

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

GABRIELA BRITO CÂNDIDO DO NASCIMENTO

**EFEITOS DE FORMIGAS CORTADEIRAS NAS
CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES EM SOLOS DA
CAATINGA DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU**

**RECIFE
2023**

GABRIELA BRITO CÂNDIDO DO NASCIMENTO

**EFEITOS DE FORMIGAS CORTADEIRAS NAS
CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES EM SOLOS DA
CAATINGA DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador(a): Prof^a Dr^a INARA LEAL.

Co-orientador(a): D^a Dr^a FERNANDA M. P. OLIVEIRA.

**RECIFE
2023**

GABRIELA BRITO CÂNDIDO DO NASCIMENTO

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Do Nascimento, Gabriela Brito Cândido.

Efeitos de formigas cortadeiras nas concentrações de nutrientes em solos da Caatinga do Parque Nacional do Catimbau / Gabriela Brito Cândido Do Nascimento. - Recife, 2023.

56 : il., tab.

Orientador(a): Inara Roberta Leal

Cooorientador(a): Fernanda Maria Pereira De Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências Ambientais - Bacharelado, 2023.

1. Ecologia. 2. Interação Planta-Animal. 3. Caatinga. 4. Concentração de Nutrientes. 5. Formiga Cortadeira 'Atta opaciceps'. I. Leal, Inara Roberta. (Orientação). II. De Oliveira, Fernanda Maria Pereira. (Coorientação). III. Título.

GABRIELA BRITO CÂNDIDO DO NASCIMENTO

**EFEITOS DE FORMIGAS CORTADEIRAS NAS
CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES EM SOLOS DA
CAATINGA DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação
do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase
em Ciências Ambientais, da Universidade Federal de
Pernambuco, como parte dos requisitos à obtenção do grau
de Bacharel em Ciências Biológicas.

Data de Aprovação: ____ / ____ / ____

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente
INARA ROBERTA LEAL
Data: 26/05/2023 14:56:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. INARA ROBERTA LEAL (Orientadora)
Departamento de Botânica – UFPE



Documento assinado digitalmente
ISABELLE LEITE DE HOLANDA SILVA
Data: 04/05/2023 12:10:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. ISABELLE HOLANDA. (1º Titular)
Departamento de Botânica – UFPE



Documento assinado digitalmente
JONATAS LEVI GOMES DA SILVA
Data: 04/05/2023 13:27:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. JONATAS LEVI. (2º Titular)
Departamento de Botânica – UFPE



Documento assinado digitalmente
RONALD NOUTCHEU
Data: 04/05/2023 12:49:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. RONALD NOUTCHEU. (Suplente)
Departamento de Botânica - UFPE

RECIFE
2023

DEDICATÓRIA

Dedico essa minha escrita acadêmica ao meu Pai Evandro Cândido, por me impulsionar para o melhor sempre. Dedico também essa escrita acadêmica a minha Mãe, Maria José de Brito e por toda relação familiar na qual ela trouxe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dá a inspiração à vida e ao mestre Jesus por não me deixar fraquejar. Agradeço a minha querida e amada Mãe, Maria José de Brito, por estar ao meu lado me proporcionando a força necessária no meu cotidiano, através de suas palavras, sorrisos e seu abraço apertado. Agradeço aos meus pais por me ensinarem a estar ao lado da humildade, sempre. Agradeço a vovó Ivanize e a vó Beth por estarem comigo nos meus primeiros ensinamentos. Agradeço aos meus. Agradeço as minhas queridas primas e amigas Marta Dornelas Braga e Marcia Dornelas Braga por me presentear com livros tão magníficos e cheios de significados, sendo eles o livro artesanal ‘A menina das matas (você tem medo de Cumade Fulorzinha?)’, e o livro ‘Pedologia – Base Para Distinção de Ambientes o estudo do Solo’. Sou grata às duas!

Agradeço a Inara Leal pela orientação, por transmitir toda a potencialidade das formigas cortadeiras. Agradeço também a Fernanda Oliveira pela co-orientação e pelos desafios em campo. Agradeço também ao laboratório LIPA e aos colegas de campo e de laboratório pelo aprendizado. Agradeço ao Pedro pela paciência no laboratório; Ao Ronald por me confiar as triagens de sementes. Agradeço a David, Adrielle, Haymée, Jonatas e Isabelle pelos ensinamentos em campo. Principalmente a Ivanice Francisca por ter me ensinando tanto em tão pouco tempo. Agradeço aos conhecimentos vividos e compartilhados. Agradeço também a Clara Assis por ter sido uma anja dentro dessa UFPE e agradeço também aos amigos de sala de aula pelas risadas e motivações durante essa caminhada. Agradeço aos amigos de Porto de Galinhas e da EcoAssociados e a todo o aprendizado conquistado e laços formados. Agradeço ao Natanael e aos amigos de São Paulo. Agradeço as oportunidades acadêmicas e agradeço a UFPE.

E claro, agradeço a minha existência neste Planeta Terra.

EPIGRAFE

*Estar na Caatinga é me deparar com diferentes aliados que
nem eu mesma sabia que existiam.
Gabriela B. C.
Nascimento*

RESUMO

As Caatingas de geomorfologia sedimentar representam áreas de importância biológica da Caatinga por ser um ambiente com alto endemismo, muito preservadas, mas vulneráveis devido aos solos pobres. Ainda, é nesse ambiente que ocorrem altas densidades de formigas cortadeiras, devido aos solos serem propícios para o estabelecimento dos seus ninhos. As formigas cortadeiras *Atta opaciceps*, espécie endêmica da Caatinga, são herbívoros importantes e alteram propriedades físico-químicas nas áreas onde o ninho se estabelece sendo consideradas engenheiras do ecossistema. Devido a construção e manutenção dos seus ninhos gigantesco, elas trazem para a superfície solo mineral, enquanto levam material orgânico coletado para o cultivo dos fungos simbiotes para grandes profundidades, modificando os horizontes edáficos. O objetivo deste estudo foi quantificar o efeito das formigas cortadeiras nas concentrações de nutrientes dos solos em uma área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Para tanto, foram analisadas as concentrações de quinze elementos: Gálio (Ga), Manganês (Mn), Magnésio (Mg), Potássio, Ferro (Fe), Cálcio (Ca), Carbono (C), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Titânio (Ti), Silício (Si), Alumínio (Al), além da relação C/N, em nove ninhos de *Atta opaciceps* analisados em diferentes profundidades (10 cm, 50 cm, 1 m, 1,5 m e 2 m) e em diferentes distâncias (0 m, 5 m e 10 m) dos ninhos. Observamos que determinados elementos foram vistos em concentrações significativamente maiores no solo dos formigueiros em determinadas profundidades, tais como Manganês (Mn), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Cálcio (Ca), Gálio (Ga) e Alumínio (Al). Para os nutrientes Mg, Mn e K, estes se mostraram significativamente maiores nos primeiros 10 cm. O nutriente Ca foi significativamente maior em 10 cm, 50 cm, 1,5 m e 2 m. O elemento Ga foi significativamente maior em todos os níveis de profundidades. Já o elemento Al, este foi observado apenas significativamente maior na profundidade de 2 metros. Nossos resultados indicam que a formiga cortadeira *Atta opaciceps* podem alterar a concentração de nutrientes na área dos seus ninhos, e até mesmo indicar que ninhos de *Atta opaciceps* diminuam as concentrações de Alumínio, o qual é tóxico para as plantas, favorecendo o recrutamento de plântulas.

Palavras-chaves: *Atta opaciceps*, Caatinga, Estoques de nutrientes, Solo

ABSTRACT

The Caatingas of sedimentary geomorphology represent areas of biological importance of the Caatinga because they are an environment with high endemism, very preserved, but due to poor soils. Also, it is in this environment that high densities of leaf-cutting ants occur, due to the soil being inspired for the establishment of their nests. The leaf-cutting ants *Atta opaciceps*, an endemic species of the Caatinga, are important herbivores and alter physicochemical properties in the areas where the nest is established, being believed to be engineers of the ecosystem. Due to the construction and maintenance of their gigantic nests, they bring mineral soil to the surface, while taking organic material collected for the cultivation of symbiotic fungi to great depths, modifying the edaphic horizons. The aim of this study was to quantify the effect of leaf-cutting ants on soil nutrient concentrations in an area of Caatinga in the Catimbau National Park, Pernambuco. For this purpose, concentrations of fifteen elements were carried out: Gallium (Ga), Manganese (Mn), Magnesium (Mg), Potassium, Iron (Fe), Calcium (Ca), Carbon (C), Nitrogen (N), Phosphorus (P), Zinc (Zn), Lead (Pb), Titanium (Ti), Silicon (Si), Aluminum (Al), in addition to the C/N ratio, in nine *Atta opaciceps* nests analyzed at different depths (10 cm, 50 cm, 1 m, 1.5 m and 2 m) and at different distances (0 m, 5 m and 10 m) from the nests. We observed that certain elements were seen in significantly higher concentrations in the anthill soil at certain depths, such as Manganese (Mn), Magnesium (Mg), Potassium (K) and Calcium (Ca), Gallium (Ga) and Aluminum (Al). For the nutrients Mg, Mn and K, they were significantly higher in the first 10 cm. Nutrient Ca was significantly higher at 10 cm, 50 cm, 1.5 m and 2 m. The Ga element was significantly higher at all depth levels. As for the element Al, it was observed only significantly higher at a depth of 2 meters. Our results indicate that the leaf-cutting ant *Atta opaciceps* can change the concentration of nutrients in the area of its nests, and even indicate that *Atta opaciceps* nests decrease the concentrations of aluminum, which is toxic to plants, favoring the recruitment of seedlings.

Key-words: *Atta opaciceps*, Caatinga, Nutrient stores, Soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho esquemático de um perfil de saueiro. A) Superfície do solo com terra solta; B) Olheiro. C) Galerias e suas extensões. D) Primeira câmara do ninho; E) Panela cheia de Terra; F) Câmara de fungo	19
Figura 2 - Estrutura interna da colônia <i>Atta opaciceps</i> com suas galerias e a câmeras. Em evidencia câmaras de cultivo fúngico que se encontra afastada das demais câmaras, evitando assim a contaminação do fungo	20
Figura 3 - Localização do Parque Nacional do Catimbau	31
Figura 4 - Distribuição da <i>Atta opaciceps</i> na região do Nordeste, indicando sua predominância na região	32
Figura 5 - Espécimes de formigas da espécie <i>Atta opaciceps</i> (Borgmeier, 1939), da ordem Hymenoptera e família Formicidae. 1A -Cabeça em postura frontal; 1B -Abdomem em postura latero-dorsal; 1C -Corpo em postura lateral; 1D - Cabeça em vista polar; 1E - Corpo em vista dorsal	34
Figura 6 - Gráficos das concentrações de nutrientes referentes às diferentes profundidades em solos de ninhos <i>Atta opaciceps</i> no Parque Nacional do Catimbau. Letras diferentes sobre a barra dos gráficos representam diferenças significativas comparativas. (A) Potássio em distintas profundidades, (B) Manganês em distintas profundidades, (C) Cálcio em distintas profundidades, (D) Alumínio em distintas profundidades (E) Magnésio em distintas profundidades. Letras diferentes sobre a barra dos gráficos representam diferenças significativas.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais funções dos nutrientes diagnosticados nos solos de formigueiros do PARNA Catimbau ...	12
Tabela 2 - Resultados das concentrações dos nutrientes do solo sobre as diferentes profundidades da camada de solos de ninhos de formigas cortadeiras <i>Atta opaciceps</i> (10cm, 50cm, 1m, 1.5m e 2m) no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Os valores em negritos representam alta concentração do elemento.....	35
Tabela 3 - Resultados da análise das concentrações dos nutrientes sobre as diferentes distâncias do solo (10cm, 50cm, 1m, 1.5m e 2m no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.....	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 O PAPEL DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE OS DIFERENTES PROCESSOS ECOLÓGICOS.....	12
2.2 FORMIGAS CORTADEIRAS MODIFICANDO O SOLO E CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES.....	16
2.3 CONSEQUÊNCIAS DAS MODIFICAÇÕES DO SOLO PARA A COMUNIDADE DE PLANTAS E GERMINAÇÃO	20
2.4 FORMIGAS CORTADEIRAS DA CAATINGA E IMPLICAÇÕES PARA À REGENERAÇÃO	22
3. OBJETIVOS.....	24
4. METODOLOGIA.....	25
4.1 ÁREA DE ESTUDO	25
4.2 DESENHO EXPERIMENTAL	28
4.3 COLETA DE DADOS	29
4.4 ANÁLISE DE DADOS	30
5. RESULTADOS	30
6. DISCUSSÃO.....	33
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
8. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

A região do semiárido tende a exibir uma variabilidade ambiental de amplo aspecto, principalmente aos materiais geológicos de origem e também ao relevo. Então em função dessas variabilidades, se destaca expressivas diferenças de solos nos ambientes que compõem a superfície ocupada pela Caatinga (DE ARAÚJO FILHO, 2011). É neste ambiente brasileiro que se registram os maiores índices de degradação relacionada à diminuição da vegetação para prática da agricultura de subsistência e isto pode interferir na ciclagem de nutrientes (HOLANDA *et al.*, 2017).

A Caatinga está principalmente exposta às perturbações antrópicas crônicas (MARTORELL & PETERS, 2005; PENNINGTON, 2009; KORTZ, 2012), e então formigas cortadeiras tendem a se proliferar nos ambientes em áreas perturbados da Caatinga (SIQUEIRA *et al.*, 2017; SIQUEIRA *et al.*, 2018; SILVA, 2021).

A Caatinga é o principal representante de Floresta Tropical Sazonalmente Seca no Brasil e tem alta diversidade biológica para os padrões de clima semiárido (LEAL *et al.*, 2005), compõe a região que possui a classificação da vegetação como Caatinga arbóreo-arbustiva, hiper xerófila com características próprias (SANTANA; SOUTO, 2011). E sua biota possui grande diversidade de espécies e elevada incidência de endemismo (FORZZA *et al.*, 2012. VALBRUN, 2018). Sendo a formiga cortadeira *Atta opaciceps* espécie endêmica da Caatinga (MARICONI, 1970; LEAL *et al.*, 2017b).

O estudo que foi realizado no Parque Nacional do Catimbau, que tem sua formação geológica inserida na Bacia Sedimentar Tucano Jatobá (RUFINO *et al.*, 2008; FILHO *et al.*, 2008; SERAFIM-FILHO *et al.*, 2021) e localizado no semiárido (DE ARAUJO FILHO, 2011). Além disso, o solo em sua formação é o resultado de ações combinadas do material de origem – este referente a geologia, além de ações combinadas ao clima, ao relevo e também a ação de organismos e do tempo (DE ARAÚJO FILHO, 2011).

