



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

LUCINALDO CAVALCANTE DE LIMA JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO REPARO DOS NINHOS DE
NASUTITERMES EPHRATAE (HOLMGREN,1910) (BLATTODEA: ISOPTERA)**

João Pessoa - PB

Maio de 2024

LUCINALDO CAVALCANTE DE LIMA JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO REPARO DOS NINHOS DE
NASUTITERMES EPHRATAE (HOLMGREN,1910) (BLATTODEA: ISOPTERA)**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas (Trabalho Acadêmico de conclusão de Curso), como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba.

Nome do Orientador: Prof. Dr. Paulo
Fernando Guedes Pereira Montenegro

João Pessoa - PB

Maio de 2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L732i Lima Junior, Lucinaldo Cavalcante de.
Influência da temperatura no reparo dos ninhos de
Nasutitermes Ephratae (Holmgren, 1910) (Blattodea:
Isoptera) / Lucinaldo Cavalcante de Lima Junior. - João
Pessoa, 2024.
31 p. : il.

Orientação: Paulo Fernando Guedes Pereira
Montenegro.
TCC (Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas) -
UFPB/CCEN.

1. Aquecimento global. 2. Ecologia de cupins. 3.
Nasutitermes. 4. Biologia. I. Montenegro, Paulo
Fernando Guedes Pereira. II. Título.

UFPB/CCEN

CDU 57(043.2)

LUCINALDO CAVALCANTE DE LIMA JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO REPARO DOS NINHOS DE
NASUTITERMES EPHRATAE (HOLMGREN,1910) (BLATTODEA: ISOPTERA)**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas, como requisito parcial à obtenção
do grau de Bacharel em Ciências Biológicas
da Universidade Federal da Paraíba.

Data: 08 de Maio de 2024

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente

gov.br

PAULO FERNANDO GUEDES PEREIRA MONTENE

Data: 02/08/2024 14:35:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Paulo Fernando C

Documento assinado digitalmente

or – UFPB – Orientador

gov.br

ALEXANDRE VASCONCELLOS

Data: 05/08/2024 12:33:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Alexandre Vasconcellos - Doutor - (UFPB) - Titular

Kléber da Silva Vieira

Kléber Silva Vieira- Doutor - (UFPB) - Titular

Matilde Vasconcelos Ernesto - Doutor – (UFPB) - Suplente

*Dedico à minha mãe, Maria da Conceição da Costa
Ferreira, à minha noiva Maria Eduarda Lacerda
Silva e a todos os meus amigos e familiares.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar o privilégio e forças para concluir minha graduação.

À minha mãe, Maria da Conceição da Costa Ferreira, por todo o apoio, amor, sabedoria e paciência durante este período de graduação e toda minha vida.

À minha noiva, Maria Eduarda Lacerda Silva, por me apoiar e incentivar ao longo do curso.

Ao meu pai, Lucinaldo Cavalcante de Lima, que me incentivou a terminar o curso e auxiliou com o que podia.

Ao Prof. Paulo Montenegro pelas conversas, orientações, ensinamentos e suporte diário para a elucidação da pesquisa.

Ao amigo Washington, que me ajudou e contribuiu no esclarecimento de alguns dados.

Ao amigo Kleber por ajudar a aprimorar e auxiliar na parte estatística.

Ao meu amigo Erick Iwerton, que me ajudou nas coletas de dados desta pesquisa e apoio diário durante o desenvolvimento desta pesquisa. Obrigado pelos bolos, broas e cafés diários.

Aos amigos do Laboratório, LEFISA, pelas conversas, ensinamentos e sempre acompanhados por um bom café diários e que me ajudaram a aprimorar esta pesquisa e conhecimentos de forma geral.

A todos os meus amigos que estavam na caminhada da graduação, Cleyton Gomes, Samuel Freire, Juliana Barbosa, Leo Beltrão, Luana Zapff e Erick Iwerton.

Agradeço ao meu primo e patrão Jonas Fernandes Pereira Filho, por apoio diário para realizar a minha pesquisa.

Agradeço em especial a tia Lúcia, que já bem próximo à defesa me apoiou e me incentivou nos dias mais difíceis.

