertebrados), pouco se sabe sobre a influência dos grandes herbívoros para a dispersão dos esporos de fungos e desempenho das plantas nativas. Diferentemente dos fungos ectomicorrízicos (que produzem corpos de frutificação macroscópicos), em florestas neotropicais os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são mais comuns (BRUNDRETT, 1991; READ, 1991).

Apesar de os FMA não formarem corpos de frutificação acima do solo eles podem ser consumidos incidentalmente pela fauna e dispersos a longas distâncias (FOGEL; TRAPPE 1978; CLARIDGE *et al.*, 1994; CLARIDGE *et al.*, 1996; MASER *et al.*, 2008). Ao disseminar

esporos pelas fezes, os grandes herbívoros atuam não só como dispersores de propágulos de plantas como também seus “parceiros”, contribuindo com a manutenção da diversidade e produtividade das florestas (MASER *et al.*, 2008) e aumento das taxas de crescimento e aquisição de nutrientes (RODRIGUEZ *et al.*, 2004). Outros estudos (MANGAN; ADLER, 1999; JANOS *et al.*, 1995) indicaram que nas fezes dos herbívoros há ocorrência de esporos de espécies de fungos micorrízicos, porém ainda não se têm informações acerca da viabilidade de germinação e capacidade de colonização das raízes desses esporos.

Assim sendo, modelos ecológicos e revisões bibliográficas sugerem que o declínio de grandes herbívoros em florestas tropicais pode impactar fortemente o fluxo de nitrogênio, sódio e potássio essenciais para o crescimento das plantas a uma escala continental (DOUGHTY *et al.*, 2013; MALHI *et al.*, 2016). Porém, evidências empíricas desse fenômeno ainda não existem para a região Neotropical. Assim como na fertilização, o papel dos herbívoros de médio e grande porte na dispersão de fungos micorrízicos em ecossistemas de floresta tropical era totalmente desconhecido, porém potencialmente relevante, pois há impacto direto no recrutamento de plântulas.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi testar experimentalmente o papel dos grandes herbívoros no crescimento e desenvolvimento de plântulas de uma espécie arbórea nativa da Mata Atlântica. Mais especificamente, os objetivos foram monitorar o crescimento de plântulas de *Cryptocaria mandiocanna* sob diferentes tratamentos experimentais com adição de fezes de grandes mamíferos, adição de macronutrientes NPK inorgânicos em concentrações similares as fezes desses animais e no controle. Além de avaliar o potencial fertilizador do solo e dispersor de fungos micorrízicos desses animais.

As hipóteses testadas neste trabalho foram: i) de que grandes mamíferos afetam positivamente o aporte de nutrientes essenciais no solo (HOBBS, 1996; DOUGHTY, 2016). ii) de que grandes mamíferos dispersam fungos mutualísticos, e portanto, nas fezes de anta e queixada, encontraremos uma quantidade relevante de esporos fúngicos (Maser *et al.*, 2008). iii) como efeito do maior aporte de nutrientes e presença de esporos fúngicos através das fezes, há um efeito observável no crescimento e desenvolvimento de plântulas. Tal que as plântulas fertilizadas com fezes de queixada e anta deveriam crescer mais e ter maior razão biomassa radicular/aérea, comparados aos tratamentos de fertilização inorgânica e controle. (DOUGHTY *et al.*, 2016; READ, 1991; MCNAUGHTON; BANYIKWA; MCNAUGHTON, 1997; HOBBS, 1996).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Desenho Experimental

Para testar os efeitos da fertilização do solo e dispersão de fungos micorrízicos realizamos manipulações experimentais fatoriais. Sementes de *Cryptocarya mandioccana* (Lauraceae), foram germinadas em areia inerte em condições controladas no viveiro de mudas instalado na sede da Reserva Legado das Águas (Miracatu, SP). As sementes são procedentes da própria Reserva onde o experimento foi instalado, de diferentes plantas-mãe, para haver variabilidade genética. Após a germinação, 100 plântulas da espécie mencionada foram designadas a 5 tratamentos de fertilização replicados em dois tratamentos de luminosidade: No tratamento indicado como sombra, a bancada com as plântulas foi coberta com sombrites que reduzem em aproximadamente 50% a entrada de luz. E o indicado como luz elevada refere-se a condição de luminosidade normal no viveiro. Tratamentos:

i) adição de fezes de anta (*Tapirus terrestris*), (ii) adição de fezes de queixada (*Tayassu peccari*), (iii) NPK inorgânico equivalente a concentração encontrada em fezes de anta, (iv) NPK inorgânico equivalente a concentração encontrada em fezes de queixada, e (v) controle, onde não houve fertilização de nenhum tipo.

Cada plântula foi cultivada em um vaso de 3 litros, cujo substrato comercial foi misturado com areia, em uma proporção de 55% de substrato e 45% de areia a fim de reduzir a concentração de nutrientes por vaso. A mistura de substrato e areia foi distribuída igualmente em todos os tratamentos. O substrato utilizado foi submetido à análise química de NPK e apresentou baixa quantidade de nutrientes essenciais, conforme consta na tabela a seguir (Tabela 1). E após a remoção das plântulas, o solo foi enviado ao laboratório para obtenção da concentração de nutrientes pós-experimento.

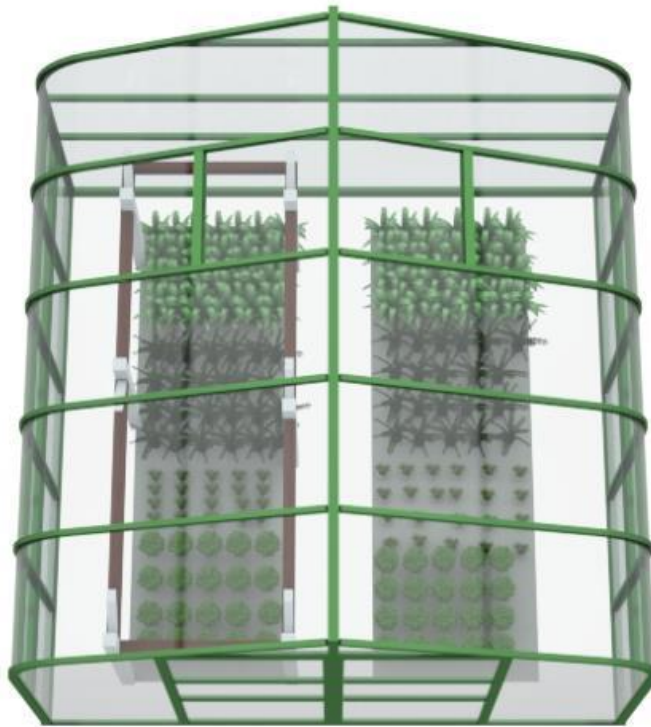
As plântulas foram irrigadas da mesma forma entre os indivíduos, de modo que a água não foi considerada um fator limitante, assim como a temperatura, visto que a estufa utilizada na Reserva Legado das Águas se encontra em meio a Mata Atlântica, de onde a espécie é nativa.

Tabela 1: Quantidades totais disponíveis de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no substrato antes dos tratamentos serem incluídos no experimento

Fósforo (P2O5) Total	Potássio (K2O) Solúvel Água	Nitrogênio (N) Total
0,31	0,21	0,29

A necessidade de incluir a interferência de luminosidade neste projeto se dá pelo fato da disponibilidade de luz no nível do solo ser um mecanismo comumente postulado em experimentos que relacionam herbivoria e produtividade vegetal (BORER *et al.*, 2014). As plantas terrestres competem entre si por nutrientes e luz, e um mecanismo importante para manter a coexistência é um *trade-off*, que deve ser considerado, na capacidade competitiva por nutrientes (subterrâneo) e por carbono através da luz (em níveis mais superficiais). Além disso, existe um *trade-off* entre investimento em rápido crescimento em altura e investimento no crescimento secundário através da espessura do caule (BORER *et al.*, 2014; HILLEBRAND, *et al.*, 2007; OLFF; RITCHIE, 1998).