A qualidade do solo tem sua definição como a capacidade do solo funcionar, dentro dos limites de determinado ecossistema (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009; MORAIS, 2019). Então, quanto aos solos do Parque, esses solos são de essência arenoquartzosos e suas limitações conferem baixa capacidade de armazenamento de água e de nutrientes (ARAÚJO FILHO, 2011). Por isso, é de relevância estudos referentes as ações que são capazes de alterar a composição químico-física do solo. Por exemplo, herbívoros dominantes da Caatinga, tal como formigas cortadeiras. Para tanto, sugerimos a hipótese de que solos mais superficiais estão relacionados a maior quantidade de nutrientes. Pois, de acordo com VALBRUN (2018), em consequência do acúmulo de matéria orgânica na lixeira, o solo passa a abranger quantidades maiores de dois importantes elementos até então não existentes no material de origem do solo, que são o Carbono

(Ca) e Nitrogênio (N). Então, todas essas mudanças no solo podem afetar a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, o estabelecimento de plantas (WIRTH *et al.*, 2003, LEAL *et al.*, 2014), o que pode ter conseqüências diretas na capacidade de regeneração da vegetação. Além disso, os nutrientes presentes em solos são importantes para a manutenção da vida biológica e fatores importantes que determinam a riqueza de um determinado solo. Pois, conforme BARROS (*et al.*, 2005), a fertilidade natural do solo quando é, em geral baixa, os nutrientes passam a ser os principais fatores limitantes para o desenvolvimento da vegetação. Então, investigar fatores que repõem nutrientes ao solo é um fator crucial.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O PAPEL DAS FORMIGAS CORTADEIRAS SOBRE OS DIFERENTES PROCESSOS ECOLÓGICOS

As classes dos solos foram originadas por ações de formação, ou seja, a geologia, clima, relevo, seres vivos e o tempo. E isso faz com que exista grande variação na composição dos solos em termos de profundidade, cor, textura, estrutura, consistência, drenagem, pedregosidade e fertilidade natural (EMBRAPA, 2013; MACHADO, 2014). Há também o aspecto relacionado ao gradiente de maturidade do solo, isto é, variação de solos com predomínio de rocha e cascalho, que são referentes aos solos mais jovens e em formação; ao gradiente de solos arenosos que são escuros e com maior quantidade de serapilheira, estes referentes a solos mais estruturados e maduros (SILVA *et al.*, 2018). É nesse contexto que houve a investigação de formigueiros em áreas da Caatinga. Pois, formigas cortadeiras tendem a revolver o solo em diferentes escalas, ofertando processos ecológicos ao solo.

Em relação aos solos do Parque Nacional do Catimbau, esses possuem características particulares devido as formações rochosas (MARINHO, 2014). Esses aspectos pedológicos do Parque, é classificado como Neossolo Quartzarênico (SERAFFIM-FILHO *et al.*, 2021), ocupando 71% da área do Parque Nacional do Catimbau (MACHADO, 2014). Este, por sua vez, são solos de essência arenoquartzosos, com drenagem acentuada a excessiva. E suas limitações são a baixa capacidade de armazenamento de água e de nutrientes (ARAÚJO FILHO, 2011). Há também registro para a ocorrência dos Planossolos, ocupando 23% da área do Parque Nacional do Catimbau. Esta classe (planossolos) se caracteriza por apresentar uma camada superior de qualidade leve e permeável, mudando para uma camada subsuperficial quase impermeável e compacta (MACHADO, 2014). A Bacia do Tucano-Jatobá é uma área sedimentar e encontra-se no ambiente semiárido, no Parque Nacional do Catimbau, e apresenta distintas feições geomórficas, incluindo áreas com relevo movimentado nas encostas e isto resulta em grãos

sedimentares (DE ARAÚJO FILHO, 2011). Além disso, as condições físicas dos solos do Parque, como a ausência de pedregosidade que são características favoráveis à penetração das raízes, que é uma característica desse solo (SANTOS *et al.*, 2006; MACHADO, 2014; DE ARAÚJO FILHO, 2011).

Ninhos de determinadas formigas podem ser locais mais propícios para que ocorra o crescimento das plantas do que quando comparado aos locais sem ninhos, apresentando características favoráveis às plantas, como a maior fertilidade do solo (ALMEIDA & QUEIROZ, 2015). Sendo esse o aspecto investigado: se a formiga cortadeira *Atta opaciceps* está no grupo de organismos que alteram a concentração de nutrientes do solo no ambiente da Caatinga. Pois, conforme GUERRA (*et al.*, 2007), as saúvas participam da acumulação da matéria orgânica no solo devido suas câmaras de descarte, e ao cortarem material vegetal e o transportarem para o interior de suas colônias vão proporcionar o acúmulo do material proveniente do processamento do fungo simbionte, tornando-se fonte de nutrientes. Então, esse movimento das partículas do solo realizado pelas formigas é o processo denominado de bioturbação e pode afetar as características do solo, isto é, sua textura e distribuição dos nutrientes (ALMEIDA & QUEIROZ, 2015).

As atividades de bioturbação e de forrageamento são duas das muitas maneiras que as formigas afetam as características do solo nos ninhos e em seu entorno (ALMEIDA & QUEIROZ, 2015). As formigas que constroem seus ninhos no solo alteram suas características ao revolvê-lo e ao levar material orgânico para o formigueiro (ALMEIDA *et al.*, 2012; ALMEIDA & QUEIROZ, 2015), são outras formas de influência das formigas ao solo. Então, os solos em que estão presentes ninhos de formigas cortadeiras podem apresentar pouca resistência à penetração de água e maiores concentrações de alguns nutrientes disponíveis para a planta que são o Cálcio, Magnésio, Potássio e Nitrato (MOUTINHO *et al.*, 2003).

Formigas cortadeiras possuem interação com diversos grupos de organismos e são capazes de desempenhar importantes funções nos processos ecológicos, tais como dispersão de sementes, predação e herbivoria (MELO *et al.*, 2009). Formigas cortadeiras pertencentes principalmente do gênero *Atta* e *Acromyrmex* são capazes de movimentar grandes montes de solo para a superfície (JONKMAN, 2009; MOREIRA *et al.*, 2004b). Os ninhos das formigas cortadeiras têm a característica de serem dinâmicos, de modo a mover-se e expandir-se em respostas aos fatores abióticos que são capazes de gerar perturbações na colônia, como exemplo chuvas fortes e outras circunstâncias estressantes ao ninho (VAN GILS & VANDERWOUDE, 2012). Ou seja, ao mesmo tempo que fatores externos modificam ninhos, essas colônias também são capazes de influenciar o ambiente no qual foram construídos. Conforme MOUTINHO *et al.* (2003), ocorre

também o revolvimento e mistura do solo durante a escavação dos ninhos e incorporação da matéria orgânica utilizada. Este processo leva a redução da densidade do solo, aumentando a porosidade e drenagem do solo; leva também ao aumento do teor de matéria orgânica que favorece o desenvolvimento das plântulas (MELO *et al.*, 2009).

As extensivas câmaras e redes de galerias são responsáveis pelo aumento da porosidade do solo, aeração, infiltração e drenagem de água (CHERRET, 1889; LEAL *et al.*, 2014). Com a deposição frequente do solo mineral até a superfície do ninho realizado pelo trabalho incessante das formigas operárias, ocorre a formação de um novo horizonte edáfico (MEYER *et al.*, 2013; LEAL, *et al.*, 2014). Apesar dessas atividades de formigas cortadeiras perturbar o solo ao redor do ninho (FARJI-BRENER & WERENKRAUT, 2014), essas extensas estruturas dos ninhos decolônias de *Atta* são tidas como importante relevância devido os grandes horizontes de solo que são movimentados e também pela pedoturbação. Esses locais são ambientes ricos em nutrientes e essa característica favorece o crescimento e colonização das plantas (FOWLER *et al.*, 1989). Dessa forma, ninhos abandonados pelas formigas cortadeiras terá uma provável função de fornecer solo melhorado, isto é, rico em nutrientes (FARJI-BRENER & ILLES 2000; BIEBER 2011).

As atividades das formigas cortadeiras também está relacionada com as mudanças na composição de espécies vegetativas e produtividade do ecossistema (SWANSON, 2019). Pois as formigas cortadeiras selecionam diferentes fragmentos de vegetações para utilização de substrato para o cultivo fúngico, sendo os parâmetros químicos e físicos da vegetação capazes de influenciar a aceitação das formigas por determinados tipos de plantas (BUCHER, 1987), por isto que os efeitos negativos tendem a ser mais comuns, principalmente em casos de plantas preferidas pelas formigas cortadeiras (LEAL *et al.*, 2012). E muito provavelmente essa coleta demasiada acontece assim que já identificam o material de caráter mais propício para o cultivo fúngico, proporcionando alta herbivoria.

Há relatos, de que após sofrer herbivoria, as plantas podem se beneficiar desse efeito de herbivoria aumentando sua aptidão ou induzindo defesas contra herbívoros logo após a desfolha (FARJI-BRENER & TADEY, 2017; SWANSON, 2019). Independentemente das variações mencionadas, essa demasiada quantidade de material vegetal coletada através de um emaranhado sistema de trilhas de forrageamento, onde toda a serrapilheira é removida pelas formigas (WIRTH *et al.*, 1997, 2003; URBAS *et al.*, 2007; LEAL *et al.*, 2012). Dessa forma, é possível visualizar que diferentes processos ecológicos também estejam entrelaçados à herbivoria com a remoção da serrapilheira em trilhas de forrageio, deixando o solo exposto.

2.2 FORMIGAS CORTADEIRAS MODIFICANDO O SOLO E CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES

O solo é visto como um ecossistema complexo e que é naturalmente organizado através do fator resultante das interações de clima, relevo, organismos e também o material orgânico; sua composição abriga vários micro-organismos (PRADE, 2007; DE SOUZA, 2013). O solo possui determinadas e importantes funções sobre a atuação na riqueza e nutrição das espécies vegetativas. Pois, conforme MORAIS (*et al.*, 2019), a Qualidade do Solo é definida como a capacidade que este possui em exercer suas funções na natureza, por exemplo, funciona como meio para o crescimento das plantas; o solo é um sistema complexo, heterogêneo e dinâmico. É o resultado da interação entre o vegetal, mineral e também microrganismos.

A ciclagem de nutrientes vem sendo estudada em ecossistemas florestais para que seja possível diagnosticar com maior precisão sobre a dinâmica dos nutrientes nesses ambientes (LOPES *et al.*, 2017). Por meio de estudos sobre ciclagem de nutrientes em florestas que sofreram antropização, é possível compreender sobre as espécies faunísticas que possuem maior ou menor capacidade de ciclagem de nutrientes e o seu potencial para recuperação dessas áreas uma vez degradadas (SANTANA; SOUTO, 2011), principalmente em relação a Caatinga, que possui grande impacto antrópico.

Para a melhor compreensão deste estudo, é necessário entender que nutrientes essenciais são os quais a planta não pode viver sem, sendo eles: Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Potássio (K), Fósforo (P), Enxofre (S), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Boro (B), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Molibdênio (Mo) e Cloro (Cl) (DONAHUE, 1990; RESENDE *et al.*, 2014). E o Alumínio (Al) sendo considerado um elemento tóxico para a planta (MIGUEL *et al.*, 2010; PEDROTTI *et al.*, 2003). Devido a esses fatores, tanto a qualidade quanto a quantidade de depósitos de material orgânico são fatores necessários para o melhoramento da fertilidade do solo (FARJI-BRENER & TADEY, 2009). Possuindo maior disponibilidade de nutrientes resultantes da acumulação desses materiais uma vez cortados para o cultivo do jardim de fungo (STERNBERG *et al.*, 2007; BIEBER, 2011).

Abaixo é possível observar a tabela em que relaciona a funcionalidade dos nutrientes nas plantas, estes por sua vez, averiguados no presente estudo. Então, houve o diagnóstico de determinados nutrientes no solo, podendo esse solo de formigueiro ser possivelmente visto como ricos em concentrações de nutrientes.

Tabela1: Principais funções dos nutrientes ao ser absorvido pela vegetação.

NUTRIENTE	FUNCIONALIDADE
Cálcio (Ca)	Macronutriente; Desenvolvimento de plantas (PEREIRA <i>et al.</i> , 2020).
Potássio (K),	Macronutriente; Desenvolvimento iniciais de brotos vegetativos (INOCÊNCIO, 2014);
Manganês (Mn),	Micronutriente. Relaciona-se na ativação de 35enzimas (HEBBERN <i>et al.</i> , 2009); Co-fator estimulante envolvido na captação de luz (ROSSI, 2012);
Magnésio (Mg)	Macronutriente; Promove a expressão de genes anaeróbicos; Desenvolvimento de plantas (PEREIRA <i>et al.</i> , 2020);
Gálio (Ga)	Indicativo da presença de Ferro e Manganês no solo (KABATA-PENDIAS & MUKJERJE, 2007).
Alumínio (Al)	Fitotóxico; Contribui para a formação da matriz do solo (LABANCA, 2019).

Em relação as formigas cortadeiras, essas são consideradas engenheiras de ecossistema, sendo capazes de fazer alterações na estrutura e reservas de nutrientes do solo, criando heterogeneidade espacial na dinâmica de raízes e fungos micorrizos (SWANSON, 2017), exercendo então modificações ao solo. Outro efeito que ocorre durante a construção e manutenção dos ninhos, é quando acontece a alteração da estrutura física natural do solo e a distribuição espacial de nutrientes durante a vida da colônia (FOWLER *et al.*, 1989; GARRETTSON *et al.*, 1998, Leal *et al.*, 2014). Pois, esses organismos podem mover mais de 40 toneladas de solo em suas colônias através do revolvimento das diferentes camadas dos horizontesedáficos, depositando assim grande quantidade de solo mineral na superfície (MOREIRA *et al.*, 2004a; MEYER *et al.*, 2013). Expandindo constantemente seus ninhos.

O revolvimento do solo através das atividades desempenhadas pelos ninhos colossais das formigas cortadeiras *Atta opaciceps* pode proporcionar efeitos positivos. Pois, de acordo com SWANSON (2017), colônias de formigas cortadeiras são tidas como *hotspots* de nutrientes. E isto está relacionado ao fato do acúmulo de grande quantidade de resíduos orgânicos resultantes do material vegetal não utilizado para o cultivo do fungo que são depositados fora do ninho, nas lixeiras externas (FARJI-BRENER & MEDINA, 2000). E isto pode resultar em impacto no solo

devido a engenharia de ecossistema exercida pelas formigas cortadeiras, que é tido como o principal efeito devido a construção e manutenção de seus ninhos (LEAL *et al.*, 2014).

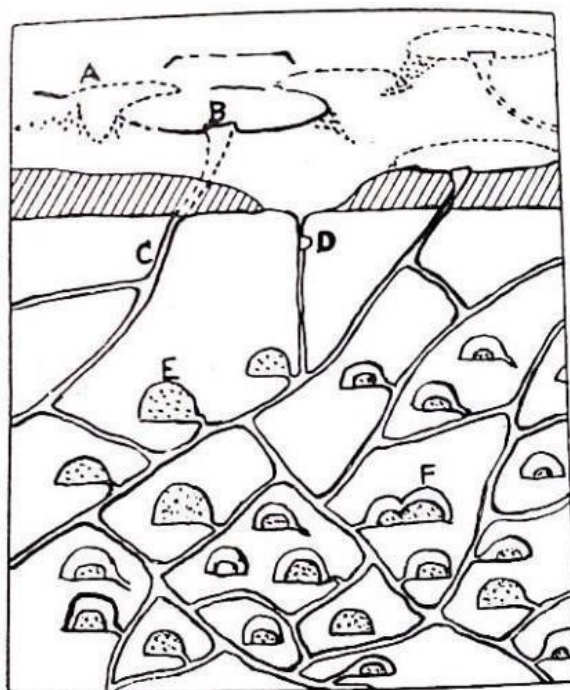
Os horizontes edáficos são alterados conforme a construção do ninho e expansão das redes de câmeras, já que o processo de escavação transforma os perfis de solo e modifica a aeração e os nutrientes do solo (LAL, 1988; MOUTINHO *et al.*, 2003, SWANSON *et al.*, 2019). Portanto, essa escavação realizada pelas formigas cortadeiras, mistura a camada orgânica com o solo relativamente pobre em nutrientes, escavando em horizontes de solos mais profundos (SWANSON *et al.*, 2019).