Em resumo, agradeço a todos que, por falta de memória, não foram citados anteriormente, mas que foram importantes no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O aumento da temperatura média do Planeta Terra vem aumentando devido ao aquecimento global. Esse aumento possivelmente afetara inúmeras espécies e seus ecossistemas, inclusive os cupins (ou térmitas), insetos sociais que possuem papel importante na manutenção ecossistêmica através da decomposição de matéria orgânica e como “engenheiros” naturais, auxiliando na ciclagem de nutrientes e favorecendo a fauna e flora dos seus habitats. Além disso, esses insetos dispõem de um relevante atributo, a nidificação, um fator chave no desenvolvimento do grupo e adaptação às mudanças climáticas. Um bom exemplo é a temperatura, justamente por limitar a distribuição desses insetos, tendo em vista que são ectotérmicos, sofrem influência direta da variação térmica e umidade. Nessa perspectiva, são animais bem suscetíveis ao impacto das mudanças geradas pelo aquecimento global. Logo, o presente trabalho teve como objetivo observar se a atividade de reparo do ninho de *Nasutitermes ephratae* é influenciada pela temperatura ambiental. Uma área de 25 cm² do envelope de nove ninhos foi removida em diferentes horários do dia (com diferentes valores de temperatura ambiente) e o número de indivíduos recrutados para a atividade de reparo quantificada três minutos após. Os resultados indicam que não houve variação na quantidade de indivíduos recrutados para o reparo em momentos do dia com diferentes valores de temperatura. A ausência de efeito da temperatura pode ser devido à menor variação da temperatura no interior da colônia em relação ao ambiente, e à possibilidade de os cupins da população estudada apresentarem uma grande faixa de tolerância térmica para atividade de reparo.

Palavras-chave: Aquecimento global, Ecologia de cupins, *Nasutitermes*

ABSTRACT

The increase in the average temperature of Planet Earth has been increasing due to global warming. This increase will possibly affect numerous species and their ecosystems, including termites (or termites), social insects that play an important role in ecosystem maintenance through the decomposition of organic matter and as natural “engineers”, helping to cycle nutrients and favoring fauna and flora. of their habitats. Furthermore, these insects have an important attribute, nesting, a key factor in the development of the group and adaptation to climate change. A good example is temperature, precisely because it limits the distribution of these insects, considering that they are ectothermic and are directly influenced by thermal variation and humidity. From this perspective, they are animals very susceptible to the impact of changes generated by global warming. Therefore, the present work aimed to observe whether the nest repair activity of *Nasutitermes ephratae* is influenced by environmental temperature. An area of 25 cm² of the envelope of nine nests was removed at different times of the day (with different ambient temperature values) and the number of individuals recruited for repair activity was quantified three minutes later. The results indicate that there was no variation in the number of individuals recruited for repair at times of the day with different temperature values. The lack of temperature effect may be due to the smaller temperature variation inside the colony in relation to the environment, and the possibility that the termites in the studied population have a wide range of thermal tolerance for repair activity.

Keywords: Global warming, Termite ecology, *Nasutitermes*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Operários e soldados de *N. ephratae* após perfuração de ninho com broca longa de vídea (6 mm de diâmetro x 300 mm de comprimento).

Figura 2: Ninho de *N. ephratae* em fragmento de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB.

Figura 3: Camadas interna e externa do ninho de *N. ephratae* (adaptado do Thorne, 1980).

Figura 4: Temperatura ambiente comparada ao longo de dois dias, registrada próxima a dois ninhos de *N. ephratae*. As setas indicam os pontos e os horários escolhidos para fazer as coletas de imagem.

Figura 5: Fragmentos de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB, área onde foram realizadas coletas de dados circulada em vermelho.

Figura 6: Remoção do envelope (ninho 9) no horário de 12:00 horas no fragmento de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB

Figura 7: Localização dos ninhos de *N. ephratae* em fragmento de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB.

Figura 8: Relação das médias de temperatura nas diferentes camadas dos ninhos de *N. ephratae* em diferentes horários. Quatro ninhos foram monitorados durante o período de coleta de dados.

Figura 9: Relação entre as médias (triângulo) do número de nos quatro períodos.

Figura 10: Relação periódica da quantidade de indivíduos de *N. ephratae* recrutadas na reconstrução da colônia.

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Volume dos ninhos de *N. ephratae* utilizados no trabalho. Onde A, B e C são os raios laterais das colônias.

Tabela 2: Quantidade média de indivíduos por ninho em cada horário. Em vermelho estão representados os ninhos que tiveram temperatura registrada. O asterisco representa ninhos identificados como “outliers”.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	02
2.1. Aquecimento global e sua influência.....	02
2.2. Importância das térmitas para manutenção dos ecossistemas e seu potencial bioindicador.....	04
2.3. A influência da temperatura sobre os cupins.....	05
2.4. Espécie <i>Nasutitermes ephratae</i>	06
2.4.1. Hábitos de <i>Nasutitermes ephratae</i>	06
2.4.2. Estrutura e forma dos ninhos de <i>Nasutitermes ephratae</i>	07
2.5. Atividade de reparo de ninhos realizados por cupins.....	09
3. OBJETIVOS GERAL.....	09
3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	09
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
4.1. Registro de temperatura.....	10
4.2. Marcação e volume dos ninhos.....	11
4.3. Registro de imagens	12
4.4. Análise estatística.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
5.1. Padrões diários da temperatura em um fragmento de Mata Atlântica.....	14
5.2. Respostas da atividade de reparo em ninhos da espécie <i>Nasutitermes ephratae</i>	15
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
7. REFERÊNCIAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

