



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**



**JOSÉ MARQUES SOUZA DO NASCIMENTO**

**O papel subestimado do lixo de formigas cortadeiras na  
retenção de água no solo: uma evidência experimental**

São Cristóvão  
2025.2



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**



**JOSÉ MARQUES SOUZA DO NASCIMENTO**

**O papel subestimado do lixo de formigas cortadeiras na  
retenção de água no solo: uma evidência experimental**

Profa. Dra. Maria Aparecida Moreira

Monografia apresentada ao  
Departamento de Ecologia da  
Universidade Federal de Sergipe como  
parte dos requisitos para obtenção do  
título de Bacharel em Ecologia.

São Cristóvão, Sergipe  
2025.2

Para Dona Maria, minha mãe, quem me ensinou sobre amor e força através do exemplo.

## AGRADECIMENTOS

A vida nos coloca diariamente à prova em diversos aspectos, e isso, invariavelmente, vai nos tornando mais maduros, mais fortes e mais preparados para a vida. No entanto, não importa o quão forte e independente sejamos: ter com quem contar faz toda a diferença. Por isso, acredito que ninguém faz quase nada sozinho. Todas as pessoas que passam ou permanecem em nossas vidas trazem contribuições que ajudam a construir quem somos.

Por ter chegado até aqui, trago comigo imensa gratidão a todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a minha formação. Mas gostaria de iniciar meus agradecimentos não a uma pessoa, e sim a uma instituição que, até hoje, foi a que mais me moldou não apenas profissional e academicamente, mas também como jovem, como cidadão, como ser humano. À nossa *alma mater*, a Universidade Federal de Sergipe, o meu sincero agradecimento e também o meu comprometimento em sua defesa como universidade pública, gratuita e de qualidade. À UFS, o meu muito obrigado!

À minha família, que foi o alicerce sólido de toda essa jornada, meu agradecimento mais profundo. Talvez eles não saibam (apesar de eu achar que sim), mas foram fundamentais para que eu pudesse concluir esta graduação. E não, não estou exagerando: sei que, sozinho, sem o apoio deles, eu não teria conseguido. Para além do apoio financeiro em momentos pontuais importantes, sempre houve o acolhimento, as ligações, os questionamentos, os conselhos, os incentivos, as palavras e até mesmo o silêncio quando o pedi e fui respeitado.

Em especial, agradeço à minha mãe, pelo amor e apoio incondicional que sempre me proporcionou, pelos bons conselhos e por me acolher nas inúmeras vezes em que não estive bem e seu colo me serviu de abrigo. A senhora não sabe, mas me ensinou grande parte do que sei sobre amor e força, sem dizer uma palavra sobre o assunto, sempre pelo exemplo. Obrigado, mãe!

Aos meus irmãos, Wagner, Gabriel, Joaquim, Melissa, Natália e Joana, e minha cunhada Inês, muito obrigado. Cada um de vocês, à sua maneira, contribuiu para que eu chegasse até aqui.

Aos meus amigos, dedico um parágrafo especial, que me preocupa pela imensa responsabilidade de não esquecer de citar ninguém. Mas quem é meu amigo de verdade sabe que minha memória não é das melhores e sei que compreenderão. Vocês, que estiveram comigo, ocuparão sempre um lugar especial no meu coração por tudo que representam: Viviane, Albert,

Raquel, Pedro Vinícius, Vitória, Pedro Henrique, Joel, Kelly, Darlan, Mateus, Paulo, Sivaldo, Maya, Nanci, Victória Andrade, Natanael, Daiane, Gabriel, Raufe, Lucas Bomfim. Muito obrigado a cada um de vocês.

É com orgulho que faço questão de dedicar um parágrafo de agradecimento à Professora Cida, por ter me acolhido no Departamento de Agronomia como seu orientando. De lá pra cá, foram inúmeros os conhecimentos que aprendi com a senhora, e que com certeza levarei para a vida com um carinho especial. Agradeço por ser uma pessoa tão profissional e, ao mesmo tempo, tão humana. Lembro-me como se fosse hoje quando a senhora viu meu desespero com matemática básica e fez questão de me ensinar pessoalmente. Naquele dia em que fui fazer a prova e consegui responder as duas questões no quadro, na frente de toda a turma, tive certeza de que ter com quem contar nos leva mais longe. Saí dali com o sentimento de que sou capaz de aprender qualquer conteúdo. Saiba que a senhora fez e faz parte disso.

Aos professores e professoras da UFS com quem tanto aprendi, em especial aos do Departamento de Ecologia: Adriana, Ana Paula, Bianca, Alexandre, Aduino, Stephen, Sidney, Márcia, Jean e Leandro, muito obrigado.

Deixo aqui um agradecimento especial ao Prof. Dr. Leandro Souto, por ter me dado oportunidade em seu laboratório como aluno de iniciação científica e também por ter me feito gostar de estatística e análise de dados. É com orgulho que, graças aos seus ensinamentos, fiz sozinho a estatística deste trabalho.

Também não posso deixar de mencionar o professor Alexandre, que talvez não saiba, mas teve enorme importância, não só pelos ensinamentos, mas também por quando insistiu em entrar em contato comigo e me incentivou a voltar para concluir a graduação após a pandemia. Obrigado, professor.