E este revolvimento do solo, em muitos casos pode ser observado ao redor do ninho com a terra solta em diferentes colorações, isto é, solos provenientes de diferentes horizontes edáficos. Logo, essa escavação do solo, de acordo com SWANSON (*et al.*, 2019), pode ser visto como mudanças alterando também a densidade, aeração e retenção de água do solo. E isto ocorre pela construção e manutenção dos ninhos que são capazes de alterar a estrutura física e distribuição de nutrientes no solo durante e depois da vida da colônia (BIEBER *et al.*, 2011), em adição, é também através das extensas redes de galerias e câmeras na escala do ninho que aumentam a porosidade, aeração, infiltração de água e drenagem do solo (CHERRETT 1989; LEAL *et al.*, 2014). Portanto, essa contínua deposição do solo mineral para a superfície do ninho realizado pelas formigas cortadeiras faz com que ocorra a inversão da camada do solo, podendo produzir um novo horizonte edáfico (LEAL *et al.*, 2014) e muito provavelmente este novo horizonte edáfico será potencialmente rico em nutrientes.

Em uma rede complexa de câmeras interligadas por galerias internas, consistem no local por onde as formigas se deslocam com o material vegetal cortado para o interior do ninho, e também para a superfície solta do solo (AUTUORI, 2010). Essas câmaras subterrâneas que são interligadas pelas galerias são denominadas por túneis de forrageamento e são construções subterrâneas utilizadas pelas saúvas como estratégia de forrageio, no qual essas ramificações interligadas formam grandes malhas semelhantes a uma rede (PRETTO, 1996; AUTUORI, 2010). Com frequente deposição das folhas em câmaras específicas, também denominadas de câmara de cultivo de fungo, o fungo tem sempre material orgânico para se renovar e se expandir (MARICONI, 1970). Além disso, formigas cortadeiras são capazes de promover impactos positivos sobre a estrutura química e física do solo e beneficiar a vegetação, favorecer seu crescimento. Pois, de acordo com CHERRETT (1968), MOUTINHO (*et al.*, 1993) e MOREIRA (2001), em áreas com ninhos o solo é menos resistente a penetração das raízes e a matéria orgânica muito provavelmente favorece um aumento na fertilidade do solo. Além disso, considerar a arquitetura dos túneis em colônias de espécies do gênero *Atta* é um aspecto bastante

importante, por ser o elo de ligação entre o exterior e o interior da colônia (MOREIRA, 2001), que pode ser observado na (fig.1 e 2).

Figura 1: Desenho esquemático de um perfil de saueiro. A) Superfície do solo com terra solta; B) Olheiro. C)Galerias e suas extensões. D) Primeira câmara do ninho; E) Panela cheia de Terra; F) Câmara de fungo.



Fonte: As saúvas (MARICONI, 1970) Adaptado.

Figura 2: Estrutura interna da colônia *Atta opaciceps* com suas galerias e a câmaras. Em evidência câmaras de cultivo fúngico que se encontra afastada das demais câmaras, evitando assim a contaminação do fungo.



Fonte: Acervo LIPA.

Então, de acordo com HAINES, 1975, as formigas cortadeiras despejam o lixo de forma pontual e por isso possui um impacto maior no padrão de ciclagem de nutrientes do que os demais herbívoros, que tendem a ser despejadores de lixo dispersos. Há também estudos que abordam outros efeitos benéficos provenientes das atividades das formigas cortadeiras, principalmente quando esses efeitos estão relacionados ao solo. Portanto, a distribuição de matéria orgânica e a abundância da biota do solo responsáveis pelas transformações são capazes de provocar efeitos importantes relacionados com a manutenção da vegetação em regiões do semiárido (SCHLESINGER *et al.*, 1990; FARJI-BRENNER, 2010). Então, muito provavelmente, colônias de formigas cortadeiras *Atta opaciceps* atuem de modo positivo em solos da Caatinga no qual estão inseridas.

2.3 CONSEQUÊNCIAS DAS MODIFICAÇÕES DO SOLO PARA A COMUNIDADE DE PLANTAS E GERMINAÇÃO

Atualmente é visto que no cenário da Caatinga que formigas cortadeiras comprometem a regeneração da vegetação (SILVA, 2021), visto que possuem amplo espectro alimentar. Na Caatinga esse efeito de herbivoria pode ocorrer de modo mais significativo, pois de acordo com SIQUEIRA (*et al.*, 2017) e LEAL (*et al.*, 2017), formiga cortadeira *Atta opaciceps* é uma das três espécies (*Atta laevigata*, *A. opaciceps* e *A. sexdens*) que se proliferam em áreas perturbadas da Caatinga. Principalmente as saúvas que possuem forrageamento coletivo, podendo ser uma vantagem para explorar recursos mais rapidamente do que outros ninhos, tendendo a utilizar essa estratégia para se tornar-se dominante (CHÂLINE *et al.*, 2017; CHÂLINE *et al.*, 2021).

As saúvas são importantes agentes para a acumulação da matéria orgânica no solo devido suas câmaras de descarte, pois ao cortarem material vegetal e o transportarem para o interior de suas colônias, esse material acumulado e proveniente do processamento do fungo simbionte, pode-se tornar fonte de nutrientes; sendo possível sua reabsorção pelas raízes das plantas por meio da ciclagem de nutrientes (GUERRA *et al.*, 2007). Solos que possuem ninhos de formigas cortadeiras apresentam maior facilidade à penetração de água e maiores concentrações de alguns nutrientes disponíveis para a planta que são o Calcio, Magnésio, Potássio (MOUTINHO *et al.*, 2003).

Conforme VALBRUN, 2018, em decorrência do acúmulo de matéria orgânica na lixeira, o solo passa a abranger quantidades maiores de dois importantes elementos até então não existentes no material de origem do solo, que são o Carbono (C) e Nitrogênio (N). Todas essas mudanças no solo podem afetar a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, o estabelecimento de

plantas (WIRTH *et al.*, 2003, LEAL *et al.*, 2014), o que pode ter consequências diretas na capacidade de regeneração da vegetação.

Apesar de conspicuo, é notável o efeito que as espécies de *Atta* exercem sobre as árvores através do corte de folhas e predação de mudas. Pois, é visto que através de um efeito potencialmente grande em altas taxas de herbivoria (FARJI-BRENER & ILLES, 2000; MOUTINHO *et al.*, 2003). Essa alta taxa de herbivoria resulta em um efeito pouco conhecido, que consiste na modificação do solo e que, por sua vez, altera as concentrações de nutrientes. E conforme SANTANA; SOUTO (2011), os estudos relacionados à taxa de produtividade e estudos direcionados para a ciclagem de nutrientes em florestas antropizadas, bem como também a quantidade de nutrientes que entram naturalmente no sistema solo-planta, possuem grande importância em atividades para a recuperação de áreas degradadas, bem como em iniciativas de reflorestamento em solos distróficos (SANTANA; SOUTO, 2011). Pois, muitas das vezes são os distúrbios antrópicos que promovem a proliferação de formigas cortadeiras em florestas secas, tal como a Caatinga (SIQUEIRA, 2017).

A tamanha herbivoria de *Atta opaciceps* muito provavelmente esteja influenciando em incrementações as concentrações de nutrientes no solo da Caatinga. Sendo considerada a relação mais comum e diversa em ecossistemas tropicais, são as interações mutualistas entre plantas e formigas (RICOGRAY & OLIVEIRA, 2007; OLIVEIRA, 2018), resultando na ciclagem de nutrientes (TERBORGH *et al.*, 2008, OLIVEIRA, 2018). Acontece que as plantas podem acessar e aproveitar as maiores concentrações dos nutrientes dentro dos ninhos (STERNBERG *et al.*, 2007; SWANSON *et al.*, 2019), através do enriquecimento de nutrientes dentro das colônias. E isto virá a influenciar o aumento do crescimento das plantas (FARJI-BRENER & WERENKRAUT, 2017; DE MOURA, 2020). Ocorre que o solo mineral com baixo teor de concentrações de nutrientes são movidas para a superfície do ninho durante a escavação (FARJI-BRENER & ILLES, 2000; MEYER *et al.*, 2013). Então, conforme SWANSON (*et al.*, 2019), as altas concentrações de nutrientes que estão associadas aos fungos e câmaras de lixo presentes nos ninhos de formigas cortadeiras, são capazes de intensificar o crescimento de raízes finas e hifas micorrizas das plantas associadas aos ninhos (SWANSON *et al.*, 2019). Podendo também as formigas cortadeiras facilitar a regeneração da floresta através do descarte de suas lixeiras nos arredores dos ninhos (FARJI-BRENER; TADEY, 2009; KNOECHELMANN, 2019).

A preferência por determinadas plantas e partes específicas das plantas aparenta estar relacionada as defesas aleloquímicas, fazendo com que as formigas evitem essas partes menos palatáveis (FORTI, 1985; PRETTO, 1996). E o entendimento dessa estratégia relacionadas às plantas da Caatinga é necessário para avaliar o papel da herbivoria nesses ambientes e como as

plantas vão responder aos ataques das formigas cortadeiras (LEAL *et al.*, 2017; SILVA, 2021). Então, como dito anteriormente, colônias de formigas cortadeiras podem estar relacionadas como uma das fontes mais relevantes de manchas de nutrientes do solo (FARJI-BRENER & ILLES 2000; FARJI-BRENER *et al.*, 2010). E isto acontece devido a característica das saúvas serem capazes de construir colônias de grandes proporções e com milhares de indivíduos e, para tanto, a manutenção dessa imensa população é necessária grandes quantidades de material vegetal cortados (MARICONI, 1970; PRETTO, 1960).

2.4 FORMIGAS CORTADEIRAS DA CAATINGA E IMPLICAÇÕES PARA A REGENERAÇÃO

A Caatinga é caracterizada pelo déficit hídrico acentuado, altas taxas de insolação, evapotranspiração reduzida e variável precipitação anual (SANTANA; SOUTO, 2011). Integra grande área do semiárido do Nordeste, sendo que parte dela é cortada anualmente para o plantio e produção de lenha, e isto leva a perdas de nutrientes (SAMPAIO *et al.*, 1998, HOLANDA *et al.*, 2017). E assim como a maioria das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas do mundo, está fortemente ameaçada por ações antrópicas, pois suportam grande parte da população pobre das zonas rurais em escala global (BLACKIE *et al.*, 2014). A Caatinga engloba a menor porção de extensão de área protegida dentre os biomas brasileiros (LEAL *et al.*, 2005). E, apesar desses fatores, a Caatinga detém grande diversidade em espécies e grande incidência da fauna endêmica (FORZZA *et al.*, 2012. VALBRUN, 2018), tal como a formiga cortadeira, *Atta opaciceps* na qual é espécie endêmica da Caatinga.

A regeneração é um processo constante na Caatinga e de acordo TABARELLI (*et al.*, 2017b), as perturbações agudas e crônicas transformam de forma contínua a vegetação da Caatinga em mosaicos de diferentes áreas em distintos estágios de regeneração. E este é o cenário ideal para as formigas cortadeiras se proliferarem, pois estas se sobressaem em áreas perturbadas de Caatinga, aumentando suas taxas de herbivoria (SIQUEIRA *et al.*, 2017; SIQUEIRA *et al.*, 2018; HOLANDA *et al.*, 2021). Há também estudos que indicam o efeito ocasionado em floresta tropical sazonalmente seca da Caatinga, em que colônias de formigas cortadeiras podem ser responsáveis pelo retardo na regeneração da floresta em áreas na qual sofreram perturbação aguda (KNOECHELMANN *et al.*, 2020; SANTOS, NETO, 2021).

Formigas cortadeiras tendem a se proliferar nas paisagens humano-modificada (WIRTH *et al.*, 2007; TABARELLI *et al.*, 2012a; LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2014). Conforme LEAL (*et al.*, 2014) e TABARELLI (*et al.*, 2017a), a herbivoria acaba se tornando um fator indutor dos múltiplos efeitos sobre indivíduos e populações de plantas, que de modo coletivo, alteram o

percurso de pequenos fragmentos de floresta. E isto ocorre principalmente devido à alta densidade de formigas cortadeiras junto com alto consumo foliar em áreas perturbadas da Caatinga, que são capazes de afetar de modo negativo a regeneração da vegetação (SIQUEIRA *et al.*, 2017, 2018, KNOECHELMANN *et al.*, 2020). É justamente as plantas pioneiras que são as mais palatáveis e bem quistas pelas formigas cortadeiras (FARJIBRENER 2001, FALCÃO *et al.*, 2011). Aliado também ao fato das formigas cortadeiras serem organismos conspícuos na Caatinga, contribuindo também pelo aumento de suas populações em áreas de perturbação antrópica (SIQUEIRA *et al.*, 2017; TABARELLI *et al.*, 2017a; SANTOS NETO, 2021).

Outro aspecto relacionados as implicações, é que as formigas cortadeiras abrem clareiras na vegetação (FARJI-BRENER e ILLES 2000; MEYER, 2008; CORRÊA *et al.*, 2010; LEAL *et al.*, 2012), devido a isto, essa atividade de herbivoria reduz bastante o sucesso reprodutivo das espécies de vegetação cortadas (BARBOSA, 2009; LEAL *et al.*, 2012), por exemplo, impedindo que os brotos atinjam outros estágios sucessionais (MEYER *et al.*, 2011). E esse aumento da abundância de herbívoros dominantes tem como causa a maior disponibilidade de alimentos na forma de plantas pioneiras que se proliferam em áreas de fragmentos, sendo estas as mais palatáveis (URBAS *et al.*, 2007; HOLANDA & LEAL).

Então, conforme BARBOSA (2009), LEAL (*et al.*, 2012), é possível perceber que a atividade de herbivoria provoca inúmeros efeitos, dentre eles, está na redução do sucesso reprodutivo das espécies cortadas. Pois, as formigas cortadeiras são capazes também modificar o recrutamento de espécies de plantas em áreas em que estão forrageando (CORRÊA, 2006; LEAL, 2012), abrindo pequenas clareiras no dossel das árvores que, por sua vez alteram a heterogeneidade da incidência de luz solar (WIRTH *et al.*, 2001, 2003; MEYER, 2008; CORRÊA *et al.*, 2010). Este cenário de pouca regeneração na Caatinga contribui para o aumento de densidade das colônias, pois conforme SIQUEIRA *et al.*, 2017, KNOECHELMANN, 2019 foi visto que formigas cortadeiras das três espécies que ocorrem na Caatinga, *A. laevigata*, *A. sexdens* inclusive a *Atta opaciceps*, espécie alvo deste estudo, aumentam a sua densidade de colônias em áreas mais perturbadas da Caatinga.

Apesar dos aspectos apresentados, a concentração de nutrientes do solo provenientes das colônias de formigas cortadeiras muitas vezes é capaz de promover o aumento e desempenho das plantas ao redor dessas áreas da colônia, pois, as plantas são capazes de acessar o conteúdo de nutrientes melhorado; acontece também que a abundância das raízes geralmente é maior em depósitos dessa matéria orgânica (também chamada de lixeira) do que em solos sem proximidade do ninho (MOUTINHO *et al.*, 2003, SOUSA-SOUTO *et al.*, 2008, FARJI-BRENER e TADEY, 2009), esses depósitos externos de lixo apresentam maior densidade de raízes finas e mais

incidência de plantas herbáceas em áreas adjacentes (FARJI-BRENER & MEDINA 2000, WIRTH *et al.*, 2003, FARJI-BRENER & GERMANDI 2004). Isto é capaz de ocasionar o aumento da fertilidade dos solos adjacentes aos ninhos e assim facilitando o recrutamento de plântulas, bem como a regeneração da vegetação (TABARELLI *et al.*, 2017a; KNOECHELMANN, 2019). Isto é, fontes adicionais de nutrientes do solo ficam disponíveis para o crescimento e reprodução das plantas como produto da atividade das formigas cortadeiras (FARJI-BRENER & TADEY 2009). Então, esse efeito pode aumentar a fertilidade dos solos dos ninhos (TABARELLI *et al.*, 2017a; KNOECHELMANN, 2019) sendo, então, esse aspecto sobre maiores concentrações de nutrientes que foram investigadas neste estudo.