Figura 1: Ilustração esquemática da casa de vegetação onde o experimento foi realizado



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2: Montagem do experimento com plântulas de *Cryptocaria mandiocanna* na reserva “Legado das Águas”



Figura 3: Montagem do experimento em casa de vegetação na reserva “Legado das Águas”



Fonte das imagens: Acervo da autora

3.1.1 Espécie avaliada

Cryptocarya mandioccana é uma espécie classificada como tolerante à sombra, emergente e zoocórica, (LOREGIAN *et al.*, 2012) os principais grupos que as dispersam são primatas, aves de grande porte e outros mamíferos herbívoros (GALETTI; MARTUSCELLI; OLMOS; ALEIXO, 1997; MORAES, 2007; MORAES; PAOLI, 1995), sendo por este motivo também afetada negativamente pela defaunação (CULOT *et al.*, 2017). Além disso, por ser uma espécie de madeira densa, cuja densidade média é 0,72 g/cm³ e altura de 22 metros (BELLO *et al.*, 2017), apresenta uma grande biomassa, podendo ser classificada como uma importante estocadora de carbono, visto que aproximadamente 40% do carbono terrestre do mundo é armazenado nas florestas tropicais (DIXON *et al.*, 1994). Possui sementes consideravelmente grandes, as sementes utilizadas para realização do experimento têm comprimento médio de 2,32cm, e largura de 1,32cm. Os frutos têm comprimento médio de 2,56cm, largura de 1,79cm e peso de 5,49g.

As principais características encontradas relacionadas a morfologia das plântulas são: Apresentam raiz primária cônica, reta, a base mais grossa, com sistema radicular considerado glabro. Sendo uma espécie hipógea com germinação criptocotiledonar-hipógea; os cotilédones são acumbentes e localizados à lateral do eixo caulinar, no nível do solo, sem a ruptura longitudinal, apresenta epicótilo achatado, com reentrâncias, com forma de cilindro após a base (MORAES; PAIOLI, 1999).

3.1.2 Tratamento Nutrientes (NPK)

O tratamento de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) inorgânico referente às fezes de cada animal consiste em simular a fertilização pelos animais (porém excluindo o potencial efeito dos fungos micorrízicos). Ou seja, se o tratamento que inclui as fezes tiver maior índice de crescimento, conforme nossas hipóteses, podemos inferir que é devido à ação dos fungos ou das propriedades exclusivas das fezes. Para isso, nos baseamos nas análises químicas realizadas de NPK das fezes de cada animal e incluímos estas mesmas proporções de cada nutriente em cada vaso de plântula deste tratamento.

Com base nas análises NPK das fezes de anta (NPK- A) e de queixada (NPK – Q) realizadas anteriormente, estabelecemos as mesmas quantidades encontradas das fezes de cada espécie levando em consideração também a quantidade de fezes que uma plântula está propensa a receber em um ambiente onde há presença desses animais. Através de dados de densidade de

plântulas por m² ao redor de uma latrina na Mata Atlântica e o peso dessas fezes. Estes dados foram disponibilizados pelo laboratório de pesquisa LaBiC (Laboratório de Biologia da Conservação da Unesp) que conduz projetos a longo prazo que avaliam a defaunação, financiados pelo BIOTA – Fapesp. Sendo assim, realizamos os cálculos de proporções e estabelecemos as quantidades de (N= 9,03g; P=1,40g; K=1,80g) referentes ao encontrado nas fezes de anta (N=3,70g; P= 0,138g; K=0,112g) referentes as fezes de queixada.

3.1.3 Tratamento Adição de Fezes

As fezes de anta e queixada que compõem os principais tratamentos deste experimento foram coletadas em diferentes fragmentos de Mata Atlântica (Estação Ecológica dos Caetetus; PE Carlos Botelho, Legado das Águas, PESM Núcleo Santa Virginia) A escolha das fezes a serem coletadas foi baseada na idade da latrina ou porção fecal, não foram utilizadas amostras fecais muito secas ou em avançado estágio de decomposição. No caso de latrinas de anta foi recolhida a porção mais interior, com luvas plásticas descartáveis e o auxílio de uma pá sempre esterilizada. Após as coletas das fezes, elas foram secas em estufa por dois dias na temperatura de 50°C e armazenadas em saco plástico devidamente identificado. Criamos uma mistura *mix* para fezes de anta e outro *mix* para as fezes de queixada. A mistura foi produzida com amostras secas em estufa e foram armazenadas em saco plástico escuro em temperatura ambiente até o momento da aplicação nos vasos experimentais.

Para calcular a quantidade de fezes acrescentadas nos devidos tratamentos, foram analisados os dados disponíveis coletados pelo grupo de pesquisa anteriormente, da quantidade de fezes encontradas em campo e a densidade de plantas ao redor das fezes, em seguida realizamos cálculos que indicam a quantidade de fezes em gramas que uma plântula receberia em um ambiente com a presença desses animais. Com base nesses dados e cálculos de proporção estabelecemos que 110g de fezes secas de anta e 6g de fezes de queixada seriam adicionadas a cada plântula.

3.1.4 Monitoramento e medições das variáveis

Após a germinação, as plântulas foram monitoradas e medidas (altura, diâmetro a altura da base, número de folhas e presença de danos foliares por herbívoros ou patógenos) a cada três semanas por sete meses ou até a plântula morrer (BUENO *et al.*, 2013).

A altura de cada plântula foi estimada a partir do nível do solo até o meristema apical, conforme mostrado na Figura 4. O diâmetro do caule ao nível do solo foi medido com paquímetro digital com precisão de 0,01cm. As folhas foram contadas separadamente distinguindo folhas expandidas e não expandidas (mais jovens) para observação de padrões na produção foliar em razão dos tratamentos. Os danos foliares foram analisados em cada folha e quando necessário classificados em: pouco (1-30%), médio (30-60%) ou muito predadas (60-100%), e as observações relacionadas a diferentes colorações nas folhas e anomalias também foram reportadas.

Figura 4: Padrão para medida da altura das plântulas



Fonte: Acervo da autora

Ao final dos sete meses, as plântulas foram coletadas para análise das partes aéreas e radiculares. Essa métrica serve para investigar se a planta investe mais em crescimento foliar e em altura, representando uma maior busca e necessidade de luz, ou se ela investe mais em estrutura radicular para absorção de nutrientes. Após, a medida dos pesos frescos, as folhas e raízes foram secas em estufa por dois dias na temperatura de 50°C, pesadas novamente e estimamos a biomassa e razão entre parte radicular e aérea.

3.2 Análise dos Fungos

Para investigar a densidade e identificar os esporos em amostras fecais de grandes herbívoros da Mata Atlântica, as fezes de queixada e anta foram amostradas. Havia amostras de fezes de principalmente duas procedências: as que coletamos em campo, no solo da floresta, portanto em vários graus de decomposição, e também as frescas que conseguimos devido a parceria com veterinários que capturam e trabalham com queixadas em fragmentos de Mata Atlântica.

Após a coleta, as amostras foram mantidas em sacos plásticos identificados, para as amostras coletadas em campo, a localização de cada uma foi marcada em GPS, para futuros estudos de ocupação e para facilitar novas buscas de amostras.

Os exemplares das fezes de anta e queixada foram destinados à análise, que se deu através da contagem e estimativa da densidade de esporos fúngicos encontrados em cada uma delas, em laboratório, para assim inferir acerca do potencial dispersor dos mamíferos herbívoros. Os procedimentos foram realizados através dos métodos de colonização micorrízica de acordo com Vierheilig *et al.*, (1998), avaliação quantitativa segundo a metodologia preconizada por Giovanethi *et al.*, (1980) e quantificação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares por Gerdemann *et al.*, (1963).

3.3 Análise de Nutrientes

O solo foi analisado a fim de comparar a fertilização e disponibilidade de nutrientes antes e depois do incremento das fezes e dos fertilizantes inorgânicos. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Ciência do Solo da Esalq (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz") e os métodos empregados foram:

- i) Para Nitrogênio: (N-Total) Kjeldahl extraído em digestão sulfúrica + liga de níquel - alumínio; Nitrogênio Nítrico (N-NO₃) e Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄) Kjeldahl extraído em MgO + Liga Devarda.
- ii) Para Fósforo: (P-Total) extraído em HCl; (P-Cítrico) extraído em ácido cítrico 2%; (P-CNA) extraído em solução de citrato neutro de amônio + água; (P-H₂O) extraído em água; determinado por método gravimétrico do quimociac.
- iii) Para Potássio: (K₂O) extraído em HCl (Total); Ácido Cítrico 2%, Solução de Citrato Neutro de Amônio + Água (CNA+H₂O); em Água; determinado por Fotometria de Chama.