Agradeço imensamente aos membros da banca examinadora, que gentilmente aceitaram o convite para contribuir com este trabalho: Professora Dra. Maria Aparecida, Prof. Dr. Leandro Souto, Prof. Dr. Jean Santos e Me. Joel Marques. Muito obrigado pela disponibilidade, pelo tempo dedicado e por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço ainda aos laboratórios de Tecnologia e Monitoramento Ambiental (NUPEG) e de Água e Solo (DEA), onde foram realizados o experimento e as análises de solo, além de toda a infraestrutura da UFS que permitiu minha formação.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista, meu muito obrigado. Levarei cada gesto, cada palavra e cada ensinamento comigo para toda a vida.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. Área do estudo</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2. Método de medição da retenção de água</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. Coleta e Preparo das Amostras</b> .....	<b>6</b>
<b>2.4. Delineamento Experimental</b> .....	<b>8</b>
<b>2.5. Procedimento Experimental</b> .....	<b>8</b>
<b>2.6. Cálculo da Retenção de Água</b> .....	<b>9</b>
<b>2.7. Análise Estatística</b> .....	<b>10</b>
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>11</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>15</b>

## RESUMO

**Título:** O papel subestimado do lixo de formigas cortadeiras na retenção de água no solo: uma evidência experimental.

Além de serem consideradas pragas agrícolas, as formigas cortadeiras (*Atta opaciceps*) atuam como engenheiras de ecossistemas ao alterarem o solo por meio, dentre outras coisas, da deposição de material orgânico em câmaras. Apesar de pesquisas anteriores terem mostrado que o lixo produzido por essas formigas enriquece quimicamente o solo, seus impactos na dinâmica da água ainda são pouco estudados. Este estudo teve como objetivo verificar se o lixo de *Atta opaciceps* modifica a retenção de água no solo, testando a hipótese de que sua inclusão aumenta a retenção de água, em ambiente controlado. O experimento foi conduzido em laboratório, utilizando um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e nove repetições cada. Os tratamentos foram: lixo puro (L), solo de formigueiro (SF), solo controle (SC), solo de formigueiro + lixo (SFL) e solo controle + lixo (SCL). Todo o material foi coletado em uma área de pastagem no município de Pedro Alexandre, na Bahia. A retenção de água foi avaliada utilizando método gravimétrico adaptado: as amostras foram saturadas por capilaridade durante 24 horas, drenadas por 12 horas, pesadas, secas em estufa a 105°C por 24 horas e, por fim, pesadas novamente. A água retida foi equivalente à diferença entre a massa saturada e a massa seca. Os dados foram analisados utilizando o teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo pós-teste de Dunn com a correção de Benjamini-Hochberg. Houve uma diferença significativa entre os tratamentos ( $\chi^2 = 36,705$ ; gl = 4;  $p = 2,07 \times 10^{-7}$ ). O lixo puro apresentou a maior retenção (mediana = 5,87 mL), distinguindo-se da maioria dos tratamentos, com exceção do solo de formigueiro com lixo (SFL: 5,33 mL). O solo controle apresentou os valores mais baixos (2,74 mL), sem diferença estatística em relação ao solo de formigueiro (SF: 3,97 mL). A adição de lixo ao solo controle (SCL: 4,52 mL) elevou significativamente a retenção em relação ao SC. Observou-se um aumento gradiente na retenção:  $SC < SF \approx SCL < SFL \approx L$ . Os resultados corroboram a hipótese e mostram que o lixo de *Atta opaciceps* funciona como um agente modificador das características físico-hídricas do solo. Esse resultado expande o entendimento sobre as formigas cortadeiras como engenheiras de ecossistemas, sugerindo que o lixo descartado pode levar à variação na disponibilidade de água na paisagem e criar microsítios propícios para o crescimento de plantas. São necessários estudos futuros em condições de campo para determinar a importância ecológica desse efeito e sua viabilidade para uso em estratégias de recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** *Atta opaciceps*; engenheiros de ecossistemas; retenção hídrica; matéria orgânica; restauração ecológica.

## ABSTRACT

**Title:** The underestimated role of leaf-cutting ant refuse in soil water retention: an experimental evidence

In addition to being considered agricultural pests, leaf-cutting ants (*Atta opaciceps*) act as ecosystem engineers by altering the soil through, among other things, the deposition of organic material in chambers. Although previous research has shown that the refuse produced by these ants chemically enriches the soil, its impacts on water dynamics remain poorly studied. This study aimed to verify whether *Atta opaciceps* refuse modifies soil water retention, testing the hypothesis that its inclusion increases water retention under controlled conditions. The experiment was conducted in the laboratory using a completely randomized design with five treatments and nine replicates each. The treatments were: pure refuse (L), nest soil (SF), control soil (SC), nest soil + refuse (SFL), and control soil + refuse (SCL). All material was collected from a pasture area in the municipality of Pedro Alexandre, Bahia state, Brazil. Water retention was assessed using an adapted gravimetric method: samples were capillary-saturated for 24 hours, drained for 12 hours, weighed, oven-dried at 105°C for 24 hours, and finally weighed again. Retained water was equivalent to the difference between saturated mass and dry mass. Data were analyzed using the Kruskal-Wallis test, followed by Dunn's post-hoc test with Benjamini-Hochberg correction. A significant difference was found among treatments ( $\chi^2 = 36.705$ ;  $df = 4$ ;  $p = 2.07 \times 10^{-7}$ ). Pure refuse showed the highest retention (median = 5.87 mL), differing from most treatments, except for nest soil with refuse (SFL: 5.33 mL). Control soil showed the lowest values (2.74 mL), with no statistical difference from nest soil (SF: 3.97 mL). A gradient increase in retention was observed:  $SC < SF \approx SCL < SFL \approx L$ . The results corroborate the hypothesis and show that *Atta opaciceps* refuse acts as a modifying agent of soil physical-hydraulic characteristics. This finding expands the understanding of leaf-cutting ants as ecosystem engineers, suggesting that discarded refuse may lead to variation in water availability across the landscape and create microsites favorable for plant growth. Future field studies are needed to determine the ecological significance of this effect and its feasibility for use in degraded area restoration strategies.