3. OBJETIVOS

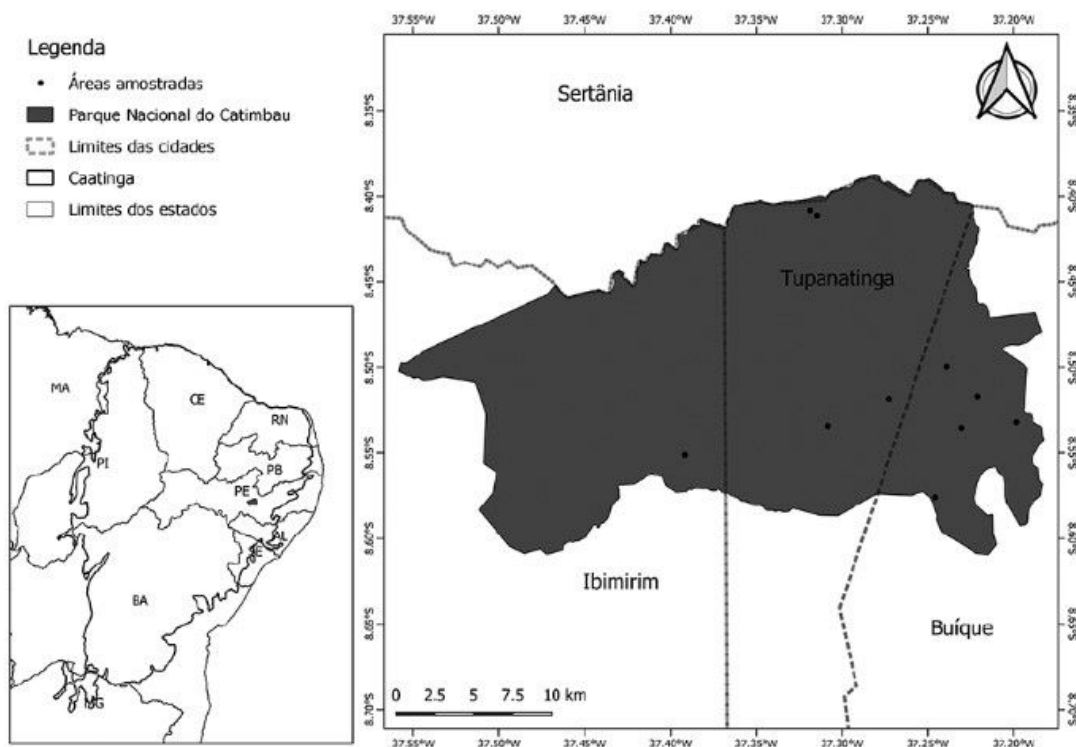
O presente trabalho teve por objetivo geral investigar a atuação dos nutrientes em solos de formigueiros da espécie *Atta opaciceps*, na Caatinga, do Parque Nacional do Catimbau. O primeiro objetivo específico foi a investigação das concentrações dos nutrientes presentes nos solos dos ninhos de formigas cortadeiras em diferentes profundidades (0 m, 5 m e 10 m de profundidade). Nossa hipótese é que esses nutrientes se concentram mais na superfície do solo, pois de acordo com SIQUEIRA (*et al.*, 2017, 2018) e conforme KNOECHELMANN (2019), as lixeiras tendem a acumular restos orgânicos, principalmente as colônias de *A. opaciceps* que possuem lixeira externa. Para o segundo objetivo específico, avaliamos os nutrientes em diferentes distâncias em relação ao ninho (10 cm, 50 cm, 1 m, 1,5 m e 2 m). Nesse caso, nossa hipótese é que em solos mais profundos dos ninhos ocorra a diminuição dos nutrientes, pois conforme MOUTINHO (*et al.*, 2003); FARJI-BRENER; MEYER (*et al.*, 2013) e SIQUEIRA, (2019), ocorre a redução na disponibilidade de nutrientes no solo dos entornos dos ninhos. .

4. METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no Parque Nacional do Catimbau (PARNA Catimbau), criado pelo Decreto Federal n.913/12 em 13 de dezembro de 2002 e abrange os municípios de Buíque (20,46%), Tupanatinga (38,73%), Inajá e Ibimirim (40,81%), em uma área total de 62.300 hectares no semiárido de Pernambuco (IBAMA, 2002), tal como é possível observar na figura 3. O PARNA Catimbau é uma unidade de conservação (UC) inserida na região do estado de Pernambuco e está localizado a 8°23'17" a 8°36'35"S e 37°11'00" a 37°33'32"W (SANTOS *et al.*, 2019).

Figura 3: Localização do Parque Nacional do Catimbau



A caracterização do parque ocorre pelas paisagens formadas sobre rochas areníticas (MENDES, 2012). Essas formações de rochas areníticas são compostas de arenitos de granulometria e com coloração variada e que tiveram intensa diagênese (CARVALHO, 2010; SERAFIM-FILHO *et al.*, 2021). O parque está inserido na bacia sedimentar Tucano Jatobá, nas quais as formações da bacia sedimentar Tacaratu e Inajá, predominam a área do PARNA Catimbau (RUFINO *et al.*, 2008; FILHO *et al.*, 2008; SERAFIM-FILHO *et al.*, 2021).

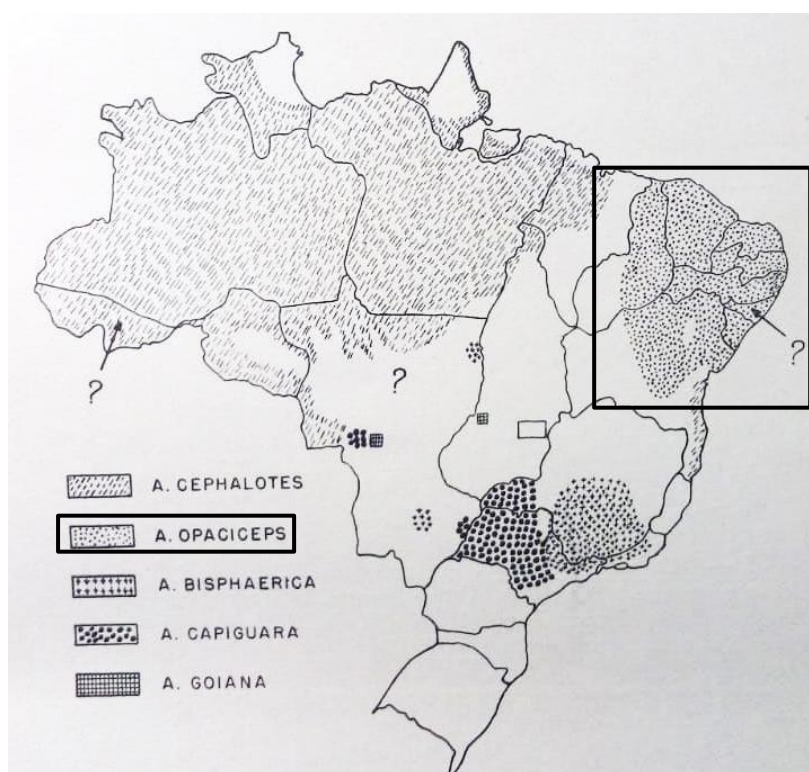
O clima predominante da região é semiárido, a média de temperatura anual é de 23°C e a média anual varia entre 480 mm a 1100mm, sendo concentrada entre março e julho. Os solos são arenosos profundos e predominantes no Parque Nacional do Catimbau, sendo que as areias quartzíticas representam 70% da área, os planossolos bem como os litossolos também estão presentes com 15% cada um (Sociedade Nordestina de Ecologia, 2002; SANTOS NETO, 2021).

A vegetação é dominada por árvores de baixa estatura com Fabaceae, Euphorbiaceae e Boraginaceae, sendo as famílias de plantas predominantes. Além dessas famílias, a camada do solo é composta por espécies vegetativas como a Cactaceae, Bromeliaceae, Malvaceae, Asteraceae e Fabaceae (RITO *et al.*, 2017; SANTOS NETO, 2021). Então, o relevo do Parque Nacional do Catimbau é ocupado por uma complexa vegetação (MELO RODRIGUES, 2006;

BEZERRA *et al.*, 2009). Possui uma típica vegetação xerófila que são as espécies adaptadas ao clima seco, e também tem a predominância de estratos arbóreos de comprimento 8 a 12m e arbustivos com comprimento de 2 a 5m de altura do dossel, além do substrato herbáceo que estão abaixo de 2m, este proporcionando facilmente a passagem dos raios solares (FREIRE *et al.*, 2015; MMA, 2016; GOMES *et al.*, 2006).

A formiga cortadeira *Atta opaciceps* é endêmica da Caatinga, ocorrendo nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e nordeste da Bahia (figura 4) (MARICONI, 1970; LEAL *et al.*, 2017b; PACHECO, 2021), sendo amplamente distribuída na Caatinga. Isto é, podendo alterar em circunstâncias bastante particulares neste ambiente florestal e neste solo, pois o endemismo da *Atta opaciceps* quanto também os solos endêmicos do Parque pode ser um fator bastante crucial quando relacionamos as concentrações de nutrientes.

Figura 4: Distribuição da *Atta opaciceps* na região do Nordeste, indicando sua predominância na região.



Fonte: MARICONI (1970).

4.2 DESENHO EXPERIMENTAL

Foram selecionados nove ninhos adultos da formigas cortadeiras *Atta opaciceps* (Figura 5), espécie endêmica da Caatinga (SIQUEIRA *et al.*, 2017; SILVA, 2021), nos quais foram estimadas as concentrações dos nutrientes em diferentes distâncias e profundidades. Para a quantificação da concentração de nutrientes em diferentes distâncias dos ninhos, foi coletado o solo de ninhos espécie de *Atta opaciceps* em três tratamentos: (1) solo no centro do ninho, (2) a 5 metros da borda do ninho e (3) 10 metros da borda do ninho, considerado como solo controle (Meyer *et al.*, 2013). Para a quantificação da concentração de nutrientes nas profundidades foram delimitadas as seguintes profundidades: cinco diferentes profundidades: (1) 0–10cm, (2) 40–50cm, (3) 90–100cm, (4) 140–150cm e (5) 190–200cm.

Figura 5: Espécimes de formigas da espécie *Atta opaciceps* (Borgmeier, 1939), da ordem Hymenoptera e família Formicidae. **1A**-Cabeça em postura frontal; **1B**-Abdomem em postura latero-dorsal; **1C**-Corpo em postura lateral; **1D**- Cabeça em vista polar; **1E**-Corpo em vista dorsal.



Fonte: GAMA *et al.*, 2019

4.1 COLETA DE DADOS

As amostras de solo foram coletadas com uma pá, com volume de solo de 1.000 cm³ de solo nas diferentes distância e profundidades. As amostras de solo foram retiradas em anel de PVC de 200 cm³. Após cada mudança de tratamento, o anel de PVC era constantemente limpo

com álcool 70% e água para cada mudança de tratamento.

Figura 6: Dimensão da colônia de saúva da espécie *Atta opaciceps* no Parque Nacional do catimbau, na Caatinga. Sendo possível observar toda dimensão do ninho com suas câmeras e galerias subterrâneas aparentes.



Foto: Acervo LIPA.

As amostras do solo foram encapsuladas por meio do anel de PVC de 200 cm³, foi coletado cinco vezes a quantidade da massa dos anéis de PVC para cada profundidade e foi coletado também três vezes a massa do anel de PVC para cada distância. Por fim, as amostras do solo seco foram primeiramente trituradas em almofariz e pilões de ágata em laboratório e posteriormente peneiradas com malha de tecido fino (cerca de 0,01 mm de diâmetro). Do solo foi obtido um pó, então pesados com um auxílio de uma balança analítica em precisamente 1 grama por amostra e envelopados em capsulas de polietileno de 20 mm de diâmetro interno e coberto com filme de polipropileno de 6 µm de espessura. (SANTOS NETO, 2021);

As análises foram realizadas no laboratório de Oceanografia Química da UFPE e a preparação e moagem do solo foram realizadas no Laboratórios do Serviço de Monitoração Ambiental - Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE). A quantificação de nutrientes de cada amostra do solo foi obtida por meio do Espectrômetro de Fluorescência de Raio X dispersivo em energia, modelo EDX 720. O resultado da concentração dos elementos foi fornecido pelo EDX em concentrações em ppm – partes por milhão, e que posteriormente o resultado da concentração do nutriente foi dividido por 1000. Foram então quantificados os elementos principais do solo: magnésio e potássio; e os elementos traço do solo: ferro, manganês, zinco e silício (SANTOS NETO, 2021). Foram investigados concentrações dos nutrientes

elementos: Ferro (Fe), Manganês (Mg), Potássio (K), Cálcio (Ca), Carbono (C), Nitrogênio (N), Relação C/N, Fósforo (P), Zinco (Zn), Gálio (Ga), Chumbo (Pb), Titânio (Ti), Silício (Si), Vanádio (V) e o Alumínio (Al), este último relacionado à fitotoxidade. E em concomitante processo de análise, foram analisados os teores de Carbono e Nitrogênio por meio de um analisador elementar no Laboratório de Oceanografia Química da UFPE.

4.2 ANÁLISE DE DADOS

As análises estatísticas foram realizadas para avaliar como os solos de diferentes profundidades e distâncias dos ninhos diferem quanto as concentrações de nutrientes. Para tanto foram realizadas utilizando o *Software R (R Development Core Team 2015)* utilizando Modelos Lineares Mistos Generalizados (GLMM). As análises à posteriori foram realizadas no GraphPad Prism 9, com Teste *Tukey* para analisar as mudanças nos diferentes nutrientes ao longo dos diferentes tratamentos de distância e de profundidade. Em todos os modelos foi utilizado o ninho como fator aleatório.

5. RESULTADOS

Nos solos analisados, foi possível observar o Manganês (Mn), Magnésio (Mg) e o Cálcio (Ca) como nutrientes significativamente mais concentrado em nível de profundidade. A concentração significativamente maior ocorreram da seguinte forma: O Manganês foi significativamente maior no primeiro nível de profundidade referente a 10cm; O Magnésio também foi significativamente maior apenas nos primeiros 10cm de profundidade. Foi observado em uma concentração significativamente maior do Cálcio nas profundidades de 10cm, 50cm, 1,5m e 2m de profundidade. O Potássio mostrou sua concentração significativamente maior apenas nos primeiros 10cm de profundidade. Já o elemento Gálio foi visto em uma concentração significativamente maior em todos os níveis de profundidades. E o fitotóxico Alumínio foi visto em maior concentração significativa apenas no ultimo nível de profundidade, isto é, aos 2 metros.

Tabela 2 - Resultados das concentrações dos nutrientes do solo sobre as diferentes profundidades da camada de solos de ninhos de formigas cortadeiras *Atta opaciceps* (10cm, 50cm, 1m, 1.5m e 2m) no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Os valores em negritos representam nutrientes em concentrações significativamente maiores.