3.4 Análise dos Dados

As diferenças na taxa de crescimento, biomassa aérea e radicular separadas e a razão entre essas variáveis bem como a intensidade de colonização das raízes por fungos micorrízicos entre as plântulas dos diferentes tratamentos foram analisados usando modelos de efeitos mistos generalizados (PINHEIRO *et al.*, 2015) que levam em conta a estrutura hierárquica e a replicação nos resultados. Todas as análises serão geradas dentro do ambiente R (R Development Core Team 2014). As variáveis respostas foram a diferença no crescimento, a razão biomassa aérea e radicular e a espessura do caule e as variáveis preditoras foram os tratamentos avaliados.

4. RESULTADOS

4.1 Crescimento em Altura

Calculamos a diferença de altura no início e no fim (após 7 meses) de todos os indivíduos da espécie *Cryptocarya mandioccana*. A tabela que consta a média de altura inicial, final e o delta altura de cada tratamento está disposto na tabela a seguir:

Tabela 2: Média de altura inicial, final e de diferença de altura em sete meses por tratamento e luminosidade

Tratamento	Luminosidade	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Delta altura (cm)
Fezes Anta	Luz	7,42	18,26	10,8
Fezes Anta	Sombra	8,55	16,6	8,05
NPK Anta	Luz	8,27	22,1	14,36
NPK Anta	Sombra	11,8	14,47	2,65
Fezes Queixada	Luz	10,8	21,78	10,98
Fezes Queixada	Sombra	10,35	15,92	5,74
NPK Queixada	Luz	9,43	21,41	12,37
NPK Queixada	Sombra	10,52	15,78	4,71
Controle	Luz	11,72	23,38	11,66
Controle	Sombra	11,61	16,33	4,72

Para esta variável observamos que além dos tratamentos (fezes anta, queixada, NPK-A, NPK-Q comparados ao controle), e luz e sombra, a interação entre esses dois tipos de tratamentos foi significativa ($p < 0,05$).

O principal resultado encontrado foi que em luz, as plântulas tiveram crescimento muito similar independentemente se havia adição de fezes ou de nutrientes minerais (Fig. 6, $p < 0,05$). Entretanto, na sombra houve diferença significativa entre os tratamentos (Fig. 7, $p < 0,05$) e determinantes para os resultados obtidos. O tratamento que apresentou maior crescimento em altura na sombra foi o que havia adição de fezes de anta. E o tratamento com menor crescimento foi o de NPK- A. Os tratamentos com fezes de queixada, controle e NPK - Q não apresentaram diferenças significativas entre eles. A seguir o gráfico mostra os resultados por tratamento. Registramos mortes apenas nas plântulas submetidas ao tratamento de NPK –A em sombra e em luz.

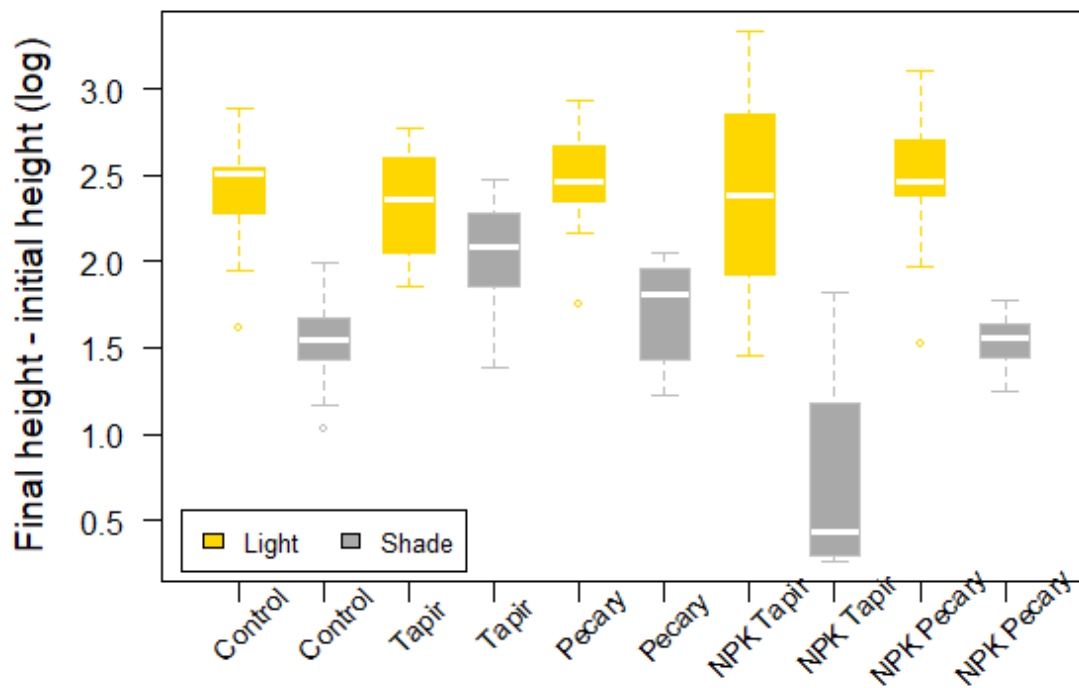


Figura 5: Crescimento vertical: Delta altura por tratamento em luz e em sombra – Em amarelo os tratamentos em luz e em cinza os tratamentos na sombra

Os gráficos a seguir se referem ao crescimento por tratamento ao longo das amostragens feitas em 7 meses, separados entre luz e sombra, cada cor representando um dos tratamentos.

Figura 6: Altura em centímetros ao longo dos sete meses de observação - Luz

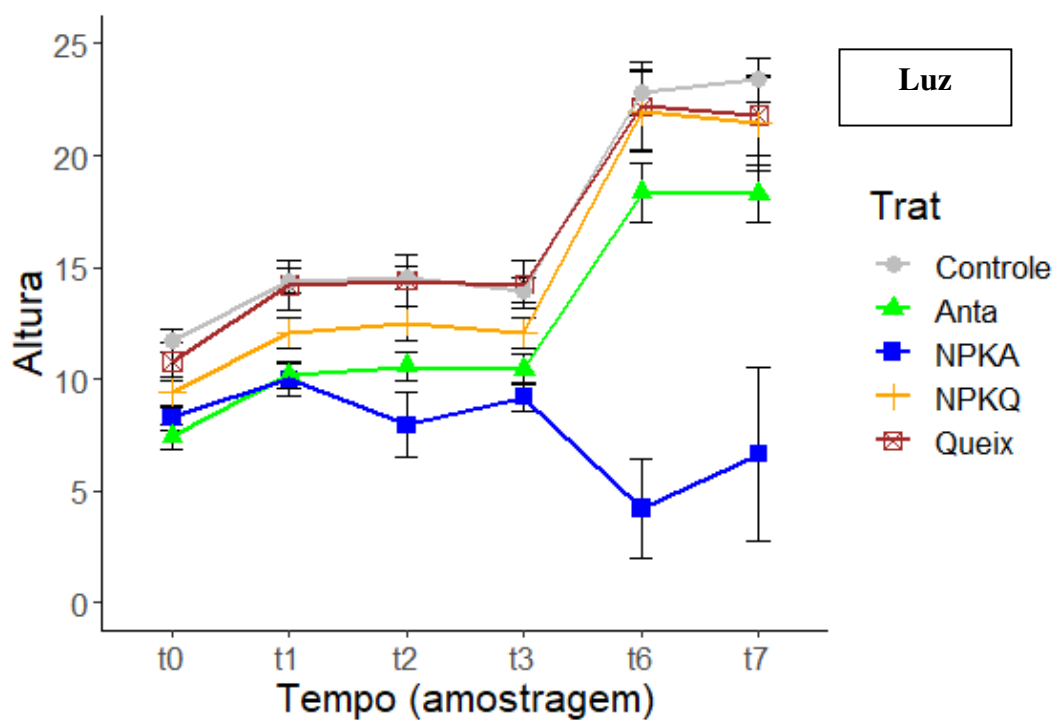


Figura 6: Altura em decorrência dos tratamentos por tempo em sombra. A linha cinza refere-se ao tratamento controle, a verde ao adicional de fezes de anta, azul refere-se ao NPK-A, laranja ao NPK-Q e vermelho ao adicional de fezes de queixada.