**Keywords:** *Atta opaciceps*; ecosystem engineers; water retention; organic matter; ecological restoration.

## 1. INTRODUÇÃO

Solos biologicamente ativos apresentam maior estabilidade estrutural e capacidade de retenção hídrica, características fundamentais para a manutenção dos processos ecológicos. Nesse sentido, as formigas cortadeiras são reconhecidas não apenas por seus impactos econômicos na agricultura, mas também por seu relevante papel ecológico como engenheiras de ecossistemas. A construção de extensos ninhos subterrâneos promove modificações significativas nas propriedades físicas e químicas do solo, bem como na estrutura da vegetação, resultando em alterações na dinâmica e na configuração da paisagem (Leal et al., 2012; Santos Neto, 2021). Durante o forrageamento, essas formigas transportam grandes quantidades de material vegetal para o interior dos ninhos, onde cultivam o fungo simbiote que constitui sua principal fonte de alimento (Dejean et al., 2023).

Parte do material processado é posteriormente descartada em câmaras de lixo, formando depósitos compostos por restos vegetais, fragmentos do fungo simbiote e formigas mortas (Nascimento, 2023). A alocação da câmara de lixo varia conforme a espécie de formiga: enquanto algumas descartam os resíduos na superfície, outras os depositam em câmaras subterrâneas, havendo ainda espécies que apresentam comportamento flexível, podendo descartar tanto externamente quanto em câmaras internas (Farji-Brener et al., 2016; Verza et al., 2019). Evidências indicam que esses depósitos exercem efeitos positivos sobre o crescimento e o desenvolvimento de plantas, principalmente em função do incremento de nutrientes provenientes da matéria orgânica acumulada. Como consequência, observam-se alterações na estrutura do solo, no pH e na disponibilidade de macro e micronutrientes (Moutinho et al., 2003; Santana Santos et al., 2019; Santos; Sousa-Souto, 2023; Oliveira, 2024, ).

Por outro lado, embora já existam muitos estudos sobre os efeitos do lixo no solo e nas plantas, ainda não está claro como esse material pode também afetar a dinâmica hídrica do solo associado às câmaras de descarte, seja aumentando ou diminuindo a retenção de água e, consequentemente, sua disponibilidade para as plantas e outros microrganismos (Santos Neto 2021). A água desempenha um papel importante na física e na química do solo e é fundamental para os processos bióticos e abióticos que ocorrem no mesmo, de modo que todos os processos vivos dependem dela (Dane 2002), como é o caso do estabelecimento e crescimento de plantas. Dinneny (2019) e Horel et al. (2024), reforçam essa perspectiva ao demonstrar que a água no solo influencia diretamente a absorção de nutrientes pelas raízes e regula a atividade

microbiana, processos bioquímicos indispensáveis ao desenvolvimento vegetal. Além disso, a disponibilidade hídrica está intimamente relacionada aos processos fisiológicos das plantas, impactando reações químicas, dinâmicas biológicas e o equilíbrio funcional do ecossistema edáfico, ao integrar interações físico-químicas e bióticas/abióticas (Horel et al. 2025).

A dinâmica hídrica do solo refere-se aos processos de infiltração, armazenamento, redistribuição e movimentação da água no perfil, os quais são controlados por propriedades físico-hídricas como textura, estrutura, porosidade e teor de matéria orgânica, determinando a disponibilidade hídrica às plantas e influenciando processos hidrológicos e ecológicos no sistema solo-planta-atmosfera (Confessor, Silva, Rodrigues 2024). Sob essa perspectiva, a presença de água regula reações químicas essenciais, como dissolução, transporte de nutrientes e trocas iônicas, ao mesmo tempo em que condiciona atributos físicos, como agregação, estabilidade estrutural e condutividade hidráulica, evidenciando sua função integradora entre os aspectos químicos e físicos (Dane 2002).

Assim, devido à água ser um fator limitante em regiões de clima mais seco, bem como em áreas degradadas e solos muito drenantes, alterações de propriedades do solo que resultem no aumento da retenção de água tendem a facilitar o estabelecimento e sobrevivência de plantas, de modo que o lixo de formigas cortadeiras pode representar um potencial positivo subestimado na regeneração natural de áreas degradadas (Nascimento 2023; Oliveira 2024), possivelmente devido a sua influência na dinâmica hídrica. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar se o lixo produzido por *A. opaciceps* altera a retenção de água do solo em condições laboratoriais. A hipótese estabelecida foi a de que a adição do lixo de *A. opaciceps* aumenta a retenção de água no solo sob condições controladas em laboratório.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área do estudo**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal de Sergipe, *Campus* São Cristóvão, Rosa Elze, São Cristóvão - SE. Todo o material utilizado para formulação dos tratamentos foi coletado em uma área de pastagem no povoado Pindoba, Zona Rural de Pedro Alexandre-BA (-10.180472, -37.800960; figura 1). O município de Pedro Alexandre, localizado no nordeste do estado da Bahia, insere-se na região do semiárido brasileiro e apresenta clima do tipo semiárido quente (BSh) segundo a classificação de Köppen, caracterizado por altas temperaturas médias anuais, chuvas escassas e irregulares e longos períodos de estiagem (MARENGO et al., 2011). A vegetação predominante é a Caatinga, composta por formações arbustivo-arbóreas adaptadas ao déficit hídrico sazonal (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2005). A pluviosidade anual na região semiárida da Bahia geralmente varia entre aproximadamente 500 e 800 mm, concentrando-se em poucos meses do ano e apresentando elevada variabilidade interanual (MARENGO et al., 2011). A área de pastagem apresenta solo de textura franco argiloso, degradado e bastante compactado pelo pisoteio do gado, com predomínio de gramíneas e poucas árvores isoladas que servem de sombra para os animais. A escolha da área se deu pela combinação da abundância de formigueiros ativos e com presença de lixo em câmaras externas com o contexto de clima semiárido e solo degradado.