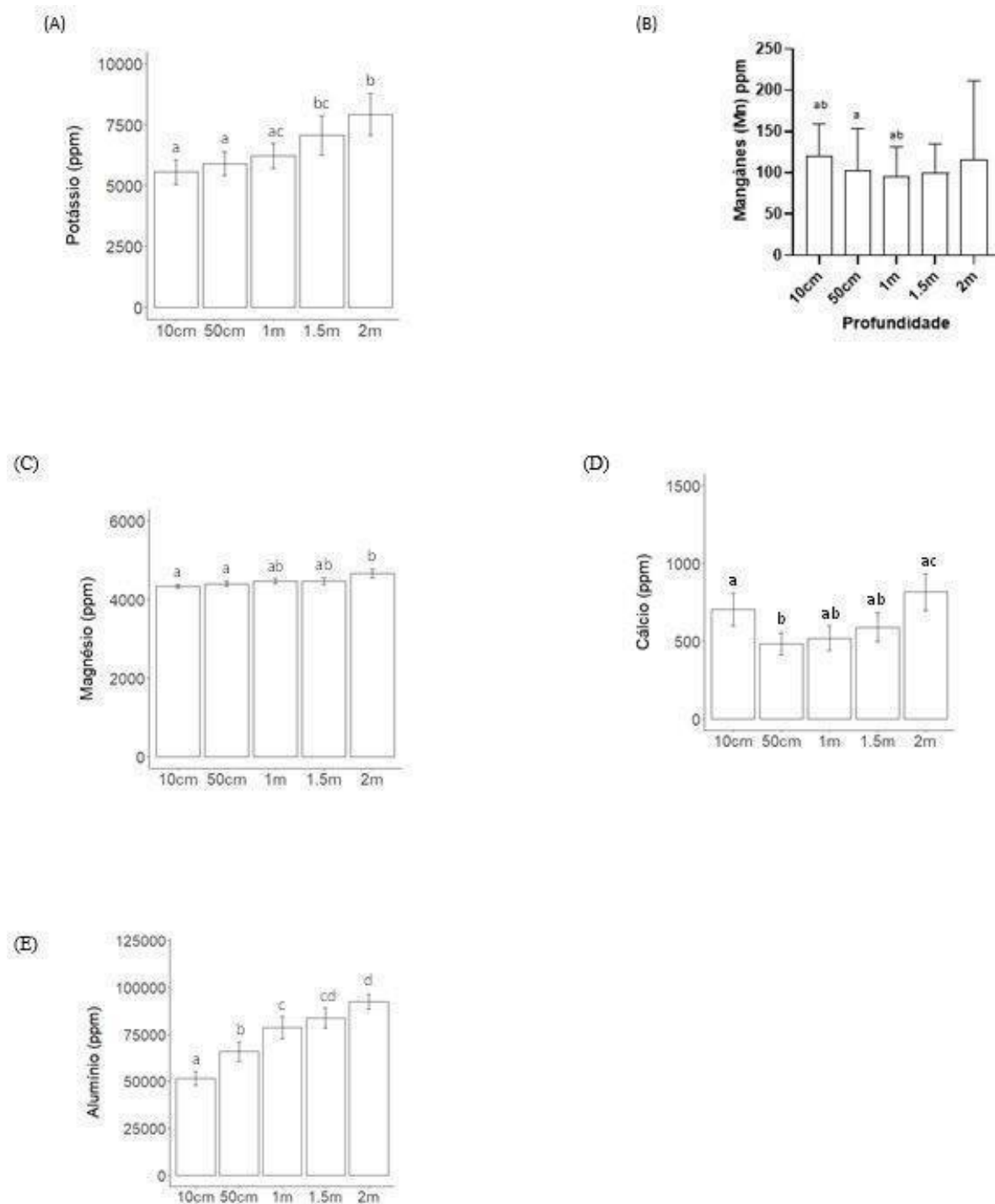
ELEMENTOS	DIFERENTES PROFUNDIDADES	MÉDIA(da profundidade)	P=valor (média das cinco profundidades)
Ferro	10cm	10298,37	0,3944
	50cm	12492,32	0,9982
	1m	18846,93	0,9519
	1,5m	18007,25	0,9452
	2m	24157,07	0,9208
Mangânes	10cm	120,44	<0,0001
	50cm	103,31	0,9990
	1m	96,01	0,9338
	1,5m	99,61	0,9572
	2m	116,1	0,3712
Magnésio	10cm	4329,71	<0,0001
	50cm	4373,14	0,9990
	1m	4472,61	0,9338
	1,5m	4454,97	0,9572
	2m	4698,83	0,3712
Alúminio	10cm	51772,65	0,9801
	50cm	60311,52	0,7603
	1m	78537,81	0,9984
	1,5m	82961,61	0,9409
	2m	94557,13	<0,0001
Potássio	10cm	5463,21	<0,0001
	50cm	5872,48	0,9998
	1m	6213,61	0,9953
	1,5m	6991,04	0,7953
	2m	8172,15	0,8729
Cálcio	10cm	681,78	<0,0001
	50cm	5753,4	<0,0001

	1m	518,05	0,9808
	1,5m	591,94	<0,0001
	2m	860,6	<0,0001
Carbono	10cm	0,568462	0,3604
	50cm	0,501111	>0,9999
	1m	0,527407	0,6855
	1,5m	0,0584	0,6165
	2m	0,021905	0,6242
Nitrogênio	10cm	0,032308	0,9448
	50cm	0,0228	0,9997
	1m	0,027083	>0,9999
	1,5m	0,060833	0,9485
	2m	0,023333	0,9509
C/N	10cm	22,57577	0,8901
	50cm	35,7064	0,9998
	1m	41,55583	0,9784
	1,5m	50,91958	0,9985
	2m	22,07476	0,9073
Zinco	10cm	15,48	0,3123
	50cm	16,01	0,9951
	1m	18,17	0,9379
	1,5m	20,32	0,9951
	2m	26,61	0,7965
Gálio	10cm	9,71	<0,0001
	50cm	9,97	<0,0001
	1m	18,17	<0,0001
	1,5m	10,57	<0,0001
	2m	11,01	<0,0001
Chumbo	10cm	14,35	0,5895
	50cm	18,58	0,9269
	1m	18,98	>0,9999
	1,5m	19,24	>0,9999
	2m	23,27	0,9381

Titânio	10cm	3115,04	0,5186
	50cm	3506,54	0,9269
	1m	3734,73	>0,9999
	1,5m	3793	>0,9999
	2m	4082,88	0,9381
Estrôncio	10cm	23,92	0,3500
	50cm	33,75	0,9879
	1m	44,46	0,9833
	1,5m	48,91	0,9994
	2m	64,93	0,9303
Silício	10cm	345600,16	0,5186
	50cm	321361,79	0,9540
	1m	310543,95	0,9937
	1,5m	302947,42	>0,9999
	2m	278599,92	0,9844
Vanádio	10cm	69,3	0,4939
	50cm	84,09	0,9634
	1m	93,07	0,9942
	1,5m	97,73	0,9725
	2m	109,02	0,9863

Figura 7– Gráficos das concentrações de nutrientes referentes às diferentes profundidades em solos de formigueiros *Atta opaciceps* no Parque Nacional do Catimbau. Letras diferentes sobre a barra dos gráficos representam diferenças significativas comparativas.

(A) Potássio em distintas profundidades, (B) Manganês em distintas profundidades, (C) Cálcio em distintas profundidades, (D) Alumínio em distintas profundidades (E) Magnésio em distintas profundidades. Letras diferentes sobre a barra dos gráficos representam diferenças significativas.



É possível observar que o Potássio teve sua concentração no solo superficial, ou seja, ao primeiros 10 cm. Apesar deste fato, o potássio aumentou com o aumento da profundidade, podendo ser visto em uma concentração de 7.500ppm. O Manganês se apresentou concentrado na profundidade de 10cm. Nas demais profundidades, manteve em sua concentração acima de 100ppm na profundidade de 2m; na profundidade de 50cm a concentração de Mn se manteve exatamente em 100ppm; já nas profundidades de 1m e 1.5 a taxa de Mn se manteve um pouco menos de 100ppm. Em relação ao elemento Magnésio, este também se apresentou significativamente maior na profundidade de 10 cm. E se manteve bem distribuído e abundante nas cinco diferentes profundidades, com sua concentração um pouco acima de 4000ppm de Mg. Em relação ao Cálcio, este se manteve significativamente maior nas profundidades de 10cm, 50cm, 1,5m e 2m. Sua maior concentração foi conferida na profundidade inicial de 10cm e na profundidade de 2m, ambas assumindo a concentração de Ca em 600ppm. Já nas profundidadesde 50cm, esse valor cai para exatamente 500ppm e na profundidade 1.5m a concentração de Ca passa a ser um pouco mais de 500ppm. O Gálio se manteve significativamente maior em todas as profundidades analisadas, sendo elas 10cm, 50cm, 1M, 1,5m e 2m. Já em relação ao fitotóxico Alumínio, este se mostrou mais concentrado com o aumento da profundidade, com taxa de 75.000. Este, por sua vez, se mostrou apenas significativamente maior na profundidade de 2m.

Na tabela abaixo é possível observar dados obtidos em relação as distâncias.

Tabela 2 - Resultados das concentrações dos nutrientes do solo sobre as diferentes distâncias da camada de solos de ninhos de formigas cortadeiras *Atta opaciceps* (Solo superficial -10cm, 5m e 10m) no Parque Nacional do Catimbau – PE.

ELEMENTOS	DIFERENTES PROFUNDIDADES	MÉDIA (da profundidade)	P=VALOR (da média das distâncias)
Ferro	Solo superficial (10cm)	18198,7	0,9511
	5 metros	14961,55	0,9947
	10 metros	17173,37	0,9755
Mangânes	Solo superficial (10cm)	122,15	0,8327
	5 metros	97,38	0,8043
	10 metros	100,3	0,8422
Magnésio	Solo superficial (10cm)	4461,52	0,9896
	5 metros	4491,02	0,9985
	10 metros	4444,53	0,9888

Al��minio	Solo superficial (10cm)	76535,78	0,9842
	5 metros	72381,99	0,9942
	10 metros	74133,33	0,9969
Potássio	Solo superficial (10cm)	6940,56	0,9648
	5 metros	6329	0,9685
	10 metros	6275,16	0,9998
Cálcio	Solo superficial (10cm)	700,01	0,9052
	5 metros	524,84	0,9520
	10 metros	580,7	0,9892
Carbono	Solo superficial (10cm)	0,345455	>0,9999
	5 metros	0,514	>0,9999
	10 metros	0,570233	>0,9999
Nitrog��nio	Solo superficial (10cm)	0,029091	0,9308
	5 metros	0,04675	0,9924
	10 metros	0,020976	0,9272
C/N	Solo superficial (10cm)	31,84568	0,8050
	5 metros	59,24262	0,9927
	10 metros	36,87439	0,8673
Zinco	Solo superficial (10cm)	20,39	0,9507
	5 metros	17,89	0,9922
	10 metros	19,45	0,9789
G��lio	Solo superficial (10cm)	10,44	0,9712
	5 metros	10,26	0,9856
	10 metros	10,32	0,9969
Chumbo	Solo superficial (10cm)	19,13	0,9994
	5 metros	19,1	0,9994
	10 metros	18,9	0,9995
Tit��nio	Solo superficial (10cm)	3752,08	0,9714
	5 metros	3577,63	0,9817
	10 metros	3611,75	0,9989
Estrôncio	Solo superficial (10cm)	46,76	0,9759
	5 metros	41,45	0,9790
	10 metros	41,15	>0,9999

Silício	Solo superficial (10cm)	306148,21	0,9492
	5 metros	318892,54	0,9782
	10 metros	314110,39	0,9920
Vanádio	Solo superficial (10cm)	93,89	0,9717
	5 metros	86,48	0,9908
	10 metros	89,89	0,9933

Em relação as análises das distâncias dos solos dos ninhos de formigas cortadeiras, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos para nenhum dos nutrientes avaliados(Tabela 2).

6. DISCUSSÃO

O estudo corroborou parcialmente as hipóteses propostas, uma vez que as formigas cotadeiras *Atta opaciceps* alteram a concentração dos nutrientes em diferentes profundidades dos solos dos seus ninhos, enquanto não foi observada diferença significativa em relação às diferentes distâncias. O nutriente Mangânes (Mn) teve sua concentração significativamente maior na profundidade supercificial, equivalente aos 10 cm. O nutriente Magnésio (Mg) também foi significativamente maior no solo superficial, aos 10cm. O Potássio (K) também houve sua concentração aos 10cm, referente ao solo supercial. Em relação ao Cálcio (Ca), é importante frisar que este nutriente manteve sua concentração significativamente maior em quatro das cinco diferentes profundidades, foram elas: 10cm, 50cm, 1,5 e 2m.

O elemento Gálio (Ga) manteve sua concentração significativamente maior em todas as profundidades analisadas em 10cm, 50cm, 1m, 1,5 e 2m. Em relação ao fitotóxico Alumínio, este se mostrou mais concentrado com o aumento da profundidade de 2m, com taxa de 75.000ppm. E sua concentração apenas aos 2 metros de profundidade, pode vir a ser um indicativo em que o formigueiro não atue na concentração deste fitotóxico, visto que a literatura aponta que formigueiros de *Atta* contribuem para a fertilidade do solo em aproximadamente até 2 metros de profundidade. Desta forma, colônias de *Atta* podem não ter interferido nas concentrações de Al em questões de profundidades e também distância, pois este se manteve pouco concentrado chegando a 0,9842ppm, referente ao solo superficial.

Então, estudos sobre outros grupos de formigas apontam que atividades da mirmecofauna são importantes para a formação dos padrões de concentração de nutrientes como engenheiras de

ecossistemas, ou seja, exercendo efeitos sobre a biologia, estrutura e fertilidade dos solos (ALMEIDA & QUEIROZ, 2015). E talvez esses mesmos efeitos possa ter ocorrido em solos de formigas cortadeiras, sendo possível observar concentrações dos nutrientes: Potássio (K), Manganês (Mn), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e também para o elemento Gálio (Ga). Ou seja, a nível de profundidade de até 2m ocorreu o efeito de concentração dos nutrientes citados e possa ter ocorrido, consequentemente, a incorporação de fertilidade do solo.

O Potássio (K), em que foi visto sua concentração significativamente maior no solo superficial. Este nutriente conforme INOCÊNCIO (2014), é um macronutriente necessário para o desenvolvimento iniciais de brotos vegetativos. Em geral, a nutrição vegetativa equilibrada com Potássio é capaz de reduzir a doenças através do aumento da resistência à penetração de patógenos e também evita a contaminação. São os níveis suficientes de Potássio que proporcionam o aumento na rigidez dos tecidos, provenientes do aumento da espessura da cutícula e da parede celular (CARVALHO, et al., 2008). Está também relacionado com o teor de proteínas estruturais, enzimáticas e protetoras, além de acumular substâncias que apresentam ação fúngica, como fenóis e fitoalexinas, em que se estabelecem ao redor dos sítios de infecção do patógeno (CARVALHO, et al., 2008).

A presença do Gálio (Ga) muito provavelmente pode servir como indicativo para a presença de outros nutrientes anteriormente presentes no solo. Pois, conforme KABATA- PENDIAS & MUKJERJE, 2007, sua distribuição no solo está relacionada com a presença de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) no solo. E muito provavelmente isso possa ter ocorrido, pois o elemento Mn foi encontrado em quantidades significativas e assim indicando a presença de outro nutriente ao solo.

Em relação ao nutriente Manganês (Mn), este é relatado um dos micronutrientes mais importantes, pois nas plantas ele está ligado ao funcionamento de 35 enzimas (HEBBERN *et al.*, 2009). Além disso, o Manganês (Mn) pode exercer duas funções importantes no metabolismo das plantas. A primeira, está relacionada a enzima Mn-superóxido dismutase que protege a célula de determinados danos (HANSCH & MENDEL, 2009; ROSSI, 2012). O Manganês também está relacionado na ativação de enzimas, sendo um co-fator estimulante envolvido na eletrólise da água, responsável pela captação de luz (BARBER, 2003; ROSSI, 2012). Este último é relatado como a função mestra do Mn, pois sua deficiência vai afetar a fotossíntese, diminuindo-a (KIRKBY & RÖMHELD, 2019).

O Cálcio (Ca) está relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular, havendo assim necessidade contínua de absorção desse nutriente para garantir o desenvolvimento da raiz. Isto é, Ca precisa estar bem distribuído no solo (PRADO, 2004) para a efetividade do suporte radicular.