Figura 7: Altura em centímetros ao longo dos sete meses de observação - Sombra

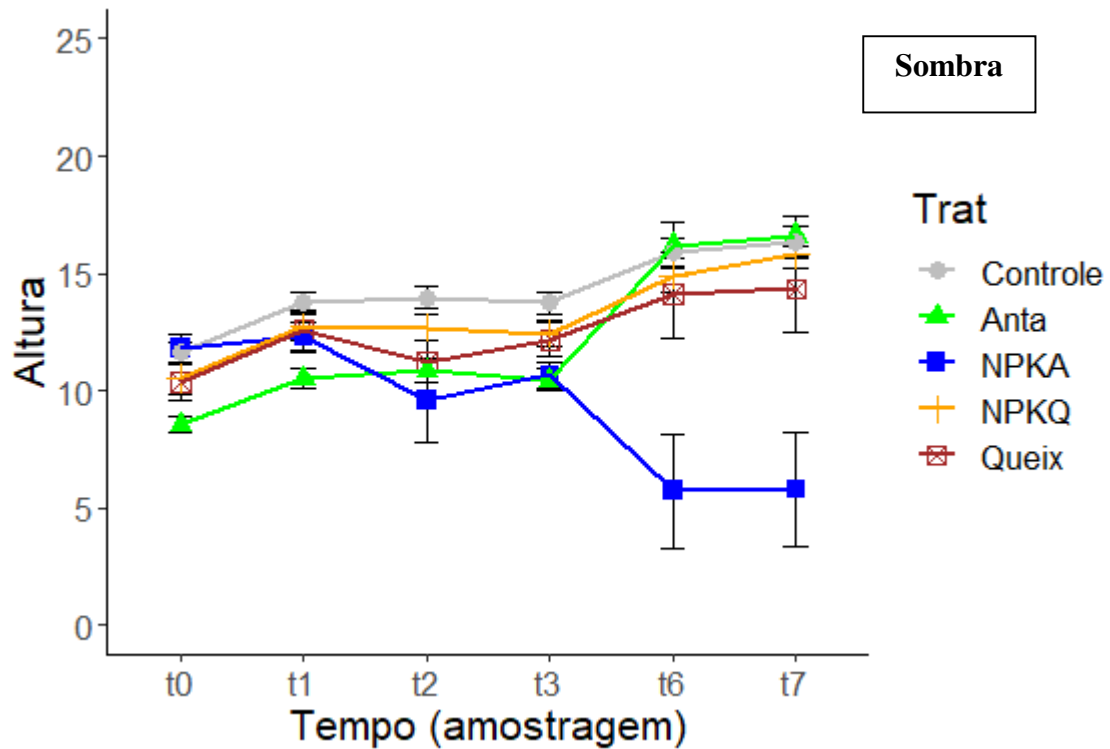


Figura 7: Altura em decorrência dos tratamentos por tempo em luz. A linha cinza refere-se ao tratamento controle, a verde ao adicional de fezes de anta, azul refere-se ao NPK-A, laranja ao NPK-Q e vermelho ao adicional de fezes de queixada.

4.2 Razão entre Biomassa Radicular e Aérea

A razão entre biomassa radicular e aérea também foi calculada após 7 meses de desenvolvimento de cada plântula. As biomassas aérea e radicular foram medidas tanto verdes (úmidas) e secas. A tabela com a média da razão biomassa aérea e radicular verde por tratamento a seguir:

Tabela 3: Média da biomassa radicular, da biomassa aérea e a razão por tratamento

Tratamento	Luminosidade	Biomassa aérea (g)	Biomassa radicular (g)	Razão
Fezes Anta	Luz	4,47	3,79	0,87
Fezes Anta	Sombra	4,27	2,16	0,51
NPK Anta	Luz	1,34	1,49	1,95
NPK Anta	Sombra	1,07	0,90	1,83
Fezes Queixada	Luz	7,24	6,25	0,86
Fezes Queixada	Sombra	2,70	1,67	0,67
NPK Queixada	Luz	5,95	4,69	0,82
NPK Queixada	Sombra	3,16	1,90	0,60
Controle	Luz	6,06	4,80	0,80
Controle	Sombra	3,23	1,71	0,54

Também foram analisados os dados com modelos de efeitos mistos, e os resultados foram significativos ($p < 0.05$) indicando uma maior razão biomassa radicular/aérea no tratamento de fezes de anta e queixada na sombra. Para as plântulas em luz, vimos um padrão diferenciado, onde fezes de queixada, NPK -Q e controle tiveram valores sem diferença significativa e os tratamentos de anta e NPK -A também não apresentaram diferenças significativas. O gráfico que mostra cada valor dessa razão está disposto a seguir:

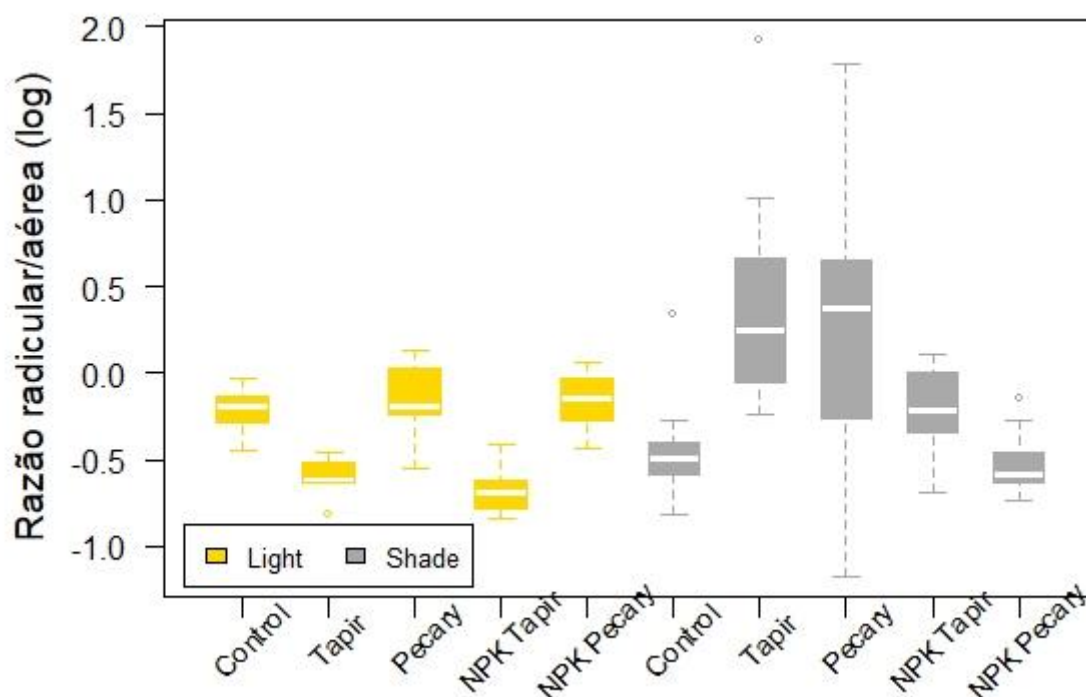


Figura 8: Razão biomassa radicular/aérea por tratamento – Em amarelo os tratamentos em luz e em cinza os tratamentos na sombra

4.3 Espessura do Caule

Quando analisamos o crescimento secundário expresso pela diferença entre a espessura inicial e final vimos uma relação marcante e significativamente menor ($p < 0.05$) do tratamento com incremento de fezes de anta em sombra comparado a todos os outros tratamentos (Fig. 8). Os outros tratamentos não representaram diferenças significativas comparadas ao controle em luz e em sombra.