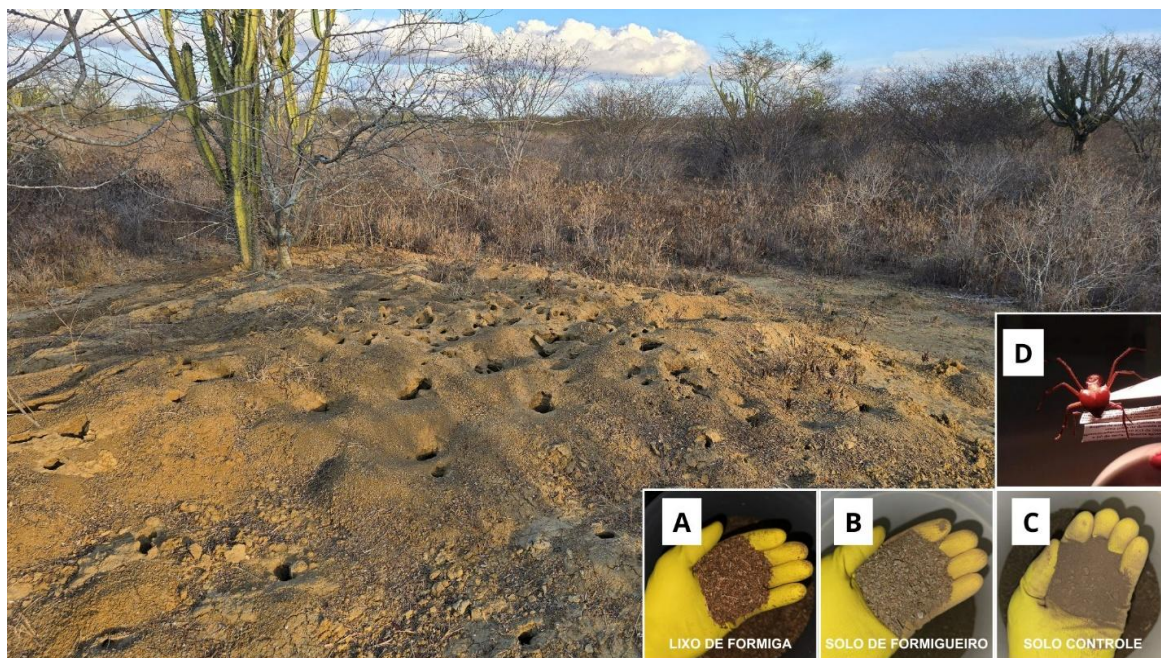
### **2.2. Método de medição da retenção de água**

A retenção de água foi medida por meio de técnica gravimétrica através da adaptação do método descrito por TOPP e FERRÉ, 2002, que consistiu em submeter amostras de solo a saturação em água por meio de capilaridade e em seguida secá-las a fim de se obter a razão entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco a  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . O método utilizado, originalmente, mede a água retida no solo no momento da coleta, porém, a adaptação consistiu na saturação das amostras em laboratório para determinação da retenção gravimétrica da água.

### **2.3. Coleta e Preparo das Amostras**

Para cada componente utilizado na formulação dos tratamentos, as amostras foram coletadas em nove pontos distintos e independentes na mesma região e, em seguida, homogeneizadas, a fim de se ter uma amostra única representativa de cada componente, reduzindo assim a variabilidade espacial. Todos os componentes foram peneirados em peneira com malha de 4mm, secos na sombra ao ar livre, e após isso, armazenados em sacos plásticos fechados e ao abrigo da luz até a realização do experimento. O peneiramento objetivou separar partículas maiores provenientes do ambiente e não do formigueiro. O lixo de formiga cortadeira foi obtido manualmente a partir de câmaras de descarte externas de nove formigueiros ativos da espécie *Atta opaciceps*. O solo de formigueiro foi coletado nos nove formigueiros em que foi coletado o lixo, tomando-se o cuidado de coletar o material recém-escavado, que não apresentava compactação nem presença de lixo. A coleta foi realizada nos primeiros 20 cm de profundidade. Já o solo controle foi coletado nas imediações de nove formigueiros na mesma região, a uma distância mínima de 20 metros de qualquer formigueiro, a fim de garantir um solo sem a influência dos mesmos. O solo foi coletado nos primeiros 20 cm de profundidade.

Amostras extras do solo controle e do solo de formigueiro foram coletadas e encaminhadas ao Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal de Sergipe para análise granulométrica e classificação textural. Além disso, exemplares da espécie foram coletados, armazenados em álcool, e encaminhados ao Laboratório de Ecologia de Insetos da Universidade Federal de Sergipe, para identificação pelo Prof. Dr. Leandro Souto.



Fonte: autoria própria, 2026.

**Figura 1:** Vista do formigueiro de *A. opaciceps*. A) detalhe do lixo de formiga coletado; B) detalhe do solo de formigueiro coletado; C) detalhe do solo controle coletado; D) exemplar de *A. opaciceps*.