Os cupins são insetos eussociais pertencentes à ordem Blattodea e subordem Isoptera, constituindo um grupo de grande diversidade nas regiões tropicais. Sua distribuição é diretamente influenciada pela temperatura e umidade, com registros entre as latitudes 40° N e 40° S (Constantino, 2005). Além disso, são os principais detritívoros invertebrados tropicais, ressaltando sua importância na manutenção do equilíbrio ecossistêmico (Melo *et al.*, 2009). Isso se deve à sua abundância e ao seu papel como "engenheiros" ecológicos. Segundo Bignell e Eggleton (2000), os cupins podem compor cerca de 10% toda a biomassa animal e quando saem para forragear, criam biotúbulos com grande importância na ciclagem dos nutrientes do solo, consequentemente beneficiam a fauna e flora do ambiente (Melo *et al.*, 2009; LA Ashton *et al.*, 2019). Contudo, esses animais, assim como seus ambientes, vêm sendo ameaçados pelas mudanças climáticas

Os cupins são ectotérmicos, e, portanto, sua temperatura corporal é semelhante àquela encontrada no ambiente, tornando esses organismos sensíveis a qualquer alteração nesse parâmetro. Diversos estudos mostram serem rápidas e intensas as respostas fisiológicas desses insetos a variações de temperatura e umidade, tornando-os diretamente susceptíveis aos efeitos do aquecimento global (Altermatt, 2010; Robinet; Roques, 2010). Isso é apontado por pesquisas com outros insetos, onde o aquecimento global parece ser responsável por alterações no comportamento, distribuição, desenvolvimento, sobrevivência, reprodução e tamanho das populações (Raza *et al.*, 2015).

Dentre as diversas espécies de cupins, *Nasutitermes ephratae* destaca-se, pela acentuada abundância dentro de fragmentos de Mata Atlântica, com densidade de ninhos variando entre 2 e 11 por hectare (Vasconcellos, 2003). Além disso, as colônias são arborícolas e seus ninhos apresentam importante característica de possuir diferentes camadas, sendo interna, externa e o "envelope" (Thorne, 1980) o que faz dessa espécie um modelo interessante para estudo de atividades de reparo dos seus ninhos.

Ao longo da história, foram firmados diversos acordos com o intuito de atenuar os impactos do aquecimento global. No entanto, o sexto relatório de avaliação (AR6) do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) demonstrou que as medidas adotadas até o momento foram ineficazes para conter o aumento da temperatura média global. Além disso, o relatório alerta sobre as consequências preocupantes caso alcancemos um aumento de

1,5°C, destacando possíveis perdas significativas na biodiversidade, estimadas em até 10% em determinadas regiões e impactos adversos à saúde humana. Dentre os possíveis grupos afetados pelos efeitos do aquecimento global estão as térmitas, que desempenham um papel fundamental em diversos ecossistemas (Jaworski & Hilszczanski, 2013).

Nesse contexto, as térmitas são importantes bioindicadores da qualidade do ambiente em que habitam (Constantino, 2005), por desempenharem papel essencial no equilíbrio ecossistêmico e responderem rapidamente a mudanças no mesmo. Logo, não restam dúvidas de que se esses organismos forem afetados, a fauna e a flora residente também serão. Assim, justifica-se a necessidade de investigar as respostas desses animais às alterações climáticas, em especial, às mudanças de temperatura. Por essa razão, a espécie de cupim *Nasutitermes ephratae* foi escolhida como modelo de investigação onde procuramos analisar a provável influência da temperatura na atividade de restauração/reparo dos seus ninhos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aquecimento global e sua influência sobre as térmitas

Ciclos de aquecimento são um fenômeno natural no planeta Terra, porém, o atual tem sido acelerado e agravado pelos impactos causados pela atividade humana. Esse agravamento é principalmente atribuído à crescente emissão de gases de efeito estufa, como metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e clorofluorcarbonos (CFCs), sendo esse excesso resultante da queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2023). O processo de intensificação é denominado "aquecimento global" e tem consequências diretas na sustentação da vida na Terra, gerando uma considerável instabilidade para a fauna e flora do planeta (Nobre, Sampaio; Salazar, 2007).

O IPCC (2023) publicou seu Sexto Relatório de Avaliação (AR6), destacando uma tendência preocupante. Entre 2011 e 2020, a temperatura média da superfície da Terra aumentou em 1,09 °C em comparação com o período de 1850 a 1900 (IPCC, 2023). Esse aumento é um forte sinal do impacto do aquecimento global. Além disso, o relatório também alerta sobre projeções alarmantes para o futuro próximo, concluindo que, se as emissões de gases de efeito estufa continuarem no ritmo atual, é provavelmente o aumento chegue a 1,5 °C até o ano de 2040. Caso esse aumento se concretize, haverá um risco significativo na perda de biodiversidade. O mesmo relatório estima diminuição na biodiversidade de espécies animais

e algas marinhas entre 1% a 10% (IPCC, 2023). Os insetos figuram como um dos grupos mais afetados nesse processo (Jaworski & Hilszczanski, 2013).