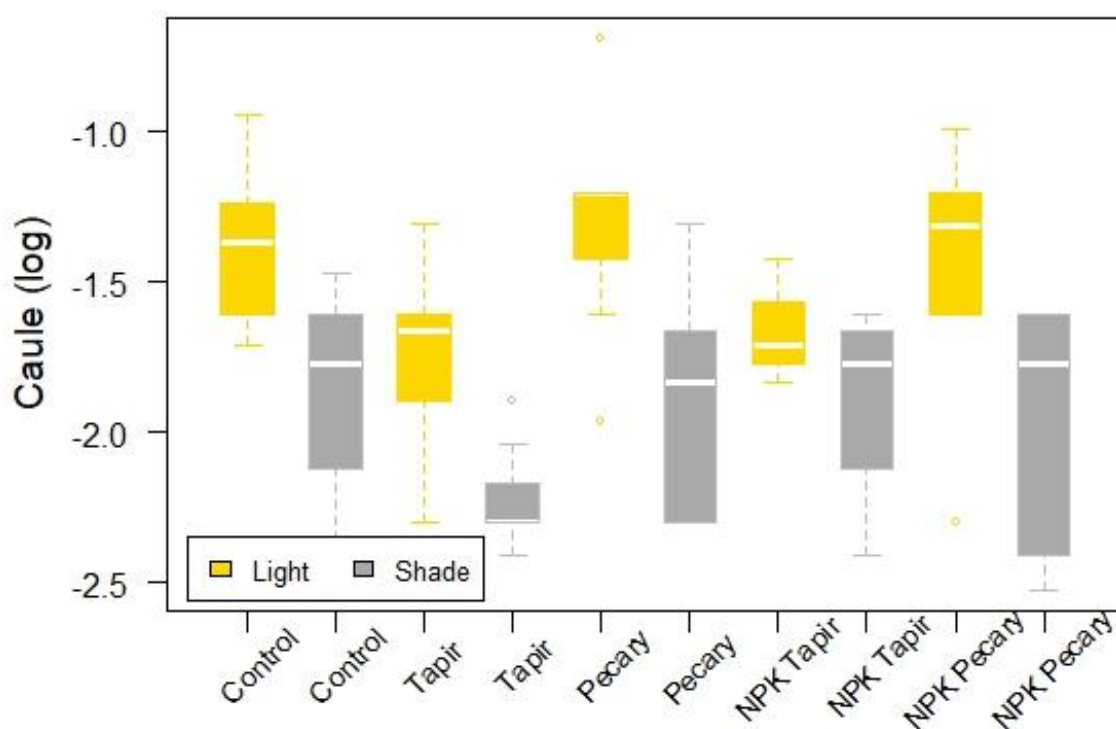


Figura 9: Crescimento secundário – Delta Espessura do caule em cada tratamento – Em amarelo os tratamentos em luz e em cinza os tratamentos na sombra

Não foram encontradas diferenças significativas na produção foliar, quantidade de folhas expandidas ou não, e herbivoria relacionadas com os tratamentos avaliados no experimento.

4.4 Nutrientes

Com o intuito de investigar se os mamíferos herbívoros alteram a concentração de macronutrientes (NPK) no solo após a adição de fezes e o uso das plântulas, analisamos quimicamente o solo e pudemos observar que fezes de anta de fato incrementam grandes quantidades de nitrogênio e fósforo no solo.

Tabela 4: Dados referentes à nutrição do solo após os 7 meses de experimento – Quantidade total (%) de nitrogênio, fósforo e potássio nas amostras dos tratamentos

Tratamento	Luminosidade	Nitrogênio (%)	Fósforo (%)	Potássio (%)
Queixada	Luz	0.49	0.15	0.05
Anta	Luz	0.87	0.19	0.14
NPK_Anta	Luz	0.77	0.12	0.08
NPK_Queixada	Luz	0.57	0.16	0.05
Controle	Luz	0.35	0.19	0.04
Queixada	Sombra	0.56	0.22	0.05
Anta	Sombra	1.11	0.22	0.11
NPK_Anta	Sombra	0.52	0.16	0.06
NPK_Queixada	Sombra	1.11	0.22	0.08
Controle	Sombra	0.83	0.18	0.07

O gráfico abaixo (Figura 10) mostra uma comparação do quanto foi encontrado de nitrogênio, fósforo e potássio totais no solo entre tratamentos. Em sombra havia maior quantidade de nutrientes disponíveis do que nos tratamentos em luz. Nas fezes de anta e NPK-Q havia mais nutrientes do que nos outros tratamentos em sombra. E em luz o valores foram similares em todos os tratamentos, exceto no fezes de anta que também houve maior nutrição mineral.

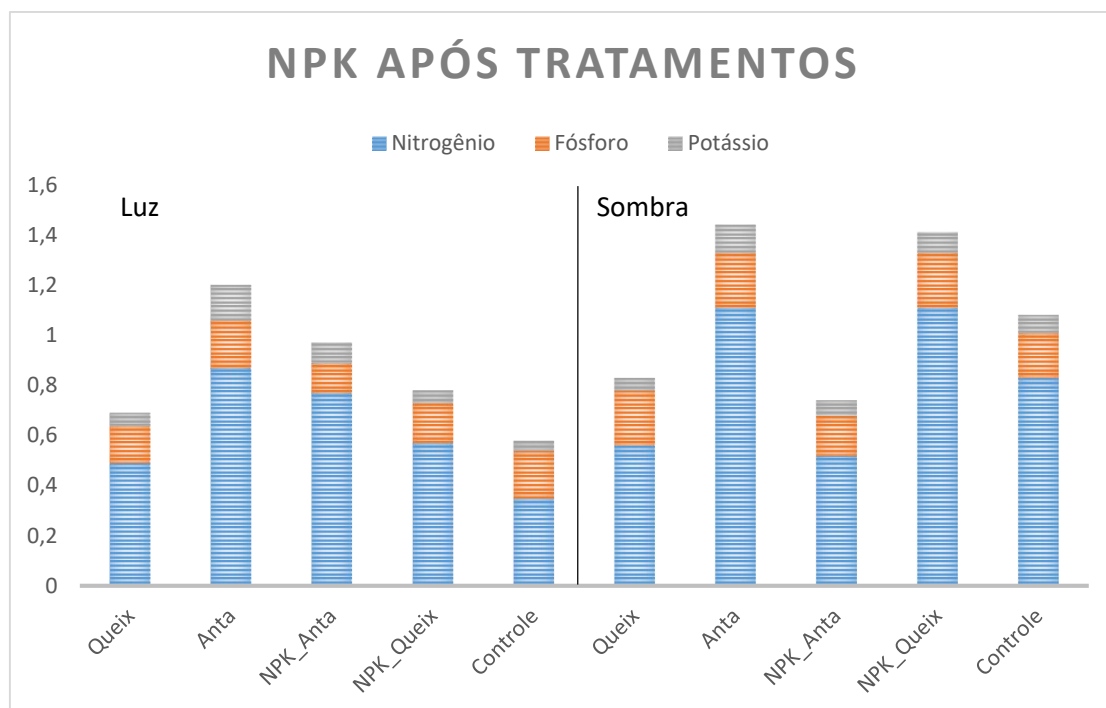


Figura 10: Quantidade encontrada de nutrientes básicos no substrato após os tratamentos de 7 meses avaliados

4.5 Fungos

Das amostras fecais coletadas em campo, foi possível encontrar esporos de fungos micorrízicos arbusculares em 3 de 6 amostras (15, 24 e 21 esporos em amostras secas de 2,7, 2,6 e 2,8 g, respectivamente). Um especialista em taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares identificou 7 espécies (1 a 2 espécies por amostra) de fungos em um total de 41 esporos (de 1 a 16 por amostra) em 6 das 13 amostras de fezes de queixada. No entanto, todas as 13 amostras tinham esporos que, em alguns casos, não estavam em condições de serem identificados ao nível das espécies. Além das amostras coletadas no campo, foram analisadas também 25 amostras fecais coletadas diretamente dos animais capturados por um veterinário. Em uma amostra, encontramos mais de 300 esporos em aproximadamente 2,5 g de amostra seca.