## 2.4. Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado contendo cinco tratamentos com nove repetições em cada, totalizando 45 unidades experimentais. Os tratamentos foram: (L) Lixo de *A. opaciceps*; (SF) Solo de formigueiro; (SC) Solo controle; (SFL) Solo de formigueiro + lixo de *A. opaciceps* e, (SCL) Solo controle + lixo de *A. opaciceps*;

Nos tratamentos combinados (SFL e SCL), os solos e o lixo foram misturados na proporção de 1:1 com base no volume. Cada unidade experimental correspondeu a um recipiente metálico (altura de 1,4 cm, diâmetro interno do topo de 3,7 cm e diâmetro interno do fundo de 3,4 cm) com volume interno de 15ml e pequenos furos de 1mm nos fundos contendo o respectivo tratamento.

## 2.5. Procedimento Experimental

Os recipientes foram preenchidos pela mesma pessoa a fim de que a compactação das amostras não fosse alterada pelo manuseio. Para garantir padronização do volume em todos os recipientes, os mesmos foram preenchidos com substrato até transbordarem e o excesso foi removido passando-se uma régua rente ao topo. Na figura 2 é mostrada uma visão geral do experimento.

Posteriormente foi realizado:

**Pesagem dos recipientes:** cada recipiente, após devidamente identificado por tratamento, foi pesado individualmente para obtenção da tara;

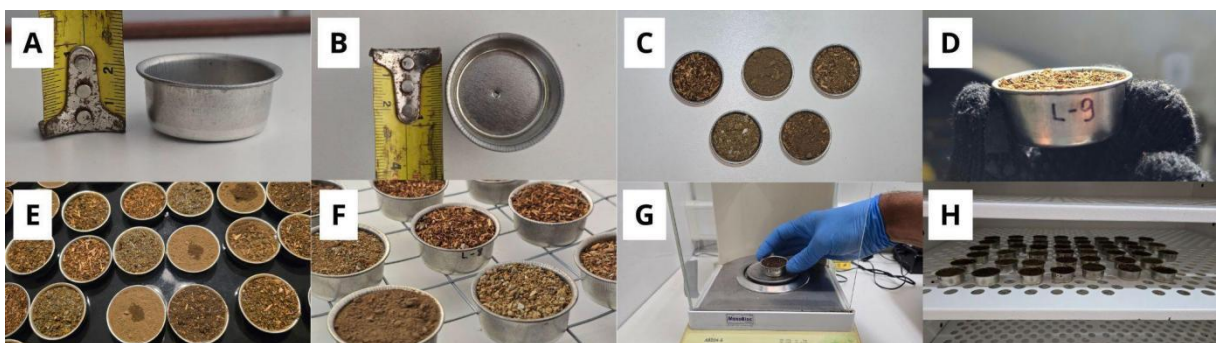
**Saturação das amostras:** todos os recipientes, depois de preenchidos com o substrato, conforme cada tratamento, foram saturados com água destilada por 24 horas. Para saturação, os recipientes contendo os tratamentos foram dispostos em uma bandeja com água a fim de que a saturação ocorresse por meio de capilaridade, através da passagem da água pelos fundos. Os recipientes foram imersos em água até dois terços de sua altura.

**Drenagem da água:** após saturados, foram retirados da água e dispostos sobre uma tela de arame por 12h para drenagem gravitacional do excesso de água.

**Pesagem inicial:** após a drenagem, as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão para determinar a massa do solo saturado.

**Secagem em estufa:** após pesadas, as amostras foram colocadas em estufa de secagem com ventilação forçada de ar em temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

**Pesagem final:** após a secagem, as amostras foram reservadas para atingirem temperatura ambiente e em seguida foram novamente pesadas para determinar a massa do solo seco.



Fonte: este estudo, 2026.

**Figura 2:** Visão geral da condução experimental. A) recipiente com sua face externa em detalhe; B) recipiente com sua face interna em detalhe mostrando o furo para passagem da água; C) vista dos recipientes preenchidos com substrato; D) vista do recipiente após passagem da régua rente ao topo para padronização do volume; E) recipientes dispostos em bandeja com água para saturação; F) recipiente sobre a tela de arame para drenagem da água; G) pesagem das amostras em balança analítica; H) recipientes em estufa de secagem.

## 2.6. Cálculo da Retenção de Água

Considerando a densidade da água  $\approx 1$  g/mL, a quantidade de água retida foi determinada pela diferença de massa entre o solo saturado e o solo seco conforme equação:

$$\text{Água retida (mL)} = M_{\text{saturado}} - M_{\text{seco}}$$

Onde:

$M_{\text{saturado}}$  = massa do solo após saturação (g)

$M_{\text{seco}}$  = Massa do solo seco em estufa (g)