Os insetos são animais ectotérmicos, ou seja, sua temperatura corporal depende e está correlacionada com o ambiente externo, tornando-os especialmente sensíveis às variações de umidade e temperatura do ambiente. Nesse contexto, entende-se que a resposta desses animais às mudanças climáticas seja rápida e intensa (Altermatt, 2010; Robinet; Roques, 2010). Raza e colaboradores mostram que eles são diretamente afetados pelo aquecimento global, com influência em seus comportamentos, distribuição, desenvolvimento, sobrevivência, reprodução e consequentemente o tamanho populacional. Este mesmo estudo analisou cerca de 1600 espécies de insetos revelando que mais de 58% delas sofreram pela influência do aquecimento global.

O aumento da temperatura pode acarretar problemas significativos na distribuição e ciclo de vida dos insetos (Jaworski & Hilszczanski, 2013). Sabe-se, que a temperatura exerce influência sobre a distribuição de diversas espécies desses animais, acontecendo esse aumento, pode resultar na expansão de novas áreas para a dispersão desses animais, tendo em vista que essas áreas estariam na temperatura favorável para sua habitação (Jaworski & Hilszczanski, 2013). Além disso, estudos demonstram aumento significativo no número de ciclos de vida por geração anual em algumas espécies, chegando a aumentarem uma a cinco vezes o número de gerações (Yamamura & Kiritani, 1998). Esse evento é preocupante, pois várias dessas espécies são consideradas pragas em setores econômicos cruciais, como a agricultura. Outras delas representam sério risco à saúde pública, contribuindo na proliferação de doenças através de vetores biológicos, a exemplo do *Aedes aegypti*.

Somando a isso, o aquecimento global tem desencadeado mudanças significativas no clima global, afetando não só as temperaturas, mas também os padrões de precipitação e a incidência de períodos de seca em várias regiões (IPCC, 2023). Essas alterações também têm influenciado na distribuição geográfica, no ciclo reprodutivo e até mesmo em aspectos fisiológicos de diversos grupos de insetos, como os cupins (Jaworski & Hilszczanski, 2013; Gillooly *et al.*, 2001).

2.2. Importância das térmitas na manutenção dos ecossistemas e seu potencial como bioindicadores

As térmitas são insetos eussociais pertencentes à ordem Blattodea, subordem Isoptera. Com aproximadamente 2.993 espécies em 324 gêneros descritos. No Brasil a diversidade é de 280 espécies (Ahmed *et al.*, 2011; Constantino, 2023). Esses insetos apresentam ampla distribuição geográfica, abrangendo as zonas tropicais e subtropicais entre as latitudes 40°N e 40°S (Constantino, 2005). Eles são classificados como parte da macrofauna do solo, desempenhando papel importante na manutenção e equilíbrio dos ecossistemas (Melo *et al.*, 2009), sendo considerados os principais decompositores invertebrados tropicais, podendo compor até 10% de toda a biomassa animal (Bignell & Eggleton, 2000). Sua relevância para os ecossistemas é inegável, enriquecendo e mantendo a fertilidade do solo por meio da decomposição e construção de seus ninhos, fornecendo assim recursos essenciais para outras formas de vida (Ahmed *et al.*, 2011).

Os cupins são membros importantes de um grupo bastante reconhecido na Biologia, por vezes recebendo o título de “engenheiros” do ecossistema. Durante sua busca por alimentos e materiais para a construção de seus ninhos, eles modificam a composição físico-química do solo através da bioturbação. Essa atividade contribui significativamente para a ciclagem de nutrientes, aeração, aração e a incorporação de matéria orgânica no solo, resultando em uma melhoria substancial na composição deste (Melo *et al.*, 2009; Ashton *et al.*, 2019). Tal melhoria aumenta a heterogeneidade do solo, facilitando o fluxo de massas, promovendo o transporte de água através do solo e elevando os níveis de umidade, fatores de suma importância para florestas tropicais no período de seca (Ashton *et al.*, 2019).

Os cupins também desempenham papel significativo como bioindicadores da qualidade do ambiente em que habitam (Constantino, 2005). Isso se deve a diversos fatores: Riqueza de Espécies: os cupins representam uma ampla variedade de espécies em diferentes ecossistemas; taxonomia bem determinada: eles possuem taxonomia bem definida em relação a outros grupos, logo, é fácil fazer um levantamento de riqueza de espécies; alta proporção de endemismo: algumas espécies são exclusivas de determinada região; ligação importante com o habitat: têm grande relevância para o ecossistema em que habitam; abundância de indivíduos; facilidade de amostragem: são facilmente amostrados, independentemente do período ou sazonalidade, facilitando estudos e monitoramento; e sensibilidade às alterações do habitat: os cupins são fortemente afetados por mudanças no ambiente, sejam elas causadas por atividades antrópicas

ou não (Constantino, 2005). Nesse sentido, aspectos destacam a importância dos cupins como valiosos indicadores ambientais, cujo estudo e monitoramento são primordiais na compreensão e conservação da biodiversidade e na manutenção da saúde dos ecossistemas.