Duas amostras de fezes de anta foram analisadas e encontramos esporos em uma das amostras (cerca de 5 esporos). As amostras de anta eram maiores, 20 g de material seco cada.

A seguir a tabela com as espécies encontradas nas fezes de queixada em campo:

Tabela 5: Número de esporos, e respectivos gêneros e espécies de fungos micorrízicos encontrados em cada amostra de fezes de queixada coletadas no solo da floresta

Amostra	Nº de esporos	Espécie de fungo
FWLP001	4	<i>Cetraspora cf gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Oehl, F.A. de Souza & Sieverd
	1	<i>Redeckera sp.1</i>
FWLP002	*	
FWLP003	*	
FWLP004	1	<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos
FWLP005	*	
FWLP006	*	
FWLP007	9	<i>Rhizoglosum cf fasciculatum</i> (Thaxt.) Sieverd., G.A. Silva & Oehl
FWLP008	*	
FWLP009	8	<i>Redeckera fulvum</i> (Berk. & Broome) C. Walker & A. Schüssler
	16	<i>Rhizoglosum cf fasciculatum</i> (Thaxt.) Sieverd., G.A. Silva & Oehl
FWLP009B	*	
FWLP010	1	<i>Glomus cf trufemii</i> B.T. Goto, G. A. Silva & Oehl
FWLP011	1	<i>Rhizoglosum sp.1</i>
FWLP012	*	
FWLP013	*	

5. DISCUSSÃO

A disponibilidade de nutrientes essenciais é de importância primordial no controle da produtividade primária (VITOUSEK, 2004). Os mamíferos terrestres tem capacidade de translocar esses nutrientes a longas distâncias, por consumirem os nutrientes em um ponto e excretá-los em outro, acelerando também os ciclos biogeoquímicos (MALHI, 2012; DOUGHTY; WOLF; MALHI, 2013). De fato, através do experimento realizado, foi possível observar que os mamíferos herbívoros de grande porte, principalmente a anta, enriquecem o solo com uma quantidade considerável de NPK através da defecação.

Nossos resultados indicam também que o adicional de fezes de anta em plântulas de *Cryptocarya mandioccana* contribuem para um significativo aumento no crescimento da parte aérea e desenvolvimento da parte radicular. A nutrição mineral das fezes pode estar relacionada com o alto crescimento das plântulas, porém quando incrementamos as mesmas quantidades de nutrientes que haviam em fezes de anta nos tratamentos com nutrição inorgânica, não obtivemos um resultado tão positivo no crescimento.

Ou seja, não é somente a carga total de nutrientes que possibilitaram um aumento no desenvolvimento das plântulas, mas sim as características próprias que as fezes possuem, como uma liberação mais lenta e gradual desses nutrientes (BODMER, 1990; CLAUS; DIERENFELD, 2008) a relação com a decomposição de matéria orgânica e fibras que há nas fezes (CHEW, 1974; BATZLI, 1978), a maior disponibilidade e facilidade de absorção dos nutrientes nas fezes, conforme visto em outros sistemas e regiões (MCKENDRICK, 1980). Entretanto, outros mecanismos biológicos podem também estar relacionados com este padrão.

Além disso, observamos a presença dos mutualistas de raízes nas fezes desses animais, e em maiores quantidades nas fezes de queixada, provavelmente ingeridos acidentalmente, devido ao hábito de revolver o solo característico da espécie. As associações entre fungos micorrízicos e raízes de plantas além de proporcionarem um aumento na área de captação de nutrientes, protegem contra patógenos e seca, ajudando na permanência e aptidão dessas espécies vegetais em condições estressantes. O papel dos mamíferos seria mediar essas interações e este trabalho contribuiu para o início do entendimento de como esses processos são estabelecidos nas florestas tropicais.

A razão biomassa radicular/aérea maior no tratamento de fezes de queixada em sombra pode estar relacionada com esta quantidade de esporos de fungos nas fezes dos animais, pois foi significativamente diferente dos outros tratamentos (exceto o tratamento com incremento de fezes de anta). Faz sentido considerar a possibilidade de que os fungos formaram associações

nesses tratamentos e esta relação proporcionou um aumento na estrutura e peso da raiz em detrimento ao peso da parte aérea da plântula. Já que relação é obrigatória para o fungo, ou seja, em condições ideais de germinação dos esporos, os fungos necessitam das raízes para obtenção de carbono (OLSEN et al, 1999; DODD, 2000).

Já foram estudadas algumas das funções desempenhadas por mamíferos herbívoros em florestas tropicais, tais como capacidade de dispersão e predação de sementes (WRIGHT, 2000; JANZEN, 1970), pisoteio, herbivoria, (WRIGHT; DUBER, 2001) e seus efeitos no aumento de diversidade vegetal (VILLAR *et al.*, 2019) e como “engenheiros do ecossistema” (JONES *et al.*, 1994; KEUROGHLIAN; EATON, 2009). Além dessas funções, através deste trabalho foi possível observar que anta e queixada afetam também a fertilização do solo e dispersão de fungos micorrízicos, e estas funções são desempenhadas de modos diferentes de acordo com o hábito e as particularidades de cada espécie, e são funções complementares.

Foi visto que anta pode exercer a função de fertilizadora do solo, enquanto os queixadas podem desempenhar a função de dispersão de mutualistas de raízes. Esta relação se complementa pois as fezes de anta, quando adicionadas nas plântulas resultou em um maior crescimento em altura. E no tratamento que adicionava as fezes de queixada, houve um melhor desenvolvimento radicular. Contudo, ambos efeitos auxiliam no recrutamento de plântulas e estruturação das comunidades vegetais no sub-bosque de florestas tropicais.

6. CONCLUSÃO

Foi possível concluir que os mamíferos herbívoros anta (*Tapirus terrestris*) e queixada (*Tayassu peccary*) podem desempenhar funções de fertilização do solo e são potenciais dispersores de mutualistas de raízes, aumentando o crescimento e desenvolvimento de plântulas de sub-bosque em condições de luz limitantes, e que a presença destes animais na floresta pode ter efeito positivo no recrutamento de plântulas de uma espécie nativa da Mata Atlântica, visto que as fezes desses animais auxilia na sobrevivência das plântulas nos primeiros e mais críticos meses de desenvolvimento. Porém os resultados apresentados neste trabalho são ainda o início do entendimento desses processos, é necessário que haja uma continuação nos estudos direcionados à esta temática na regiões neotropicais, para que as demais questões relacionadas a estas fortes interações ecológicas sejam respondidas e as devidas medidas de conservação biológica adotadas.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-NETO, M., F. CAMPASSI, M. GALETTI, P. JORDANO, A. OLIVEIRA FILHO. Vertebrate dispersal syndromes along the Atlantic forest: broad-scale patterns and macroecological correlates. **Global Ecology and Biogeography** 17:503-513. 2008.
- AUGUSTINE, D. J., S. J. MCNAUGHTON. Ungulate effects on the functional species composition of plant communities: herbivore selectivity and plant tolerance. **Journal of Wildlife Management** 62:1165-1183. 1998.
- BASCOMPTE, J., P. JORDANO. Mutualistic networks. **Princeton University Press, Princeton**. 2014
- BELLO, C., GALETTI, M., MONTAN, D., PIZO, M. A., MARIGUELA, T. C., CULOT, L., JORDANO, P. Atlantic frugivory: a plant-frugivore interaction data set for the Atlantic Forest. *Ecology*, 98(6), 1729–1729. 2017.
- BELLO, C., M. GALETTI, M. A. PIZO, L. F. S. MAGNAGO, M. F. ROCHA, R. A. F. LIMA, C. A. PERES, O. OVASKAINEN, and P. JORDANO. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances** 1:1–11. 2015.
- BODMER, R. E. **Fruit patch size and frugivory in the lowland tapir (*Tapirus terrestris*)**. *Journal of Zoology*, 222(1), 121–128. 1990.
- BONAN, G. B.; H. H. SHUGART. Environmental factors and ecological processes in boreal forests. **Annual Review of Ecology and Systematics** 20:1-28. 1989.
- BORER, E. T., E. W. SEABLOOM, D. S. GRUNER, W. S. HARPOLE, H. HILLEBRAND, E. M. LIND, P. B. ADLER, J. ALBERTI, T. M. ANDERSON, J. D. BAKKER, L. BIEDERMAN, D. BLUMENTHAL, C. S. BROWN, L. A. BRUDVIG, Y. M. BUCKLEY, M. CADOTTE, C. CHU, E. E. CLELAND, M. J. CRAWLEY, P. DALEO, E. I. DAMSCHEN, K. F. DAVIES, N. M. DECRAPPEO, G. DU, J. FIRN, Y. HAUTIER, R. W. HECKMAN, A. HECTOR, J. HILLERISLAMBERS, O. IRIBARNE, J. A. KLEIN, J. M. H. KNOPS, K. J. LA PIERRE, A. D. B. LEAKEY, W. LI, A. S. MACDOUGALL, R. L. MCCULLEY, B. A. MELBOURNE, C. E. MITCHELL, J. L. MOORE, B. MORTENSEN, L. R. O'HALLORAN, J. L. ORROCK, J. PASCUAL, S. M. PROBER, D. A. PYKE, A. C. RISCH, M. SCHUETZ, M. D. SMITH, C. J. STEVENS, L. L. SULLIVAN, R. J. WILLIAMS, P. D. WRAGG, J. P. WRIGHT, and L. H. YANG. Herbivores and nutrients control grassland plant diversity via light limitation. **Nature** 508:517-520. 2014.
- BROCARD, C. R.; ZIPPARRO, V.B.; LIMA, R. A F.; GUEVARA, R; GALETTI, M. No changes in seedling recruitment when terrestrial mammals are excluded in a partially defaunated Atlantic rainforest. **Biological Conservation**. 163, 107-114. 2013.
- BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research** 21: 171 e 315. 1991.
- BUENO, R. S., GUEVARA, R., RIBEIRO, M. C., CULOT, L., BUFALO, F. S., GALETTI, M. Functional redundancy and complementarities of seed dispersal by the last Neotropical megafrugivores. **PLoS ONE** 8:e56252. 2013.