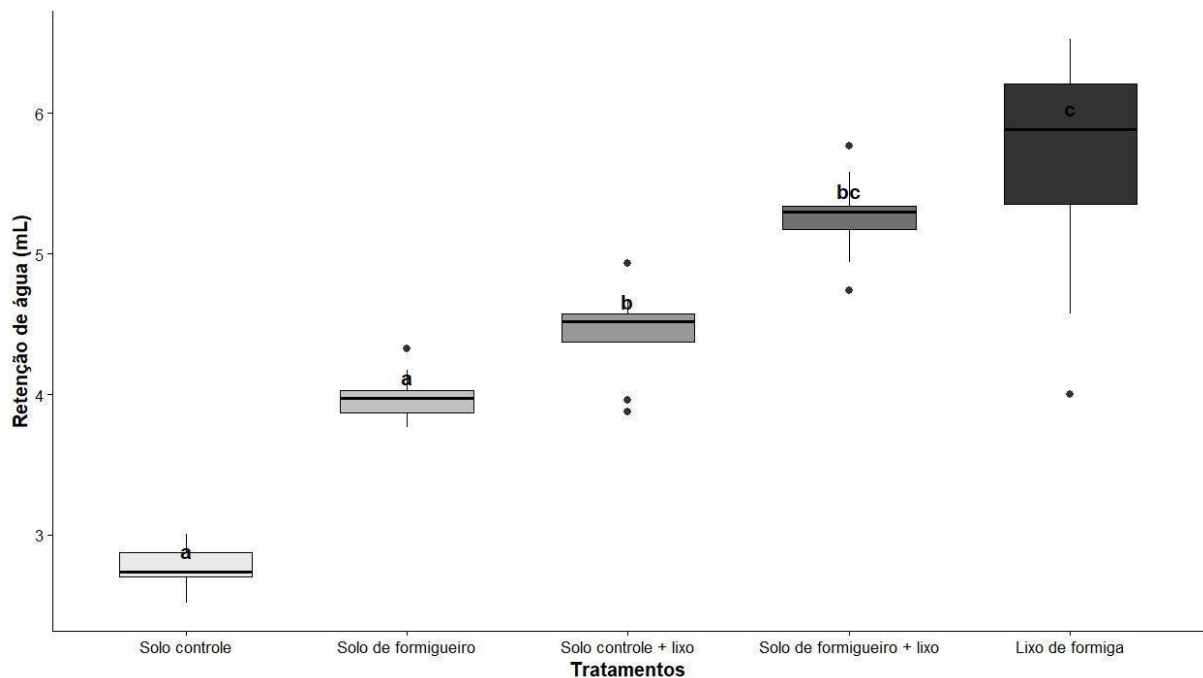
## 2.7. Análise Estatística

Os dados obtidos foram organizados em planilha digital e submetidos ao teste de Shapiro–Wilk para verificação da normalidade, que revelou uma distribuição não normal ( $p < 0,05$ ). A homogeneidade de variâncias também foi testada pelo teste de Levene, indicando diferenças significativas entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Dessa forma, as médias de retenção de água entre os tratamentos foram comparadas utilizando o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Quando detectadas diferenças significativas, aplicou-se o teste de Dunn com ajuste de Benjamini-Hochberg para múltiplas comparações, permitindo identificar quais tratamentos diferiram estatisticamente. O armazenamento e a organização dos dados foram realizados no software Google Planilhas, enquanto as análises estatísticas foram conduzidas no software R.

### 3. RESULTADOS

Os dados de retenção de água não atenderam ao pressuposto de normalidade (teste de Shapiro–Wilk:  $W = 0,8925$ ;  $p = 0,00056$ ) e apresentaram heterogeneidade de variâncias (teste de Levene:  $F = 3,387$ ;  $p = 0,0177$ ). Dessa forma, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis, o qual indicou efeito significativo dos tratamentos sobre a retenção de água ( $\chi^2 = 36,705$ ;  $gl = 4$ ;  $p = 2,07 \times 10^{-7}$ ).

O teste pós-hoc de Dunn com correção de Benjamini-Hochberg revelou que o tratamento contendo apenas lixo de *Atta opaciceps* apresentou retenção de água significativamente maior que solo controle, solo de formigueiro e solo controle com lixo ( $p < 0,05$ ), porém não diferiu do solo de formigueiro com lixo ( $p > 0,05$ ). O solo de formigueiro com lixo também apresentou retenção superior ao solo controle e ao solo de formigueiro ( $p < 0,05$ ). Já o solo controle apresentou as menores retenções, diferindo de solo controle com lixo e solo de formigueiro com lixo ( $p < 0,05$ ), mas não diferindo do solo de formigueiro ( $p > 0,05$ ) (figura 3).



Fonte: este estudo, 2026.

**Figura 3.** Distribuição da retenção de água (mL) nos diferentes tratamentos: Lixo de formiga (L), Solo de formigueiro + lixo (SFL), Solo controle + lixo (SCL), Solo de formigueiro (SF) e Solo controle (SC). As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana, e os limites correspondem aos valores mínimo e máximo. Letras distintas acima das caixas indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o teste de Dunn com correção de Benjamini–Hochberg ( $p < 0,05$ ), aplicado após o teste de Kruskal–Wallis.

De forma geral, observou-se um gradiente crescente de retenção de água:  $SC < SF \approx SCL < SFL \approx L$ , indicando forte influência do lixo de formigas na capacidade de armazenamento hídrico do substrato. A estatística descritiva dos valores de retenção de água para cada tratamento é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Estatística descritiva da retenção de água (mL) para os diferentes tratamentos.

TRATAMENTO	MÉDIA (mL)	MEDIANA (mL)	DESVIO PADRÃO	1º QUARTIL	3º QUARTIL
L	5,65	5,87	0,858	5,35	6,21
SF	3,98	3,97	0,182	3,87	4,05
SC	2,76	2,74	0,173	2,70	2,84
SFL	5,26	5,33	0,307	5,17	5,38
SCL	4,43	4,52	0,329	4,37	4,60

Fonte: este estudo, 2026.

O Resultado da classificação das amostras de solo controle e de solo de formigueiro indicaram que ambas correspondem a um solo franco argiloso, com diferenças sutis nas proporções de areia, silte e argila conforme tabela 2.