Ao que está relacionado com as deficiências do Cálcio apresentado pelas plantas, é possível citar a limitação do crescimento vegetativo, escurecimento e apodrecimento do sistema radicular (PEREIRA *et al.*, 2020).

Em relação ao Magnésio (Mg), este é relatado sobre sua semelhança com o Manganês (Mn), fazendo com que em muitos casos um possa substituir o outro (ROSSI, 2012).

Relacionando o Cálcio e o Magnésio, estes são macronutrientes essenciais atuantes no desenvolvimento das plantas (PEREIRA *et al.*, 2020). E estão classificados nesta forma devido à ausência desses elementos interromper que a planta complete seu ciclo vital e estão participando diretamente no metabolismo das plantas (PEREIRA *et al.*, 2020).

O Magnésio, juntamente com o nitrogênio, são os únicos nutrientes do solo que constituem a clorofila. Além de estar relacionado com a ativação enzimática, sendo cofator de quase todas as enzimas fosforilativas (PEREIRA *et al.*, 2020), isto é, enzimas que formam pontes entre o ATP e o ADP (MOREIRA & MALAVOLTA, 2003).

O elemento Alumínio (Al) está relacionado como fator estressante de danos às plantas e embora seja um elemento fitotóxico, este contribui para a formação da matriz do solo (OLIVEIRA, M.S., 2011, LABANCA, 2019). Muito provavelmente a alta concentração do fitotóxico alumínio pode estar relacionado com a não absorção desse elemento, diferente dos demais nutrientes. Inclusive porque o elemento é de formação de origem do solo. A maior concentração do elemento fitotóxico alumínio abaixo do nível de 2 metros pode indicar que as colônias de *Atta opaciceps* não colaborem para a concentração do elemento. Indicando que muito provavelmente, este fitotóxico não está relacionado as alterações do ninho. Pois, grandes quantidades de nutrientes é visto na profundidade maior, onde hipoteticamente, o efeito do ninho não está tão mais tão atuante quanto nas menores profundidades.

Então, a literatura indica que os elementos quantificados em concentrações significativas, sendo eles o Mg, Mn, K e Ca, são benéficos para o desenvolvimento vegetativo. Por isso, é possível inferir que os elementos encontrados no solo do Parque Nacional do Catimbau podem dispor de um efeito benéfico para o enriquecimento do solo e, com isso, contribuir para o desenvolvimento da vegetação circundante aos ninhos. Esses dados indicam, então, efeito positivo realizado pelas formigas cortadeiras *Atta opaciceps* no solo do Parque. Além disso, fatores abióticos como porosidade do solo, chuva e consequentemente a lixiviação do solo, podem afetar as concentrações desses nutrientes analisados.

Pode-se dizer que é de imensurável importância estudos e pesquisas direcionadas para a ciclagem de nutrientes, pois são através das mudanças na matéria orgânica que ocorrem dentro dos saúveiros que haverá capacidade de influenciar o crescimento das plantas acima do solo

(SWANSON *et al.*, 2019), principalmente no que se refere a Caatinga, pois é um ambiente que tende a sofrer intensa perturbação antrópica. Principalmente pela sua proliferação abundante da formiga cortadeira *Atta opaciceps* em áreas perturbadas. Desta forma, pode-se considerar que há a ocorrência de efeitos positivos provenientes das colônias de *Atta opaciceps*, atuando na concentração de nutrientes no solo do Parque Nacional do Catimbau. Por isso, áreas de formigueiros devem ser particularmente protegidas, pois possuem focos de diversidade vegetal e centro da sucessão vegetal (FARJI-BRENER e TADEY, 2009).

Ocorre a concentração de raízes de outras vegetações nos resíduos orgânicos e que possuem impacto na população de mudas de plantas, pois caso as mudas não obtenham benefícios do aumento do fluxo desses nutrientes, esses mesmos nutrientes poderão ser absorvidos por outras raízes que já estão se proliferando no local (HAINES, 1975). Então, muito provavelmente fatores como a absorção dos elementos pelas raízes das plantas também podem estar intrinsecamente relacionada a disponibilidade dos nutrientes encontrados no solo. Isto é, a disponibilidade de nutriente do solo pode ter sido rapidamente absorvida pelas raízes, e essa concentração de nutrientes não está mais disponível quanto estava antes. Ou seja, a concentração de nutrientes que chega, muito provavelmente é menor do que a quantidade de nutrientes que sai. Além disso, é possível observar que os nutrientes relacionados aos inúmeros benefícios das plantas, como já foram citados, foram vistos como significativamente maiores em solos de formigueiros.

7. CONCLUSÕES

Os elementos Cálcio (Ca), Potássio (K), Manganês (Mn), Magnésio (Mg), Alumínio (Al) e Gálio (Ga) apresentaram diferenças significativas nas diferentes profundidades dos ninhos. Os elementos químicos que se comportam como nutrientes para as plantas e que foram encontrados em solos de formigueiros de *Atta opaciceps* e se apresentaram significativamente maiores, foram eles o Magnésio, Manganês, Potássio e Cálcio. Todos esses de importância ímpar para o desenvolvimento vegetativo. As diferentes profundidades dos ninhos se mostraram mais relevantes nas concentrações de nutrientes. Houve os elementos que se apresentaram também significativamente maior, mas que não representa efeito significativo algum para o desenvolvimento das plantas, sendo eles o Gálio e o Alumínio. No entanto o Gálio pode ser um indicativo para a presença de outro nutriente que pode ter sido absorvido pelas plantas. Não foi observada diferença significativa na concentração dos nutrientes em relação às distâncias do ninho, inclusive no solo controle referente a distância de dez metros. No geral, pode-se dizer que o ninho tem maior influência nos nutrientes dos solos verticalmente que horizontalmente. Além disso, a partir de 2 metros de profundidade o fitotóxico alumínio se apresentou registrado em níveis altos de concentração. Esse resultado pode indicar uma influência positiva dos ninhos na performance das plantas. Em geral, foi visto efeito que formigas cortadeiras *Atta opaciceps* atuaram na distribuição de nutrientes do solo do Bioma Caatinga, sendo possível observar esse aspecto em diferentes profundidades de até 2 metros a depender do nutriente.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formigas cortadeiras podem influenciar nas modificações das características físicas e químicas dos solos devido à construção, manutenção e expansão dos seus ninhos colossais (CORRÊA *et al.*, 2010, MEYER *et al.*, 2013). Um fator crucial para o fluxo desses nutrientes no solo pode estar relacionado a absorção das raízes que se proliferaram próximas às câmaras dos ninhos (HAINES, 1975). Por exemplo, os nutrientes Magnésio, Mangânes, Potássio e Cálcio apresentaram maiores concentrações em solos superficiais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. S. **Formigas como engenheiras de ecossistemas**: Influência sobre as características químicas do solo e a distribuição de sementes e plantas. 2012. 82 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- ALMEIDA, F. S.; QUEIROZ, J. M. Formigas poneromorfas como engenheiras de ecossistemas: impactos sobre a biologia, estrutura e fertilidade dos solos. **As Formigas Poneromorfas do Brasil**. Editus, Ilhéus, p. 437-446, 2015.
- ALVES, J. J. Geoeologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, 2007. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/266>>. Acesso em: 11 de mar. de 2023.
- ALVES, J. J. A.; DE ARAÚJO, M. A.; DO NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117837020.pdf>>. Acesso em: 30 de mar. de 2023.
- DE LIMA ARAÚJO, E.; DE CASTRO, C. C.; DE ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian Caatinga—a review concerning the plants, environment and people. **Functional Ecosystems and communities**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/3Ik242o>>. Acesso em: 11 fev. de 2023.
- DA SILVA ARAÚJO, M. et al. Controle biológico de formigas-cortadeiras: o caso da predação de fêmeas de *Atta* spp. por *Canthon virens*. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 8-12, 2015. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/273/398>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- AUTUORI, M. Investigações sobre a biologia da saúva. **Ciência e Cultura**, v. 62, n. SPE1, p. 4-12, 2010. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S000967252010000500002&script=sci_arttext&tlng=en>. Acesso em: 10 de fev. 2023.
- BARBER, J. Photosystem II: the engine of life. **Quarterly reviews of biophysics**, v. 36, n. 1, p. 71-89, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0033583502003839>>. Acesso em: 10 de fev. 2023.
- BARBOSA, V. S. **Influência da herbivoria de formigas cortadeiras no sucesso reprodutivo de espécies arbustivo-arbóreas da Floresta Atlântica Nordestina**. 2009. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/524>>. Acesso em: 18 de fev. de 2023.
- BARRERA, C. A. *et al.* Phylogenomic reconstruction reveals new insights into the evolution and biogeography of *Atta* leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae). **Systematic Entomology**, v. 47, n. 1, p. 13-35, 2022. Disponível em: <<https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/syen.12513>>. Acesso em: 16 de mar. de 2023.

BATISTA, G. A. **Ecologia de interações entre *Inga sessilis* (Vell.) Mart.(Fabaceae, Mimosoideae), formigas e herbívoros associados: padrões espaço-temporais da defesa anti-herbivoria**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sociedade), Universidade Estadual de Goiás, Goiás. Disponível em: <<http://www.bdt.d.ueg.br/handle/tede/529>>. Acesso em: 18 de fev. de 2023.

BIEBER, A. G. D.; MARCONDES, A. O.; WIRTH, R.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. **Do abandoned nests of leaf-cutting ants enhance plant recruitment in the Atlantic Forest?**. *Austral Ecology*, v. 36, n. 2, p. 220-232, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2010.02141.x>>. Acesso: 11 de fev. de 2023.

BARROS, Nairam Félix; NEVES, Júlio César Lima; DE NOVAIS, Roberto Ferreira. **Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal**. 2005. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-florestas-plantadas06.pdf>>. Acesso: 11 de fev. de 2023.

BLACKIE, R. *et al.* **Tropical dry forests: The state of global knowledge and recommendations for future research**. Califórnia: Cifor, 2014. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ybvHBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP5&dq=Blackie,+R.,+et+al.+Discussion+Paper,+CIFOR,+Indonesia,&ots=I6Y87hd8aW&sig=ntyAqvF7K6AW_ZYSbbd9x3zPQtM#v=onepage&q&f=false >. Acesso: 11 fev. 2023.

BORGES, A. L.; DA SILVA JUNIOR, J. F. Nutrição, calagem e adubação. Em: **Sistema de Produção de Banana para a Zona da Mata de Pernambuco**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa, 2010. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/900427/1/NutricaoCalagemAducacaoAnaLuciaBorges.pdf>>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

BUCHER, E. H. Herbivory in arid and semi-arid regions of Argentina. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 60, n. 2, p. 265-273, 1987. Disponível em: <http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1987/2/Bucher_1987.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

CARVALHO, D. de O.; POZZA, E. A.; CASELA, C. R.; COSTA, R. V. **Efeito do nitrogênio e do potássio no período de incubação e no período latente de *Colletotrichum graminicola* em duas cultivares de milho**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/491262/1/Efeitonitrogenio1.pdf>>. Acesso em: 02 de Maio de 2023.

CHÂLINE, N. G. *et al.* Métodos de estudo do comportamento de formigas-urbanas. **Formigas em ambientes urbanos no Brasil**. Tradução . Bauru: Canal 6, 2017. Disponível em: <www.canal6.com.br/livros_loja/Livro_Formigas_em_ambientes_urbanos.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CHERRETT, J. M. *et al.* The mutualism between leaf-cutting ants and their fungus. **Insect-fungus interactions**, p. 93-120, 1989. Disponível em: <<https://bit.ly/3YwcOjJ>>. Acesso em 12 fev. 2023.

CHERRETT, J. M. The foraging behaviour of *Atta cephalotes* L.(Hymenoptera, Formicidae). **The**

Journal of Animal Ecology, p. 387-403, 1968. Disponível em: < <https://doi.org/10.2307/2955> >. Acesso em: 12 fev. 2023.

CLARK, D. B.; CLARK, D. A.; READ, J. M. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest. **Journal of ecology**, v. 86, n. 1, p. 101-112, 1998. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1046/j.1365-2745.1998.00238.x> >. Acesso em: 12 fev. 2023.

CORRÊA, M. M. *et al.* How leaf-cutting ants impact forests: drastic nest effects on light environment and plant assemblages. **Oecologia**, v. 162, p. 103-115, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00442-009-1436-4> >. Acesso em: 12 fev. 2023.

DE ARAUJO FILHO, J. C. Relação solo e paisagem no Bioma Caatinga. 2011. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/896995/1/CoelhoXIVSBGFA1.pdf> >. Acesso em: 30 abr. 2023.

HOLANDA SILVA, I. L.; LEAL, I. R. **Interações ecológicas em florestas fragmentadas: qual a relação entre o estresse hídrico em plantas e o consumo por formigas cortadeiras?**. Em: XXIII CONIC VII CONITI IV ENIC, Departamento de Botânica – UFPE. Disponível em: <https://www.ufpe.br/documents/616030/863589/Intera%C3%A7oes_ecologicas_em_florestas_fragmentadas.pdf >. Acesso em: 18 de fev. de 2023.

DE MELO RODRIGUES, N. **Potencialidades e impactos ambientais no Parque Nacional do Catimbau e sua zona de amortecimento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6352/1/arquivo8151_1.pdf >. Acesso em: 12 fev. 2023.

DE MELO, F. V. *et al.* **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa, 2009. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/428233/1/aimportanciadamesoemacrofaunado_solo.pdf

DE MOURA, C. A. R. **Influência das Formigas Edáficas nas Propriedades Físicas, Químicas e Microbiológicas do Solo em um Gradiente de Uso da Terra**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/carlos_alberto_moura.pdf >. Acesso em: 12 fev. 2023.

DE SOUZA GOMES, A. P.; RODAL, M. J. N.; DE MELO, A. L. Florística e fitogeografia da vegetação arbustiva subcaducifólia da Chapada de São José, Buíque, PE, Brasil. **Acta bot. bras**, v. 20, n. 1, p. 37-48, 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/3RX7nYQ> >. Acesso em: 12 fev. 2023.

DEMINICIS, B. B. *et al.* Dispersão natural de sementes: importância, classificação e sua dinâmica nas pastagens tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 35-58, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.21071/az.v58i224.5073> >. Acesso em: 12 de mar. de 2023.

DOMINGOS RIBEIRO NETO, J. **Interações ecológicas em florestas fragmentadas: qual a relação entre estresse hídrico em plantas e o relaxamento do controle base-topo das formigas cortadeiras (FORMICIDAE: ATTINI)?**. 2009. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/987/1/arquivo6596_1.pdf>.

Acesso em: 18 de fev. de 2023.

DOS SANTOS SILVA, V.; ALVES, J. J. A. **FEIÇÕES DA VEGETAÇÃO DA CAATINGA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. Em: I Workshop Internacional Sobre Águas no Semiárido Brasileiro. Campina Grande, PB. 2014. Disponível

em: <http://www.editorarealize.com.br/editora/anais/wiasb/2013/Modalidade_4datahora_11_11_2013_12_46_17_idinscrito_373_cd2c6b7d02b73c005ecd8c73721affee.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

DRUMOND, M. A. *et al.* **Estrategias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga**.

Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa, 2000. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/134000/1/usosustentavel.pdf>>.

Acesso em: 12 fev. 2023.

DA SILVA, F. C. *et al.* **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Disponível em:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FALCÃO, P. F. *et al.* **Edge-induced narrowing of dietary diversity in leaf-cutting ants**.

Bulletin of Entomological Research, v. 101, n. 3, p. 305-311, 2011. Disponível

em: <<https://doi.org/10.1017/S000748531000043X>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FARIAS, A. P. **Crescimento das colônias e desenvolvimento dos ninhos de *Atta bisphaerica* e *Atta capiguara* (Hymenoptera: Formicidae)**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia),

Universidade Estadual Paulista, São Paulo. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/214717/farias_ap_dr_botfca.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 14 de mar. de 2023.