CLARIDGE, A.W., MAY, T.W. Mycophagy among Australian mammals. *Australian Journal of Ecology* 19: 251-275. 1994.

CULOT, L., BELLO, C., BATISTA, J. L. F., DO COUTO, H. T. Z., GALETTI, M. Synergistic effects of seed disperser and predator loss on recruitment success and long-term consequences for carbon stocks in tropical rainforests. *Scientific Reports*, 7(1). 2017.

DASKIN, J.H.; PRINGLE, R.M. Does primary productivity modulate the indirect effects of large herbivores? A global meta-analysis. *Journal of Animal Ecology*. 85, 857–868. 2016.

DIRZO, R., MIRANDA, A. Altered patterns of herbivory and diversity in the forest understory: A case study of the possible consequences of contemporary defaunation. *In*:

DIRZO, R., YOUNG, H.S., GALETTI, M., CEBALLOS, G., ISAAC, N.J.B., COLLEN, B., Defaunation in the anthropocene. *Science* 345, 401–406. 2014.

DIXON, R.K., SALOMÃO, A. M., BROWN. S., HOUGHTON, R.A., TREXIER, M.C., WISNIEWSKI, J. Conjuntos de carbono e fluxo de ecossistemas florestais globais. *Science* 263 , 185 – 190. 1994.

DODD, J. C. The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agro- and Natural Ecosystems. *Outlook on Agriculture*, 29(1), 55–62. 2000.

DOUGHTY, C. E., ROMAN, J., FAURBY, S., WOLF, A., HAQUE, A., BAKKER, E. S., MALHI, Y., DUNNING J.B.J., SVENNING, J.C. Global nutrient transport in a world of giants. *PNAS*. 113. 868–873. 2016.

DOUGHTY, C. E., WOLF, A., MALHI, Y. The legacy of the Pleistocene megafauna extinctions on nutrient availability in Amazonia. *Nature Geosci* 6:761-764. 2013.

FLEMING, T. H., KRESS, W. J. The Ornaments of Life: Coevolution and Conservation in the Tropics. *Chicago Univ. Press, Chicago*. 2013.

FOGEL, R., TRAPPE, J.M, Fungus consumption (mycophagy) by small animals. *Northwest Science* 52: 1-31. 1978.

FRACCHIA, S., KRAPOVICKAS, L., ARANDA-RICKERT, A., VALENTINUZZI, V.S. Dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes by *Ctenomys* cf. *knights* (Rodentia) in the northern Monte Desert of Argentina. *Journal of Arid Environments* 75, 1016 e 1023. 2011.

FRAGOSO, J.M. Tapir-generated seed shadow: scale-dependent patchiness in the Amazon rain forest. *Journal of Ecology* 85: 519-529. 1997.

GALETTI, M.; BOVENDORP, R.S.; GUEVARA, R. Defaunation of large mammals leads to an increase in seed predation in the Atlantic forests. *Global Ecology and Conservation*. 3, 824-830. 2015.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 46:235-246. 1963.

GIOVANETHI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**; 84:489-500. 1980.

HILLEBRAND, H. *et al.* Consumer versus resource control of producer diversity depends on ecosystem type and producer community structure. **Proc. Natl Acad. Sci. USA** 104, 10904–10909. 2007.

HOBBS, N.T. Modification of ecosystems by ungulates. **J Wildl Manage** 60(4):695–713. 1996

JANOS, D.P. Mycorrhizae influence tropical succession. **Biotropica** 12 (Suppl.), 1980.

JANZEN, D. H. Herbivores and the Number of Tree Species in Tropical Forests. **The American Naturalist** 104, no. 940. 501-528. 1970.

JANZEN, D. H. The deflowering of Central America. **Natural History** 83: 49-53. 1974.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. **Plant Dis. Rep.**, 48:692. 1964.

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

JORDANO, P. Fruits and frugivory. Pages 125-166 in M. Fenner, editor. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. **CABI Publishers**, Wallingford, UK. 2000.

KEUROGHLIAN, A., EATON, D.P., DESBIEZ, A.L.J. Habitat use by Peccaries and Feral Pigs of the Southern Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Suiform Soundings**, 8(2): 9 – 17. 2009.

KISSLING, W. D., BÖHNING-GAESE, K., JETZ, W. The global distribution of frugivory in birds. **Glob. Ecol. Biogeogr.** 18, 150–162). 2009.

KURTEN, E. L., W. P. CARSON. Do ground-dwelling vertebrates promote diversity in a Neotropical forest? Results from a long-term enclosure experiment. **Bioscience** 65:862-870. 2015.

LOREGIAN *et al.*, Padrões espaciais e ecológicos de espécies arbóreas refletem a estrutura em mosaicos de uma floresta subtropical. **Acta Botanica Brasilica** 26(3): 593-606. 2012.

MALHI, Y. The productivity, metabolism and carbon cycle of tropical forest vegetation. **Journal of Ecology**. 100: 65–75. 2012.

MALHI, Y., DOUGHTY, C. E., GALETTI, M., SMITH, F. A., SVENNING, J.-C., TERBORGH, J. W. Megafauna and ecosystem function from the Pleistocene to the Anthropocene. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 113:838-846. 2016.

MANGAN, S. A., ADLER, G. H. Consumption of arbuscular mycorrhizal fungi by spiny rats (*Proechimys semispinosus*) in eight isolated populations. **Journal of Tropical Ecology** 15:779–790. 1999.

MASER, C., CLARIDGE, A.W., TRAPPE, J.M. (eds), *Trees, Truffles, and Beasts: How Forests Function*. **Rutgers University Press**, New Brunswick. 2008.

MCGONIGLE, T. P., MILLER, M. H., EVANS, D. G., FAIRCHILD, G. L., SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist** 115:495-501. 1990.

MCKENDRICK, J.D., BATZLI, G.O., EVERETT, K. R., SWANSON, J.C. Some Effects of Mammalian Herbivores and Fertilization on Tundra Soils and Vegetation. Source: Arctic and Alpine Research, Vol. 12, No. 4, **Patterns of Vegetation and Herbivory in Arctic Tundra**. pp. 565-578. 1980.