2.3. A influência da temperatura sobre os cupins

Os cupins são organismos extremamente complexos, tanto em termos de comportamento quanto de nidificação. Atualmente, dispomos de um conhecimento substancial sobre fatores que influenciam o padrão de distribuição desses insetos. Por exemplo, a espécie *Macrotermes bellicosus* apresenta uma forte correlação com a temperatura e a precipitação (Ahmed *et al.*, 2011). O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) estima que o clima no território brasileiro deve se tornar mais quente, com um aumento gradual na temperatura podendo variar de 1 °C a 6°C até o ano de 2100. Portanto, caso ocorra o aumento previsto são altas as chances de ocorrer perda na diversidade ou de algumas espécies terem sua distribuição contraída ou bastante limitada.

Por outro lado, há espécies de cupins que podem se beneficiar com o aumento de temperatura, obtendo facilidades na expansão para novos habitats, ampliando assim, sua distribuição geográfica. O aumento de temperatura também pode resultar em um acréscimo na abundância populacional e da atividade desses animais, ou mesmo na combinação desses fatores, intensificado a decomposição de matéria orgânica (Zanne *et al.*, 2022).

Múltiplos estudos demonstram a capacidade dos cupins em regular e manter a temperatura e umidade dentro de seus ninhos, criando assim um ambiente estável e propício para o desenvolvimento de sua colônia (Claire *et al.*, 2014). Essa regulação é influenciada por diversos fatores, incluindo a presença dos próprios cupins, que se agrupam para elevar a temperatura do ninho através do calor metabólico, da localização e formato do ninho, da espessura das camadas e até mesmo dos materiais utilizados em sua construção (Claire *et al.*, 2014; Janowiecki *et al.*, 2014). Esses trabalhos foram conduzidos com espécies que são cultivadores de fungos, como *M. bellicosus*, a qual tem sido amplamente investigada. Os resultados apontam uma correlação significativa entre a manutenção de níveis elevados na temperatura interna da colônia, baixos níveis de CO₂ e umidade, os quais são parâmetros ótimos tanto para o crescimento dos fungos cultivados por essa espécie, quanto para os próprios indivíduos (Janowiecki *et al.*, 2014). No entanto, a correlação entre a manutenção da homeostase térmica e umidade dentro dos ninhos não se limita apenas as espécies cultivadoras

de fungos. Outros trabalhos indicam uma relação evolutiva entre a arquitetura dos ninhos e o comportamento dos cupins, sugerindo que a regulação comportamental da temperatura e umidade seja inato (Noirot, 2000).

2.4. Espécie *Nasutitermes ephratae*.

2.4.1. Hábitos de *Nasutitermes ephratae*

Nasutitermes ephratae (Figura 1) pertence à família *Termitidae*, cujo gênero engloba um total de 247 espécies. No Brasil, aproximadamente 46 delas já foram identificadas (Constantino, 2020). Esse gênero é um dos mais abundantes na região dos neotropical, ocorrendo desde o México até a Bolívia (Constantino, 2020). A espécie tem o hábito alimentar xilófago, consumindo apenas materiais em estado de decomposição encontrados na necromassa. Portanto, esses animais desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica, chegando a consumir anualmente até 9,66 kg de madeira da necromassa por hectare (Vasconcellos, 2003).



Figura 1: Operários e soldados de *N. ephratae* após perfuração de ninho com broca longa de vídea (6 mm de diâmetro x 300 mm de comprimento).

2.4.2. Estrutura e forma dos ninhos de *Nasutitermes ephratae*

Os ninhos de *N. ephratae* são arborícolas, sendo construídos em troncos de árvores e arbustos. Inicialmente, apresentam uma forma esférica, e ao longo do processo de crescimento, podem se tornar mais alongados, assumindo um formato elipsoide (Figura 2). Geralmente, são encontrados a uma altura máxima de 2,5 metros do solo. Na região da Mata Atlântica sua densidade varia de 2 a 11 ninhos por hectare, abrigando populações com 48 a 803 mil indivíduos (Thorne, 1980; Vasconcellos, 2003). A estrutura dos ninhos é composta por várias camadas (Figura 3): célula da rainha, camada interna, camada externa e o "envelope superficial" (Noirot, 1970, apud Thorne, 1980).

A célula da rainha está localizada próxima ao centro, mede entre 1-1,6 cm e possui uma textura dura e densa. Ao redor dela, encontra-se a camada interna que possui galerias maiores com uma densidade mais leve comparada à célula central e a camada externa - esta última com galerias menores - proporcionando maior densidade e dureza à estrutura. Acredita-se que essa conformação das camadas seja essencial para proteger a colônia contra ataques de predadores vertebrados e danos causados por fatores abióticos, como quedas de galhos (Thorne, 1980).