**Tabela 2** – Resultados da análise de textura do solo.

AMOSTRA	AREIA (%)	SILTE(%)	ARGILA(%)	CLASSIFICAÇÃO
Solo controle	34,42	31,94	33,64	Franco argiloso
Solo de formigueiro	26,0	37,38	36,62	Franco argiloso

Fonte: este estudo, 2026.

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos corroboram a hipótese de que o lixo produzido por *A. opaciceps* aumenta a retenção hídrica do solo. O gradiente observado ( $SC < SF \approx SCL < SFL \approx L$ ) revela um padrão consistente: sempre que o lixo está presente, há aumento na capacidade de retenção de água. O tratamento composto exclusivamente por lixo (L) apresentou os maiores valores, diferindo significativamente da maioria dos demais, exceto SFL. Esse resultado evidencia que o material orgânico acumulado pelas formigas possui propriedades físico-hídricas superiores, atuando como modificador da dinâmica da água no solo, achado que dialoga com a revisão de Eden, Gerke e Houot (2017), os quais observaram que a matéria orgânica aumenta a água disponível no solo em estudos de longa duração.

Quando adicionado ao solo controle, o lixo também promoveu aumento significativo na retenção hídrica (SCL mediana = 4,52 mL; SC mediana = 2,74 mL). Esse resultado demonstra que, mesmo em solos sem influência prévia de formigueiros, a incorporação do resíduo altera positivamente a capacidade de armazenamento de água. Trata-se de um indicativo promissor para o uso desse material em solos degradados ou em pequenos cultivos familiares, onde o aumento da capacidade de campo pode significar economia de água entre regas. Minasny e McBratney (2017) alertam que o efeito da matéria orgânica sobre a retenção hídrica depende da textura do solo e, considerando que o solo utilizado neste estudo é franco argiloso, os resultados obtidos estão em conformidade com o esperado para essa classe textural.

O tratamento que mais se aproxima das condições reais encontradas nos ninhos é o solo de formigueiro + lixo (SFL). Em campo, as câmaras de descarte de *A. opaciceps* apresentam camadas intercaladas de solo escavado e resíduos orgânicos acumulados ao longo do tempo, formando um substrato heterogêneo e progressivamente enriquecido. O fato de SFL (mediana = 5,33 mL) não diferir estatisticamente do lixo puro (L) e ser superior a SC e SF reforça a relevância ecológica desses resíduos como agentes modificadores da dinâmica hídrica em ambientes naturais.

Em regiões semiáridas, a escassez de água impõe sérias restrições à produtividade vegetal (Bhattacharya, 2021; Dane, 2002). Nesse contexto, o aumento da retenção hídrica proporcionado pelo lixo pode beneficiar diretamente plantas associadas a esse material, sobretudo na fase de germinação, quando a embebição das sementes depende da disponibilidade de água no microsítio (Daws et al., 2008). Oliveira (2024) havia sugerido que o lixo de formigas poderia contribuir para a regeneração de áreas degradadas, mas atribuía esse efeito

principalmente aos nutrientes. Os resultados da presente pesquisa indicam que o componente hídrico pode ser tão ou mais importante nesse processo.

Essa constatação amplia o papel das formigas cortadeiras como engenheiras de ecossistemas (Folgarait, 1998; Farji-Brener & Werenkraut, 2017). Se antes a heterogeneidade promovida por esses insetos era associada principalmente à distribuição de nutrientes, este estudo demonstra que o lixo também gera heterogeneidade hídrica na paisagem. Os depósitos de resíduos orgânicos nos ninhos atuam como moduladores das condições edáficas, criando microsítios com maior estabilidade ambiental e potencial para favorecer o estabelecimento vegetal.

A importância ecológica desses achados reside justamente na capacidade do lixo de criar ilhas de fertilidade hídrica em paisagens semiáridas naturalmente afetadas pela escassez de água. Ao atuarem como engenheiras de ecossistemas, as formigas cortadeiras não apenas redistribuem nutrientes, mas também concentram matéria orgânica em pontos específicos da paisagem, gerando microsítios com maior disponibilidade hídrica. Esses locais podem funcionar como refúgios para espécies vegetais durante períodos de estiagem, favorecendo a germinação de sementes, o estabelecimento de plântulas e a sobrevivência de plantas perenes. Em um cenário mais amplo, essa heterogeneidade hídrica induzida biologicamente pode influenciar padrões de sucessão ecológica, aumentar a resiliência da vegetação às mudanças climáticas e contribuir para a manutenção da biodiversidade em ecossistemas semiáridos, onde a água é o recurso mais limitante.

Diante disso, o lixo de *Atta opaciceps* surge como insumo de baixo custo com potencial aplicação em estratégias de restauração ecológica, especialmente em solos degradados, compactados e com baixa retenção de água, características comuns em áreas de pastagem abandonada no semiárido. Nascimento (2023) já apontava esse potencial, e os dados aqui apresentados fornecem evidências quantitativas de sua relevância para a dinâmica hídrica. No entanto, como o experimento foi conduzido com amostras compostas, os resultados representam o comportamento médio do material, não capturando a variabilidade natural entre colônias. Estudos futuros em condições de campo, incorporando diferentes populações e espécies, são necessários para dimensionar a magnitude ecológica desse efeito e viabilizar sua aplicação em práticas de manejo sustentável. Por fim, fazem-se necessárias investigações futuras em condições naturais, incorporando a variabilidade entre colônias, entre populações, e espécies ao longo do tempo, para assim determinar a magnitude ecológica desse efeito do lixo.