MCNAUGHTON, S. J. Grazing as an Optimization Process: Grass-Ungulate Relationships in the Serengeti. **The American Naturalist** 113. 1979.

MCNAUGHTON, S. J., BANYIKWA, F. F., MCNAUGHTON, M. M. Promotion of the cycling of diet-enhancing nutrients by African grazers. **Science** 278:1798-1800. 1997.

MCNAUGHTON, S. J., F. S. CHAPIN III. Effects of phosphorus nutrition and defoliation on C4 graminoids from the Serengeti Plains. **Ecology** 66: 1617-1629. 1985.

MCNAUGHTON, S.J.; BANYIKWA, F.F.; MCNAUGHTON, M.M. Promotion of the cycling of diet-enhancing nutrients by African grazers. **Science** 278(5344):1798–1800. 1997.

MOORA, *et al.* Anthropogenic land use shapes the composition and phylogenetic structure of soil arbuscular mycorrhizal fungal communities, *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 90, Issue 3, Pages 609–621. 2014.

MORAES, P. L. R. & PAOLI, A. A. S. Dispersão e germinação de sementes de *Cryptocarya moschata* Nees & Martius ex Nees, *Ocotea catharinensis* Mez e *Endlicheria paniculata* (Sprengel) Macbride (Lauraceae). **Arquivos de Biologia e tecnologia**. 38, 1119–1129. 1995.

MORAES, P. L. R. & PAOLI, A. A. S. Morfologia e estabelecimento de plântulas de Lauraceae. **Revista Brasil. Bot.**, São Paulo, V.22, n.2, p.287-295. 1999.

MORAES, P. L. R. Taxonomia de espécies de *Cryptocarya* do Brasil. Vol. 3. 2007.

MULDER, C.P.H. Vertebrate herbivores and plants in the Arctic and subarctic: effects on individuals, populations, communities and ecosystems. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics** 2.1: 29-55. 1999.

O'FARRILL, G., GALETTI, M., CAMPOS-ARCEIZ, A. Frugivory and seed dispersal by tapirs: an insight on their ecological role. **Integrative Zoology** 8:4-17. 2013.

OLFF, H., RITCHIE, M. E. Effects of herbivores on grassland plant diversity. **Trends Ecol. Evol.** 13, 261–265. 1998.

OLSEN, J.K. SCHAEFER, J.T., EDWARDS, D.G., HUNTER, M.N., GALEA V.J., MULLER, L.M. Effects of mycorrhizae, established from an existing intact hyphal network, on the growth response of capsicum (*Capsicum annuum* L.) and tomato (*Lycopersicon*

esculentum Mill.) to five rates of applied phosphorus. **Australian Journal of Agricultural Research**, Vol 50, pp 223–237. 1999.

PASTOR, J., DEWEY, B., MOEN, R., MLADENOFF, D. J., WHITE, M., COHEN, Y. Spatial patterns in the moose–forest–soil ecosystem on Isle Royale, Michigan, USA. **Ecological Applications**, 8(2), 411-424. 1998.

PASTOR, J., DEWEY, B., NAIMAN, R. J., MCINNES, P. F., COHEN, Y. Moose browsing and soil fertility in the boreal forests of Isle Royale National Park. **Ecology** 74:467-480. 1993.

PASTOR, J., GARDNER, R. H., DALE, V. H., POST, W. M. Successional changes in nitrogen availability as a potential factor contributing to spruce declines in boreal North America. **Canadian Journal of Forest Research** 17:1394- 1400. 1987.

PINHEIRO, J. C., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D. Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-122. <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>. 2015

PRICE, P. W., LEWINSOHN, T.M., FERNANDES, G. H., BENSON, W. Plant-animal interactions: Evolutionary ecology in tropical and temperate regions. **Wiley**, pp. 273-287. New York, New York. 1991.

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. 2014.

READ, D.J. Mycorrhizas in ecosystems. **Experientia** 47: 376e391. 1991.

ROCHA-MENDES, F., NEVES, C. L., NOBRE, R. D. A., MARQUES, R. M., BIANCONI, G. V., GALETTI, M. Non-volant mammals from Núcleo Santa Virgínia, Serra do Mar State Park, São Paulo, Brazil. **Biota Neotropica** 15. 2015.

RUESS, R. W. Nutrient movement and grazing: experimental effects of clipping and nitrogen source on nutrient uptake in *Kyllinga nervosa*. **Oikos** 43: 183-188. 1984.

SECHREST, W., BROOKS, T. M., FONSECA, G. A. B., KONSTANT, W. R.,

MITTERMEIER, R. A., PURVIS, A., RYLANDS, A. B., GITTLEMAN, J. L. Hotspots and the conservation of evolutionary history. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA** 99: 2067-2071. 2002.

SIROTNAK, J. M., HUNTLY, N. J. Direct and indirect effects of herbivores on nitrogen dynamics: voles in riparian areas. **Ecology**, v. 81, n. 1, p. 78-87, 2000.

SMITH, S.E., READ, D.J. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Edition. **Academic Press**, London, UK. 800 pp. 2008.

SMYTHE, N. Seed survival in the palm *Astrocaryum standleyanum*: evidence for dependence upon its seed dispersers. **Biotropica** 21:50-56. 1989.

SOBRAL, M., SILVIUS, K.M., OVERMAN, H., OLIVEIRA, L.F.B., RAAB, T.K., FRAGOSO, J.M.V. Mammal diversity influences the carbon cycle through trophic interactions in the Amazon. **Nature Ecology & Evolution**. 2017.

STARK, S., WARDLE, D. A., OHTONEN, R., HELLE, T., YEATES, G. W. The effect of reindeer grazing on decomposition, mineralization and soil biota in a dry oligotrophic Scots pine forest. – **Oikos** 90: 301–310. 2000.

STEVENSON, P. R., GUZMAN-CARO, D. C. Nutrient transport within and between habitats through seed dispersal processes by woolly monkeys in north-western Amazonia. **Am. J. Primatol.** 72, 992–1003. 2010.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A., MARTIN, F.M., SELOSSE, M-A., SANDERS, I.R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present and the future. **New Phytologist** 205: 1406-1423. 2015.

VIERHEILIG, H., GOUGHLAN, A.P., WYSS, U., PICHÉ, Y. Ink and Vinegar, a simple staining technique for arbuscular - mucorhizal fungi. **Appl. Environ. Microbiology** 64:5004-5007. 1998.

VILLAR, N., SIQUEIRA, T, ZIPPARRO, V, FARAH, F, SCHMAEDECKE, G., HORRTENCI, L., BROCARD, C. R., JORDANO, P, GALETTI, M. The cryptic regulation of diversity by functionally complementary large tropical forest herbivores. **Journal of Ecology** .56 e 64. 2019.

VITOUSEK, P.M. Ciclagem e limitação de nutrientes: Havaí como sistema modelo. Princeton: **Princeton University Press**. 223. 2004.

WOLF A, DOUGHTY C.E., MALHI Y. Lateral Diffusion of Nutrients by Mammalian Herbivores in Terrestrial Ecosystems. **PLoS ONE** 8(8): e71352. 2013.

WRIGHT, S. J., & DUBER, H. C. Poachers and Forest Fragmentation Alter Seed Dispersal, Seed Survival, and Seedling Recruitment in the Palm *Attalea butyraceae*, with Implications for Tropical Tree Diversity1. **Biotropica**, 33(4), 583–595. 2001.

WRIGHT, S. J., ZEBALLOS, H., DOMÍNGUEZ, I., GALLARDO, M. M., MORENO, M. C., IBÁÑEZ, R. Poachers Alter Mammal Abundance, Seed Dispersal, and Seed Predation in a Neotropical Forest. **Conservation Biology**, 14(1), 227–239. 2000.

Frase da epígrafe: WILSON, E. O, trecho de “Letters to a Young Scientist”. What it takes. Liveright Publishing Corporation. Versão 1. p.80. 2013.

Cientes:

Dr. Mauro Galetti Rodrigues
Orientador

Dra. Claudia Pandolfo Paz
Co-orientadora

Leticia Bulascoschi Cagnoni
Graduanda