O "envelope superficial" cobre a camada externa, mas não está diretamente ligado a suas câmaras, possuindo pequenos orifícios que se conectam às galerias da camada adjacente. Provavelmente os orifícios sejam essenciais na troca de ar e a termorregulação da colônia (Thorne, 1980). A coloração é marrom clara e a textura mais suave se comparadas aos ninhos de *Nasutitermes corniger*. Isso dá ao envelope uma aparência semelhante ao couro. É possível observar algumas "rachaduras" lisas, as quais podem ser reconstruídas pelos cupins caso seus ninhos sejam danificados, ou devido a um aumento interno do mesmo (Thorne, 1980).



Figura 2: Ninho de *N. ephratae* em fragmento de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB.

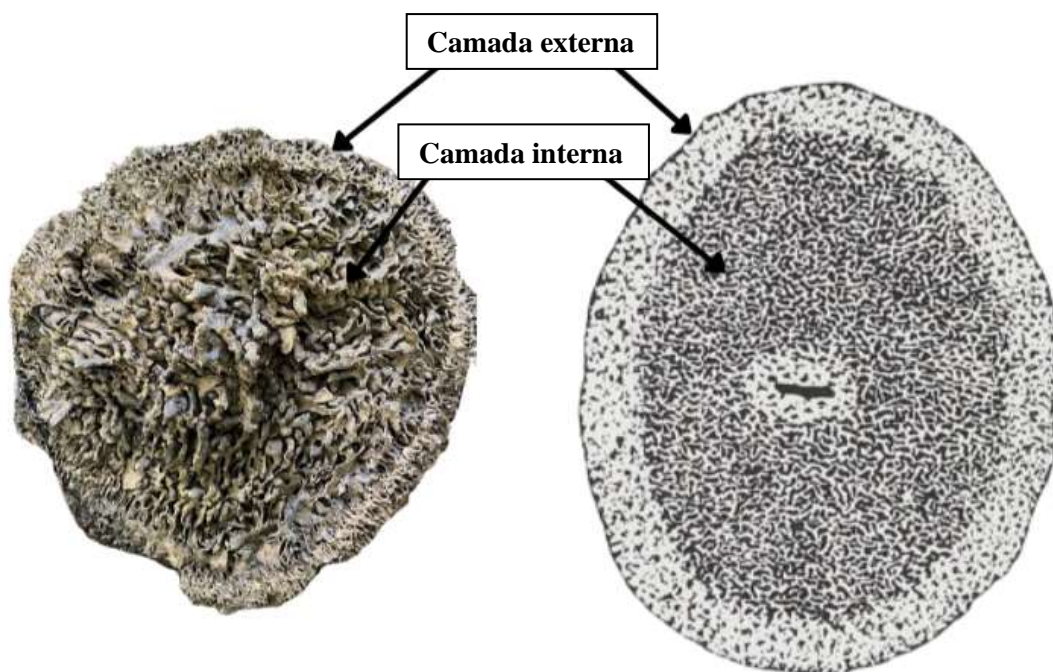


Figura 3: Camadas interna e externa do ninho de *N. ephratae* (adaptado do Thorne, 1980).

2.5. Atividade de reparo de ninhos

Possivelmente a evolução da arquitetura dos ninhos tenha ocorrido em paralelo com o “estilo de vida” dos cupins, sendo a proteção contra predadores o principal motivo que levou à forma atual (Noirot & Darlington, 2000).

Inclusive das castas estéreis, os soldados das diversas espécies de cupins são responsáveis pela defesa dos ninhos, utilizando uma variedade de "armas" mecânicas e químicas. Além disso, os operários defendem e recuperam o ninho em situações de emergência, evacuam a prole e até mesmo atacam possíveis predadores. Ao longo da história evolutiva, surgiram novas estratégias em busca pela homeostase em relação à temperatura e umidade internas dos ninhos (Noirot & Darlington, 2000; Aiki *et al*, 2019).

Assim, os ninhos se tornaram sistemas mais fechados, diminuindo a ação do ambiente externo sobre a colônia, mas desenvolvendo interações ecológicas com outros organismos, a exemplo dos cupins cultivadores de fungos, mencionados anteriormente (Noirot & Darlington, 2000). Tudo isso ressalta a importância do rápido reparo dos ninhos para manter a homeostase da colônia.

Devido à elevação acelerada na temperatura média global causada pelas mudanças climáticas e da importância dos insetos no equilíbrio ecológico, nosso trabalho sobre atividade de reparo dos ninhos em *Nasutitermes ephratae* é justificável. Considerando a variação térmica do ambiente ao longo do dia, verificar a existência de algum padrão e alterações desse comportamento de reparo é algo importante para a conservação desses insetos, mas também para a preservação de diversos outros grupos de animais e plantas. A investigação tem potencial para a elaboração de propostas de medidas que mitiguem possíveis danos ao ecossistema dos quais os cupins são parte essencial.