## 5. REFERÊNCIAS

Bhattacharya, A. 2021. Efeito do déficit hídrico do solo no crescimento e desenvolvimento das plantas: uma revisão. p.393-488. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6276-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6276-5_5)

Confessor, J.G.; Silva, L.L. & Rodrigues, S.C. 2024. Dinâmica hídrica do solo de fitofisionomia de campo limpo do Parque Nacional da Serra da Canastra-MG. *Caderno de Geografia* 34:286. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2024v34n76p286>

Dane, J.H. & Topp, G.C. (ed.). 2002. *Methods of soil analysis: part 4 – physical methods*. Soil Science Society of America, Madison. (SSSA Book Series, n. 5).

Daws, M.I.; Crabtree, L.M.; Dalling, J.W.; Mullins, C.E. & Burslem, D.F.R.P. 2008. Germination responses to water potential in neotropical pioneers suggest large-seeded species take more risks. *Annals of Botany* 102:945-951. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn186>

Dejean, A.; Azémar, F.; Naskrecki, P.; Tindo, M.; Rossi, V.; Faucher, C. & Gryta, H. 2023. Mutualistic interactions between ants and fungi: A review. *Ecology and Evolution* 13:e10386. <https://doi.org/10.1002/ece3.10386>

Dinneny, J.R. 2019. Developmental responses to water and salinity in root systems. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 35:239-257. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-100617-062949>

Eden, M.; Gerke, H.H. & Houot, S. 2017. Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 37:11. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0419-9>

Farji-Brener, A. G. et al. Social life and sanitary risks: evolutionary and current ecological conditions determine waste management in leaf-cutting ants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 283, 2016

Farji-Brener, A.G. & Werenkraut, V. 2017. The effects of ant nests on soil fertility and plant performance: a meta-analysis. *Journal of Animal Ecology* 86:866-877. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12672>

Folgarait, P.J. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation* 7:1221-1244. <https://doi.org/10.1023/A:1008891901953>

Horel, Á.; Bakacsi, Z.; Vass, C. & Zsigmond, T. 2024. Soil–Plant–Water Systems and Interactions. *Plants* 13:358. <https://doi.org/10.3390/plants13030358>

Horel, Á.; Bakacsi, Z.; Vass, C. & Zsigmond, T. 2025. Inter-row soil management affecting soil moisture in non-irrigated vineyard ecosystems. *Soil Use and Management*. <https://doi.org/10.1111/sum.13159>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2024. Perfil municipal – Pedro Alexandre (BA). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/pedro-alexandre.html>. Acesso em: 12 fev. 2026.

Leal, I. R.; Tabarelli, M.; Silva, J. M. C. (orgs.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.

Leal, I.R.; Wirth, R. & Tabarelli, M. 2012a. Formigas cortadeiras como engenheiras de ecossistemas. In *Ecologia de insetos herbívoros* (G.W. Fernandes, ed.). Technical Books, Rio de Janeiro, p.209-230.

Leal, I.R.; Wirth, R. & Tabarelli, M. 2012b. Formigas-cortadeiras e a ambiguidade de suas relações com plantas. In *Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva* (K. Del-Claro & H.M. Torezan-Silingardi, ed.). Technical Books Editora, Rio de Janeiro, p.215-239.

Lofgren, C.S. & Vander Meer, R.K. 1986. *Fire ants and leaf-cutting ants: Biology and management*. Westview Press, Boulder.

Marengo, J. A. et al. Climate change in the semiarid region of Brazil: past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 103, p. 375–384, 2011.

Minasny, B. & McBratney, A.B. 2017. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science* 69:39-47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>

Moutinho, P.; Nepstad, D.C. & Davidson, E.A. 2003. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology* 84:1265-1276. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[1265:IOLCAN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1265:IOLCAN]2.0.CO;2)

Nascimento, G.B.C. do. 2023. Efeitos de formigas cortadeiras nas concentrações de nutrientes em solos da Caatinga do Parque Nacional do Catimbau. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas – Ciências Ambientais), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/50933>. Acesso em: 11 fev. 2026.

Oliveira, F.R. de. 2024. Efeitos diretos e indiretos de formigas cortadeiras no sucesso reprodutivo e performance vegetativa de plantas da Caatinga. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/56053>. Acesso em: 11 fev. 2026.

Projeto MapBiomias. 2024. Coleção 2024 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 17 fev. 2026.

Santana Santos, Rafaella; Haum Barros Mecnas, Hosana; Sousa-Souto, Leandro. Nest refuse of *Atta opaciceps* (Hymenoptera: Formicidae) increases plant biomass and diversity during the regrowth of herbaceous species. *APPLIED SOIL ECOLOGY*. v.133, p.160 - 165, 2019.

Santos Neto, P.E. 2021. Efeito das formigas cortadeiras *Atta* e *Acromyrmex* nos atributos do solo e na regeneração da Caatinga. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46423>. Acesso em: 11 fev. 2026.

Santos, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

Santos, R. S.; Sousa-Souto L. Nest refuse of *Acromyrmex balzani* (Hymenoptera: Formicidae) increases the plant vigor in *Turnera subulata* (Turneraceae). *BRAZILIAN JOURNAL OF BIOLOGY*. v.83, p.e244732 - e244732, 2023.

Topp, G.C. & Ferré, P.A. 2002. Water content. In *Methods of soil analysis: part 4 – physical methods* (J.H. Dane & G.C. Topp, ed.). Soil Science Society of America, Madison, p.417-545. (SSSA Book Series, n. 5).

Verza, S. S. et al. Nest structure engineering of leaf-cutting ants in a semi-arid environment. *Insectes Sociaux*, v. 66, 2019