BRENER, A. G. F.; SILVA, J. F. **Leaf-cutting ants and forest groves in a tropical parkland savanna of Venezuela: facilitated succession?**. Journal of Tropical Ecology, v. 11, n. 4, p. 651-669, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/s0266467400009202>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FARJI-BRENER, A. G. **Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis**. *Oikos*, v. 92, n. 1, p. 169-177, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.920120.x>>.

Acesso em: 12 fev. 2023.

FARJI-BRENER, A. G. *et al.* **Leaf-cutting ant nests and soil biota abundance in a semi-arid steppe of northwestern Patagonia**. *Sociobiology*, v. 56, n. 2, p. 549, 2010. Disponível em: <

<https://bit.ly/3jPS3k3>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FARJI-BRENER, A. G.; GHERMANDI, L. **Seedling recruitment in a semi-arid Patagonian steppe: Facilitative effects of refuse dumps of leaf-cutting ants**. Journal of Vegetation Science, v. 15, n. 6, p. 823-830, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02325.x>>.

Acesso em: 12 fev. 2023.

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

Disponível em: <<http://www.liho.com.ar/liho/wp-content/uploads/2018/06/Farji-Brener-Illes->

[2000-EcoLet.pdf](#)>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FARJI-BRENER, A. G.; MEDINA, C. A. **The Importance of Where to Dump the Refuse: Seed Banks and Fine Roots in Nests of the Leaf-Cutting Ants *Atta cephalotes* and *A. colombica***¹. *Biotropica*, v. 32, n. 1, p. 120-126, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00454.x>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FARJI-BRENER, A. G.; TADEY, M. **Contributions of leaf-cutting ants to soil fertility: causes and consequences**. *Soil fertility*, p. 81-91, 2009. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/78655200/Contributions_of_leaf-cutting_ants_to_soil_fertility/20220113-22454-1hid6ju.pdf?1642134533=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DContributions_of_leaf_cutting_ants_to_soil_fertility.pdf&Expires=1676255449&Signature=a6M9X97vf7u5tp0JfN9OwkM0s7bqPcz0Uth9a0uC~i1CIHUORtQ216diSHFB7sA7e8m0etOgmVYBZ-TyTRi7pLT-JyKnYoyPrNYwYqjvL19IxpraqtV~mltV4Ubxae5vkrSWRMDrZYPTuQ47ozXXLX1XRGpnAxj2PDIFA1-V9J0UkPk216FurO417lf2fJTNbWYfa~IDOKqgQOwAoFY0l9u5gB7BLokvY16RAOTeVjEwd3hNQ0xDpNIWkCzaK4OhDHRR0meipBi22GVPbzI44ZDsPstyzGSFLP4CwqxqraWVvwPRdandmZI6DfIxVGxZhPJHd5KukIfVLCIMg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FARJI-BRENER, A. G.; WERENKRAUT, V. **A meta-analysis of leaf-cutting ant nest effects on soil fertility and plant performance**. *Ecological Entomology*, v. 40, n. 2, p. 150-158, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/een.12169>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

FARJI-BRENER, A. G.; WERENKRAUT, V. **The effects of ant nests on soil fertility and plant performance: a meta-analysis**. *Journal of Animal Ecology*, v. 86, n. 4, p. 866-877, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/1365-2656.12672>>. Acesso em: 13 fev. de 2023.

FARJI-BRENER, A. G.; TADEY, M. **Consequences of leaf-cutting ants on plant fitness: integrating negative effects of herbivory and positive effects from soil improvement**. *Insectes Sociaux*, v. 64, p. 45-54, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00040-016-0510-2>>. Acesso em: 13 fev. de 2023.

FERNANDES, T. V. *et al.* **Seed manipulation by ants: disentangling the effects of ant behaviours on seed germination**. *Ecological entomology*, v. 43, n. 6, p. 712-718, 2018. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/22790/1/artigo.pdf>>. Acesso em: 12 de mar. de 2023.

FERNÁNDEZ, F.; CASTRO-HUERTAS, A.V. ; SERNA, F. **Hormigas Cortadoras de Hojas de Colombia: *Acromyrmex* & *Atta* (Hymenoptera: Formicidae)**. *Fauna de Colombia*, Monografia No. 5 - Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Fernandez4/publication/274568908_Hormigas_cortadoras_de_hojas_de_Colombia_Acromyrmex_Atta_Hymenoptera_Formicidae/links/552347040cf2a2d9e146ef94/Hormigas-cortadoras-de-hojas-de-Colombia-Acromyrmex-Atta-Hymenoptera-Formicidae.pdf >. Acesso em: 16 de mar. de 2023.

FERREIRA-CHÂLINE, R. S. *et al.* **Como as formigas encontram e coletam sua comida? Uma prática lúdica e integrativa de estudo do comportamento animal, educação física e artes para a educação infantil.** Insetos na educação, cap.6, 1ª ed., Campina Grande, PB, 2021.

Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Graziele-Santiago/publication/356695776_Insetos_na_Educacao_Um_guia_para_professores/links/61a7fe9550e22929cd3c263b/Insetos-na-Educacao-Um-guia-para-professores.pdf#page=95>.

Acesso em: 25 abr. 2023.

COSTA FILHO, W. D. *et al.* **Estudo quantitativo do sistema aquífero tacaratú/inajá na bacia sedimentar do jatobá-pe.** Águas Subterrâneas, 2008. Disponível

em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23711>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FORZZA, R. C. *et al.* **New Brazilian floristic list highlights conservation challenges.**

BioScience, v. 62, n. 1, p. 39-45, 2012. Disponível em: <

<https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.8>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

FOWLER, H. G. *et al.* **A pest is a pest is a pest? The dilemma of neotropical leaf-cutting ants: keystone taxa of natural ecosystems.** Environmental Management, v. 13, p. 671-675, 1989.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF01868306>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

FREIRE, N. C. F. *et al.* **Mapeamento e análise espectro-temporal das Unidades de Conservação de Proteção Integral da administração federal no Bioma Caatinga.** Relatório

Parcial da Pesquisa. Recife, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-073>>.

Acesso em: 13 fev. 2023.

GAMA, D. C. *et al.* **Dispersão de sementes de Copaifera arenicola (Caesalpinioideae-Fabaceae) por formigas cortadeiras em remanescentes de Caatinga.** Advances in Forestry

Science, v. 6, n. 4, p. 843-846, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i4.6339>>.

Acesso em: 12 de mar. de 2023.

GARRETTSON, M. *et al.* **Diversity and abundance of understory plants on active and abandoned nests of leaf-cutting ants (*Atta cephalotes*) in a Costa Rican rain forest.** Journal of Tropical Ecology, v. 14, n. 1, p. 17-26, 1998. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1017/S0266467498000029>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

GUERRA, M. B. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUSA-SOUTO, L. **Características químicas do lixo de formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) mantidos com diferentes substratos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 1185-1189, 2007.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500033>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

HAINES, B. **Impact of leaf-cutting ants on vegetation development at Barro Colorado**

Island. Tropical ecological systems: trends in terrestrial and aquatic research, p. 99-111, 1975.

Disponível em: <doi:10.1007/978-3-642-88533-4_8>. Acesso em: 19 de fev. de 2023.

HÄNSCH, R.; MENDEL, R. R. **Physiological functions of mineral micronutrients (cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, cl).** Current opinion in plant biology, v. 12, n. 3, p. 259-266, 2009.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>>. Acesso em: 14 de fev. de 2023.

HE, C.-J.; MORGAN, P. W.; DREW, M. C. **Transduction of an ethylene signal is required for cell death and lysis in the root cortex of maize during aerenchyma formation induced by hypoxia.** *Plant Physiology*, v. 112, n. 2, p. 463-472, 1996. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC157969/pdf/1120463.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

HIROTA, M. *et al.* **Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions.** *Science*, v. 334, n. 6053, p. 232-235, 2011. Disponível em: <[doi: 10.1126/science.1210657](https://doi.org/10.1126/science.1210657)>. Acesso em: 13 fev. 2023.

HOLANDA, A. C. *et al.* **Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de Caatinga.** *Ciência Florestal*, v. 27, p. 621-633, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509827747>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

INOCENCIO, M. F.; *et al.* **Potássio, sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio.** *Revista Árvore*, v. 38, p. 113-123, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/hHBSJb7tmTgBZqpb7v588c/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

JONKMAN, J. C. M. **Nests of the leaf-cutting ant *Atta vollenweideri* as accelerators of succession in pastures.** *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, v. 86, n. 1-4, p. 25-34, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1978.tb01907.x>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

JORDANO, P. **Geographical ecology and variation of plant-seed disperser interactions: southern Spanish junipers and frugivorous thrushes.** *Vegetatio*, v. 107, p. 85-104, 1993. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00052213>>. Acesso em: 06 de mar. de 2023.

KANG, Y. *et al.* **Mathematical modeling on obligate mutualism: Interactions between leaf-cutter ants and their fungus garden.** *Journal of theoretical biology*, v. 289, p. 116-127, 2011. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1102.2296.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* **Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests.** *Ecology*, v. 74, n. 1, p. 140-151, 1993. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/1939509>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade.** *Informações agronômicas*, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A79657EA91F52F483257AA10060FACB/\\$FILE/Encarte-118.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A79657EA91F52F483257AA10060FACB/$FILE/Encarte-118.pdf)>. Acessado em: 02 de maio de 2023

KLEINEIDAM, C.; ROCES, F. **Carbon dioxide concentrations and nest ventilation in nests of the leaf-cutting ant *Atta vollenweideri*.** *Insectes sociaux*, v. 47, p. 241-248, 2000. Disponível em: <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:352-158321>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

KNOECHELMANN, C. M. *et al.* **Leaf-cutting ants negatively impact the regeneration of the Caatinga dry forest across abandoned pastures.** *Biotropica*, v. 52, n. 4, p. 686-696, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/btp.12782>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

KNOECHELMANN, C. M. **Efeito das formigas cortadeiras sobre a regeneração da caatinga.** Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 2019. Disponível

em:<<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/33470>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

LAL, R. **Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 24, n. 1-3, p. 101-116, 1988. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90059-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90059-X)>. Acesso em: 13 fev. 2023.

LEAL, I. R.; OLIVEIRA, P. S. **Foraging ecology of attine ants in a Neotropical savanna: seasonal use of fungal substrate in the cerrado vegetation of Brazil**. Insectes Sociaux, v. 47, p. 376-382, 2000. Disponível em:<https://www2.ib.unicamp.br/profs/pso/pdf/leal_oliveira2000.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2023.

LEAL, I. R. *et al.* **Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil**. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005. Disponível em:<https://www.academia.edu/download/50013995/1_Leal_et_al_conservacao_caatinga.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2023.

LEAL, I. R. *et al.* **Plant–Animal interactions in the Caatinga: overview and perspectives**. Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America, cap. 9, p. 255-278, 2017. Disponível em:<https://www.researchgate.net/profile/Inara-Leal/publication/322375257_Plant-Animal_Interactions_in_the_Caatinga_Overview_and_Perspectives/links/5b210b840f7e9b0e373fa1a6/Plant-Animal-Interactions-in-the-Caatinga-Overview-and-Perspectives.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

LEAL, I. R. *et al.* **Formigas-cortadeiras e a ambiguidade de suas relações com plantas**. Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva. Rio de Janeiro: Technical Books, p. 215-239, 2012. Disponível em:<https://www.researchgate.net/profile/Inara-Leal/publication/289671918_Formigas_cortadeiras_e_a_ambiguidade_de_suas_relacoes_com_plantas/links/5691275308aee91f69a4f38a/Formigas-cortadeiras-e-a-ambiguidade-de-suas-relacoes-com-plantas.pdf>. Acesso em: 18 de fev. de 2023.

LEAL, I. R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. **The multiple impacts of leaf-cutting ants and their novel ecological role in human-modified neotropical forests**. Biotropica, v. 46, n. 5, p. 516-528, 2014. Disponível em:<<https://doi.org/10.1111/btp.12126>>. Acesso em: 13 fev. 2023. Acesso em: 13 fev. 2023.

LOPES, J. F. B. *et al.* **Potential for nutrient contribution from litter in a seasonally dry forest**. Revista Agro@mbiente On-line, v. 11, n. 4, p. 269-276, 2017. Disponível em:<<https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/4563>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

MACHADO, C. C. C. **Alterações na superfície do Parque Nacional do Catimbau (PE-Brasil): consolidação dos aspectos biofísicos na definição dos indicadores ambientais do bioma Caatinga**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. Disponível em:<<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13966/1/TESE%20Celia%20Cristina%20Clemente%20Machado.pdf>>. Acesso em: 1 de abr. de 2023.

MARICONI, F. A. M. **As saúvas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1º ed., P. 1-167, 1970.

MARINHO, F. **Padrão de distribuição de fungos micorrízicos arbusculares e atividade microbiana do solo no Parque Nacional do Catimbau-PE**. 2014. Dissertação (Mestrado em

Ciências Biológicas) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. Disponível em:
<<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17496/1/DISSERTACAO%20BIBLIOTECA%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 1 de abr. de 2023.

MARINHO, C. G. S.; DELLA LUCIA, T. M. C.; PICANÇO, M. C. **Fatores que dificultam o controle das formigas cortadeiras**. Bahia Agrícola, v. 7, n. 2, p. 18-21, 2006. Disponível em:
<http://www.seagri.ba.gov.br/sites/default/files/comunicacao3_v7n2.pdf>. Acesso em: 16 de mar. de 2023.

MARTORELL, C.; PETERS, E. M. **The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera***. Biological Conservation, v. 124, n. 2, p. 199-207, 2005. Disponível em:<doi:10.1016/j.biocon.2005.01.025>. Acesso em: 13 fev. 2023.

DE MELO, F. V. *et al.* **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa, 2009. Disponível em:
<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/428233/1/aimportanciadamesoemacrofaunad osolo.pdf>>.

MENDES, M. da C. *et al.* **Caracterização e gênese de uma topossequência neossolo quartzarênico-latossolo amarelo no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco. 2012. Disponível em:
<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5217>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MEYER, S. T. *et al.* **Ecosystem engineering by leaf-cutting ants: nests of *Atta cephalotes* drastically alter forest structure and microclimate**. Ecological entomology, v. 36, n. 1, p. 14-24, 2011. Disponível em: doi<[10.1111/j.1365-2311.2010.01241.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2010.01241.x)>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MEYER, S. T. *et al.* **Performance and fate of tree seedlings on and around nests of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes*: ecological filters in a fragmented forest**. Austral Ecology, v. 36, n. 7, p. 779-790, 2011. Disponível em: doi <[10.1111/j.1442-9993.2010.02217.x](https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2010.02217.x)>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MEYER, S. T. *et al.* Leaf-cutting ants as ecosystem engineers: topsoil and litter perturbations around *Atta cephalotes* nests reduce nutrient availability. **Ecological Entomology**, v. 38, n. 5, p. 497-504, 2013. Disponível em: <doi:10.1111/een.12043>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MILES, L. *et al.* A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of biogeography**, v. 33, n. 3, p. 491-505, 2006. Disponível em:
<<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=34a19e0d7582854e5cd393177326e4be1a87faae>>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MMA – Ministério do Meio Ambiente (Brasil). **Mapeamento e Análise Espectro-Temporal das Unidades de Conservação de Proteção Integral da Administração Federal no Bioma Caatinga**. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br>>. Acesso: 14 de dez. de 2016.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Interação magnésio e manganês e magnésio e zinco no teor e conteúdo de óleo e de proteína em quatro cultivares de soja**. In: Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 29., 2003.