3. OBJETIVOS GERAL

Investigar padrões de atividade de reparo dos ninhos de *Nasutitermes ephratae* em fragmento de Mata Atlântica no nordeste do Brasil.

3.1. Objetivos específicos

Verificar se a variação térmica ao longo do dia influencia a atividade de reparo de ninhos de *Nasutitermes ephratae*.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Registro de temperatura

A priori foi realizado o registro da temperatura ambiente próxima a dois ninhos de *Nasutitermes ephratae*, localizados no fragmento de Mata Atlântica (circulado na Figura 5), situado no campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na parte de atrás da biblioteca central, com uma área aproximada de 8,22 hectares (Alves, S. 2010). Para isso, utilizou-se um DataLogger (modelo: HH374; marca: Omega), juntamente com termopares do tipo K de junção exposta (Hikari, modelo Hk-p01), para registrar a temperatura a cada 10 minutos ao longo de 3 dias. Esta etapa teve como objetivo estabelecer os parâmetros das temperaturas ao longo do dia e observar se estas seguiam um padrão circadiano, analisando os momentos de temperatura máxima e mínima.

Em seguida, foram estabelecidos quatro horários para a coleta de imagens dos ninhos, correspondendo ou próximos de quando a temperatura era a máxima, mínima e aos horários de ascensão e declínio após o pico de temperatura máxima (Figura 4). Além disso, foram registradas as temperaturas na camada interna, externa e entre a camada externa e o envelope, como também da temperatura ambiente

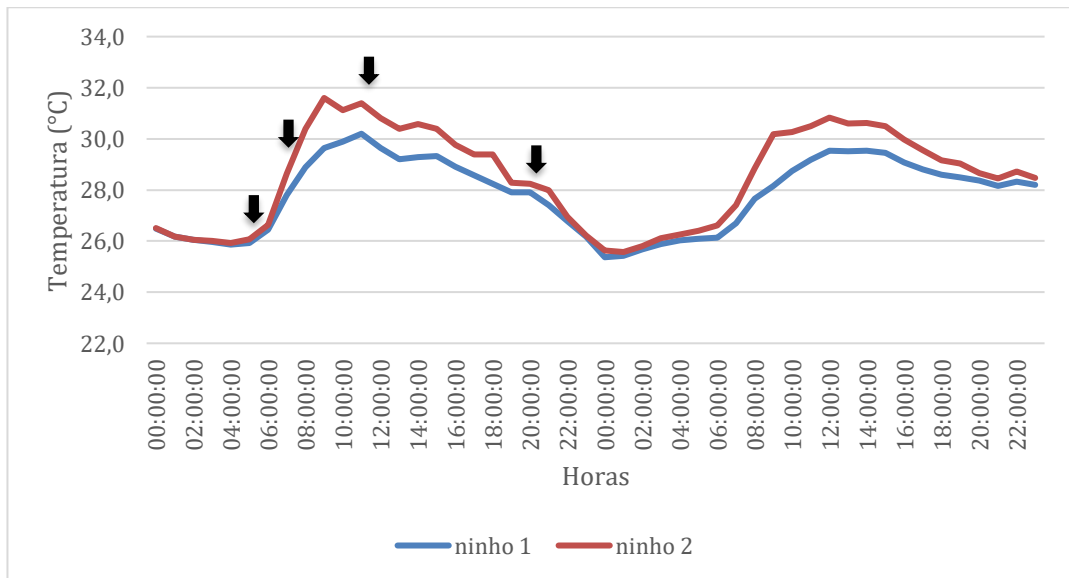


Figura 4: Temperatura ambiente comparada ao longo de dois dias, registrada próxima a dois ninhos de *N. ephratae*. As setas indicam os pontos e os horários escolhidos para fazer as coletas de imagem.

Para coleta da temperatura no interior dos ninhos, os termopares foram posicionados em cada camada com o auxílio de uma broca longa de vídea (diâmetro de 6 mm e comprimento de 300 mm), acoplada a uma furadeira elétrica com alimentação a bateria. Posteriormente, foram inseridas cânulas de polietileno nos locais onde os termopares seriam colocados, a fim de prevenir ataques de cupins aos termopares. Considerando que a parede da camada externa apresenta maior resistência à penetração em comparação com a camada interna, foi utilizada a resistência à perfuração como critério para determinar se a camada externa havia sido perfurada. Após atingir a camada interna, foi estabelecido o padrão de realizar furos com 140 mm de profundidade para a inserção dos termopares. Quanto à camada externa, definiu-se que a profundidade do orifício seria de 15 mm. Após um período de três dias (para permitir reparo), o DataLogger foi instalado e deixado registrando durante 24 horas

4.2. Marcação e volume dos ninhos

Em seguida, vários ninhos foram amostrados no local de estudo, mas apenas nove ninhos foram selecionados pois possuíam valores de volume aproximado (Tabela 1), visando eliminar possíveis interferência do volume do ninho na temperatura interna. O volume dos ninhos foi calculado utilizando a fórmula para o volume de um elipsoide ($V= 4/3\pi abc$), considerando-se que um ninho de *N. ephratae* possui essa forma, conforme representado na Figura 2 (Thorne, B. 1980). As medidas dos ninhos foram obtidas por meio de um paquímetro construído com cano de PVC e uma fita métrica.