MOREIRA, A. A. *et al.* Mesa redonda arquitetura dos ninhos das formigas cortadeiras de gramíneas. **Biológico**, São Paulo, v. 69, n. suplemento 2, p. 83-85, 2007. Disponível em: <http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/suplementos/v69_supl_2/p83-85.pdf>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MOREIRA, A. *et al.* Nest architecture of *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera: formicidae). **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 39, n. 2, p. 109-116, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01650520412331333756>>. Acesso em: 11 de fev de 2023.

MOREIRA, A. A. *et al.* External and internal structure of *Atta bisphaerica* Forel (Hymenoptera: Formicidae) nests. **Journal of Applied Entomology**, v. 128, n. 3, p. 204-211, 2004. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/227793635>>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MOREIRA, A. A. *et al.* Comparação entre parâmetros externos e internos de ninhos de *Atta bisphaerica* Forel, 1908 (Hymenoptera, Formicidae). **Acta Scientiarum: Biological and Health Sciences**, p. 369-373, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/67089/2-s2.0-0036939068.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

MOREIRA, A. A. **Atta bisphaerica, Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae)**: arquitetura do ninho e distribuição de isca nas câmaras. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106695/moreira_aa_dr_botfca.pdf?sequence=1>. Acesso em: 13 de fev. de 2023.

MOREIRA, A. *et al.* Nest architecture of *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera: formicidae). **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 39, n. 2, p. 109-116, 2004. Disponível em: <doi:10.1080/01650520412331333756>. 13 de fev. de 2023.

MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; DAVIDSON, E. A. **Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia**. *Ecology*, v. 84, n. 5, p. 1265-1276, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[1265:IOLANO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1265:IOLANO]2.0.CO;2)>. 13 de fev. de 2023.

OLIVEIRA, F. M. P. de. **Perturbações antrópicas e mudanças climáticas na Caatinga**: efeitos sobre os serviços providos por formigas às plantas. 2018. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/30579/1/TESE%20Fernanda%20Maria%20Pereira%20de%20Oliveira.pdf>> Acessado em: 13 de fev. de 2023.

OLIVEIRA, F. M. P. *et al.* Leaf-cutting ant nests support less dense and impoverished seed assemblages in a human-modified Caatinga dry forest. *Biotropica*, v. 55, n. 2, p. 444-453, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/btp.13198>>. Acesso em: 23 de fev. de 2023.

OLIVEIRA, M. V. de *et al.* **Efeitos dos ninhos de *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae) sobre a estrutura da comunidade de artrópodes do solo na**

Mata Atlântica. 2017. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: [≤
https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1925](https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1925) >. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

OLIVEIRA, M. de S. **Tolerância de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) à toxidez por alumínio em solução.** 2012.

LABANCA, E. R. G. **Impacto de bactérias promotoras de crescimento de plantas no microbioma radicular e na fisiologia da cana-de-açúcar em solo com excesso de alumínio.** 2019. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico, São Paulo.

PARÉ, P. W.; TUMLINSON, J. H. **Plant volatiles as a defense against insect herbivores.** *Plant physiology*, v. 121, n. 2, p. 325-332, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.121.2.325> >. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

PEREIRA, E. G. *et al.* **O metabolismo de nitrogênio em plantas de arroz é severamente afetado pela deficiência de cálcio e magnésio.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 15351-15362, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/8112/7006> >. Acesso em: 16 de fev. de 2023.

PEDROTTI, A. *et al.* **Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 01-09, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/G83yHLdsBfvCzT9h7nM4NGR/?format=pdf&lang=pt> >. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. **Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 40, p. 437-457, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/3xlgvNe> >. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. **Distribution and turnover rate of a population of *Atta cephalotes* in a tropical rain forest in Costa Rica.** *Biotropica*, p. 316-321, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2388789> >. Acesso em: 18 de fev. de 2023.

PÊTAL, J. **The influence of ants on carbon and nitrogen mineralization in drained fen soils.** *Applied Soil Ecology*, v. 9, n. 1-3, p. 271-275, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(97\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(97)00052-8) >. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

PRADO, R. de M.; NATALE, W. **Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 1007-1012, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/JMDtSmQWGnPBhNH5ZrGgRKF/?format=pdf&lang=pt> >. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

PRETTO, D. R. **Arquitetura dos túneis de forrageamento e do ninho de *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera-Formicidae), dispersão de substrato e dinâmica do inseticida na colônia.** 1996. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(97\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(97)00052-8) >. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

RAO, M.; TERBORGH, J.; NUÑEZ, P. **Increased herbivory in forest isolates: implications for plant community structure and composition**. *Conservation Biology*, v. 15, n. 3, p. 624-633, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015003624.x>>. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

RESENDE, M. *et al.* **Pedologia: base para distinção de ambientes**. In: Lavras: Editora-UFLA. 6ª edição, 2014.

RIBEIRO, L. da S. *et al.* **Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 891-897, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bJWdVFmtC9gHHNsqw3wWfP/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

RICO-GRAY, V.; OLIVEIRA, P. S. **The ecology and evolution of ant-plant interactions**. University of Chicago Press, p. 309, 2008. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=kOZaEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+ecology+and+evolution+of+antplant+interactions&ots=I0bs61m6BR&sig=aVTw1J4W3xmyh1iiSus1MJEbbmA#v=onepage&q=The%20ecology%20and%20evolution%20of%20antplant%20interactions&f=false>>. Acessado em: 08 de fev de 2023.

RITO, K. F. *et al.* **Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation**. *Journal of Ecology*, v. 105, n. 3, p. 828-838, 2017. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1365-2745.12712>>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

RIVA, R. D. D. Efeitos das propriedades físicas dos grãos da fração areia de solos arenosos e de agentes de cimentação no comportamento de sistemas empacotados. 2010. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/821/1/texto%20completo.pdf>>. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

RODRIGUES, A. *et al.* **Relatório de Visita ao Parque Nacional do Itatiaia**. Rio Claro –SP, Rio. Unesp - Instituto de Biociências, 2008. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia/images/stories/2021/o-que-fazemos/notas-de-pesquisa/436f.pdf>>. Acesso em: 14 de mar. de 2023.

ROSSI, M. V. **Determinação dos principais micronutriente (metais e não metais) presentes no solo e espécie vegetal (baccharis regnelli) da região de Campos do Jordão**. 2012. Projeto de Pesquisa – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Disponível em: <<http://dspace.mackenzie.br/handle/10899/14507>>. Acesso em: 14 de mar. de 2023.

RUFINO, M. U. de L. *et al.* **Conhecimento e uso do ouricuri (Syagrus coronata) e do babaçu (Orbignya phalerata) em Buíque, PE, Brasil**. *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, p. 1141-1149, 2008. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/821/1/texto%20completo.pdf>>. Acessado em: 13 de fev. de 2023.

SAMPAIO, E. V. de S. B. *et al.* **Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 33, n. 5, p. 621-632, 1998. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/4890/7006>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

DA SILVA SANTANA, J. A.; SILVA SOUTO, J. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000200011>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

SANTOS NETO, P. E. **Efeito das formigas cortadeiras Atta e Acromyrmex nos atributos do solo e na regeneração da Caatinga.** 2021. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46423>>. Acesso em: 14 de fev. de 2023.

SANTOS, L. *et al.* Frugivoria por aves em quatro espécies de Cactaceae na Caatinga, uma floresta seca no Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 109, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4766e2019034>>. Acesso em: 06 de mar. de 2023.

SANTOS, R. S. **Viabilidade do lixo de formigueiro como substrato para cultivo orgânico de mudas de alface.** 2014. Monografia (Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Sergipe. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/bitstream/riufs/8223/2/Rafaella_Santana_Santos.pdf>.

SCHLESINGER, W. H. *et al.* Biological feedbacks in global desertification. **Science**, v. 247, n. 4946, p. 1043-1048, 1990. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/bitstream/riufs/8223/2/Rafaella_Santana_Santos.pdf>.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco, Recife, Brasil, 2002.

SERAFIM FILHO, G. L. *et al.* **Composição florística e fitossociologia de duas áreas de caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco. Disponível em: <<http://tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/5430/2/Gilvan%20Lopes%20Serafim%20Filho.pdf>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

SERAFIM-FILHO, G. L. *et al.* Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em duas áreas sedimentares do Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 6, n. 2, p. 136-152, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.24221/jeap.6.2.2021.3982.136-152>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

SILVA, M. C. S. *et al.* Heterogeneidade de substratos e diversidade de herbáceas na Caatinga sedimentar e cristalina. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 3, n. 1, 2018. Disponível em: <<https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/download/45/87>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

SILVA, I. L. de H. **Herbivoria de formigas cortadeiras influencia o sucesso reprodutivo de plantas nativas da Caatinga.** 2021. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47801>>. Acesso em: 06 de mar. de 2023.

SILVA, P. D. *et al.* Harvesting of *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. seeds (Burseraceae) by the leaf-cutting ant *Atta sexdens* L. promotes seed aggregation and seedling mortality. **Brazilian Journal of Botany**, v. 30, p. 553-560, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbb/a/b8sf4fvcS9N45YNrnNrGpqc/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 11 de mar. de 2023.

SIQUEIRA, F. F. S. *et al.* Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 33, n. 5, p. 337-344, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0266467417000311>>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

SOUSA-SOU, L. *et al.* Determinação do fator de conversão em colônias de *Atta sexdens* rubropilosa (Hymenoptera: Formicidae) e sua relação com a qualidade do material vegetal cortado. **Revista Árvore**, v. 31, p. 163-166, 2007. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/15483/1/18.pdf>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

SOUSA-SOUTO, L. *et al.* Ant nests and soil nutrient availability: the negative impact of fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, n. 6, p. 639-646, 2008. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/23174/1/artigo.pdf>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, v. 3, 2013.

STERNBERG, L. D.; Pinzon, M. C.; Moreira, M. Z.; Moutinho, P.; Rojas, E. I.; Herre, E. A. **Plants use macronutrients accumulated in leaf-cutting ant nests**. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 315–321. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3746>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

SWANSON, A. C. *et al.* Welcome to the *Atta* world: A framework for understanding the effects of leaf-cutter ants on ecosystem functions. **Functional ecology**, v. 33, n. 8, p. 1386-1399, 2019. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1365-2435.13319>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

TABARELLI, M.; PERES, C. A.; MELO, F. P. L. The ‘few winners and many losers’ paradigm revisited: emerging prospects for tropical forest biodiversity. **Biological Conservation**, v. 155, p. 136-140, 2012. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/lcb/lerf/divulgacao/recomendados/artigos/tabarelli2012.pdf>>. Acessado em: 14 de fev de 2023.

TABARELLI, M.; SIQUEIRA, F. F.; BACKÉ, J.; WIRTH, R.; LEAL, I. R.; OLIVEIRA, P. S.; KOPTUR, S. Ecology of leaf-cutting ants in human-modified landscapes. **Ant-plant interactions: impacts of humans on terrestrial ecosystems**. Oxford, Cambridge, 73-90, 2017b. Disponível em: <<https://bityli.com/8qvbh>>. Acessado em: 14 de fev de 2023.

TABARELLI, M. *et al.* The future of the Caatinga. **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**, p. 461-474, 2017a. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Tabarelli/publication/322381347_Caatinga_The_Largest_Tropical_Dry_Forest_Region_in_South_America/links/>

[5c7679c4a6fdcc47159fc65b/Caatinga-The-Largest-Tropical-Dry-Forest-Region-in-South-America.pdf#page=466](https://doi.org/10.5772/intechopen.100000)>. Acesso em: 28 de fev de 2023.

TERBORGH, J. *et al.* Tree recruitment in an empty forest. **Ecology**, v. 89, n. 6, p. 1757-1768, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1890/07-0479.1>> Acessado em: 09 de fev de 2023.

URBAS, P. *et al.* Cutting more from cut forests: edge effects on foraging and herbivory of leaf-cutting ants in Brazil. **Biotropica**, v. 39, n. 4, p. 489-495, 2007. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36858397/Urbas_et_al_2007-libre.pdf?1425495265=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCutting+More+from+Cut+Forests+Edge+Effec.pdf&Expires=1676731261&Signature=TWkVCwzuRa3SrRfmJ6NC6c4103PUxDXFLrcm-KX0RFz9U0k5tuq3g2Z9Rv8hAoiGfw~EpIRUk8mu9hwcohzpG6Lw7EIpKErDub8ASKw-i3IukIIFNmSre-Tic0W59A3h9-J~mYDu3VAhs1jHjiuFABJCxcq0VLZzTnFJoCu9zrdE4QvIAQ4NyE9qDfK~WTdJ0mMrpPiNifiIq~TNNExf3F-HKmEM9tRyu7nYi2EbG8DSGO0ypqVaGvLcJV87vsIhzD93rxdG5aYzRQLKOnQ4rzSOatamtgbPksgh91eoo~Bt-KmnmgbYTZccXN7c0EKyXFjGglaBrmTL9iGKb~TsjQ_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA> . Acesso em: 18 de fev. de 2023.

URBAS, P. **Effects of forest fragmentation on bottom-up control in leaf-cuttings ants**. 2005. Tese de Doutorado. Technische Universität Kaiserslautern. Disponível em:
<https://kluedo.ub.rptu.de/frontdoor/deliver/index/docId/1595/file/Dissertation_Pille_Urbas.pdf>.
Acesso em: 25 de fev. de 2023.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elements from soil to human**. Springer Science & Business Media, 2007. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/absuL>>. Acesso em: 25 de fev. de 2023.

VALBRUN, W. Estoque de carbono e nitrogênio sob diferentes usos da terra em floresta tropical sazonalmente seca. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Ceará. Disponível em:<https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/30807/3/2018_dis_wvalbrun.pdf>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

VAN DER SLUIJS, D. H.; DONAHUE, R. L.; SHICKLUNA, J. C.; ROBERTSON, L. S. Soils. **An Introduction to Soils and Plant Growth. Journal of Range Management.** 25(3), 242, 1972. Disponível em: doi:10.2307/3897070. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

VAN GILS, H. A. J. A.; VANDERWOUDE, C. Leafcutter ant (AttA sExdEns)(Hymenoptera: formiciDae) nest Distribution responDs to canopy removal and cHanges in micro-climate in the southHern coLombian amazon. **Florida Entomologist**, v. 95, n. 4, p. 914-921, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1653/024.095.0414>>. Acessado em: 14 de fev. de 2023.

VASCONCELOS, H. L.; CHERRETT, J. M. Leaf-cutting ants and early forest regeneration in central Amazonia: effects of herbivory on tree seedling establishment. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 3, p. 357-370, 1997. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/profile/Heraldo-Vasconcelos/publication/231959611_Leaf-cutting_ants_and_early_forest_regeneration_in_central_Amazonia_Effects_of_herbivory_on_tree_seedling_establishment/links/5906666c0f7e9bc0d590fa31/Leaf-cutting-ants-and-early-forest-

[regeneration-in-central-Amazonia-Effects-of-herbivory-on-tree-seedling-establishment.pdf](#)>.

Acessado em: 14 de fev. de 2023.

WIRTH, R. *et al.* Annual foraging of the leaf-cutting ant *Atta colombica* in a semideciduous rain forest in Panama. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 5, p. 741-757, 1997. Disponível em: <doi:10.1017/s0266467400010907>. Acesso em: 19 de fev. de 2023.

WIRTH, R.; HERZ, H.; RYEL, R. J.; BEYSCHLAG, W.; HÖLLDOBLER, B. Herbivory of Leaf-Cutting Ants. *Ecological Studies*, v. 164, p.1-215, 2003. Disponível em:<doi:10.1007/978-3-662-05259-4>. Acesso em: 18 de fev. de 2023.

WIRTH, R. *et al.* **Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest.** *Journal of Tropical Ecology*, v. 23, n. 4, p. 501-505, 2007. Disponível em: < http://journals.cambridge.org/abstract_S0266467407004221 >. Acesso em: 14 de fev. de 2023.