Figura 5: Fragmentos de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB, área onde foram realizadas coletas de dados circulada em vermelho.

Tabela 1: Volume dos ninhos de *N. ephratae* utilizados no trabalho. Onde A, B e C são os raios laterais das colônias.

Volume dos ninhos				
Nº	A	B	C	Volume (L)
1	28	27,5	39,5	127,3
2	26,5	26,5	30	88,2
3	28,5	27	35	112,8
4	25	25	33	86,4
5	23,5	28,5	40	112,2
6	27	31	35	122,6
7	24	23,5	32	75,6
8	27	26,5	40,5	121,3
9	26,5	26	35	101,0
Média				105,3
Desvio Padrão				18,4
Coeficiente de variação				17,47

4.3. Registro de imagens dos ninhos

Foram realizadas coletas de dados em quatro horários distintos, as 06:00, 08:00, 12:00 e 20:00 em cada um dos nove ninhos. Utilizou-se uma moldura de PVC, medindo 5x5 cm (25 cm²), com o intuito de manter um padrão de área de amostragem (Figura 6), juntamente com um estilete para a remoção do envelope dos ninhos. Após 3 minutos da remoção, foram capturadas imagens utilizando um smartphone (iPhone 13; Apple) montado em um tripé, nos horários mencionados anteriormente. Isso permitiu a contagem visual dos indivíduos presentes na área cortada e a observação de variações na quantidade de indivíduos ao longo dos quatro períodos. Os cortes foram efetuados em um dado horário, e após um intervalo de 3 dias (para permitir o reparo do envelope), novas observações eram realizadas em diferentes horários. Todas as imagens capturadas foram impressas em papel fotográfico A4 para facilitar a

contagem visual. Então, foi realizada uma contagem dupla para obter uma média e utilizar os resultados como dados para análise.



Figura 6: Remoção do envelope (ninho 9) no horário de 12:00 horas no fragmento de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB.

4.4. Análise estatística

A comparação do número de indivíduos em atividade de reparo, em diferentes temperaturas foi realizada através da análise de variância (ANOVA) de fator único (horário de registro) com medidas repetidas, utilizando o programa R.Studio (versão 2023.12.1), juntamente com pacotes adicionais.



Figura 7: Localização dos ninhos de *N. ephratae* em fragmento de Mata Atlântica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa-PB.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Padrões diários da temperatura em um fragmento de Mata Atlântica

Após registrar a temperatura ambiente ao lado de dois ninhos no fragmento de Mata Atlântica no campus I da UFPB por um período de dois dias (entre os dias 16 e 17 de março de 2024), foi possível identificar uma semelhança entre as médias de temperatura desses registros. Isso indica que, ao comparar os dois dias, a temperatura no ambiente foi bastante semelhante nos mesmos horários ao longo desses dias, sugerindo que a temperatura ambiente segue um ciclo de pouca variação, quando não submetida a outros fatores abióticos, como as chuvas. Adotou-se que os horários de temperatura máxima, mínima, ascendente e declinante foram, respectivamente, às 12:00 horas, às 06:00 horas, às 08:00 horas e às 20:00 horas. Esses horários foram selecionados para realizar a observação da atividade desses animais e a captura de imagens desse comportamento. Tendo em vista que muitos estudos mostram que os animais ectotérmicos sofrem uma influência direta da temperatura (Altermatt, 2010; Robinet & Roques, 2010), mudando seu comportamento e atividade (Raza *et al.*, 2015). O objetivo era investigar se a variação da temperatura ambiente exercia influência sobre a atividade de reparo dos ninhos.

O registro da temperatura em quatro ninhos e em suas quatro camadas, incluindo o ambiente, mostrou que à medida que a temperatura ambiente aumenta, as temperaturas das camadas também sobem. No entanto, observou-se que a termorregulação realizada pelos cupins desempenha um papel mais significativo nesse processo. Isso se deve ao fato de que a temperatura ambiente apresenta uma variação considerável ao longo do dia, diferentemente da temperatura nas camadas internas e externas do ninho, onde permanece mais estável, com pouca variação (conforme ilustrado na figura 8). Esse fenômeno de termorregulação já foi documentado em diversos estudos anteriores (Claire *et al*, 2014; Janowiecki *et al*, 2019). O comportamento termorregulatório dos cupins é crucial para manter um ambiente propício dentro do ninho, tanto para a colônia quanto para os fungos cultivados por certas espécies de cupins (Claire *et al*, 2014; Janowiecki *et al*, 2019).

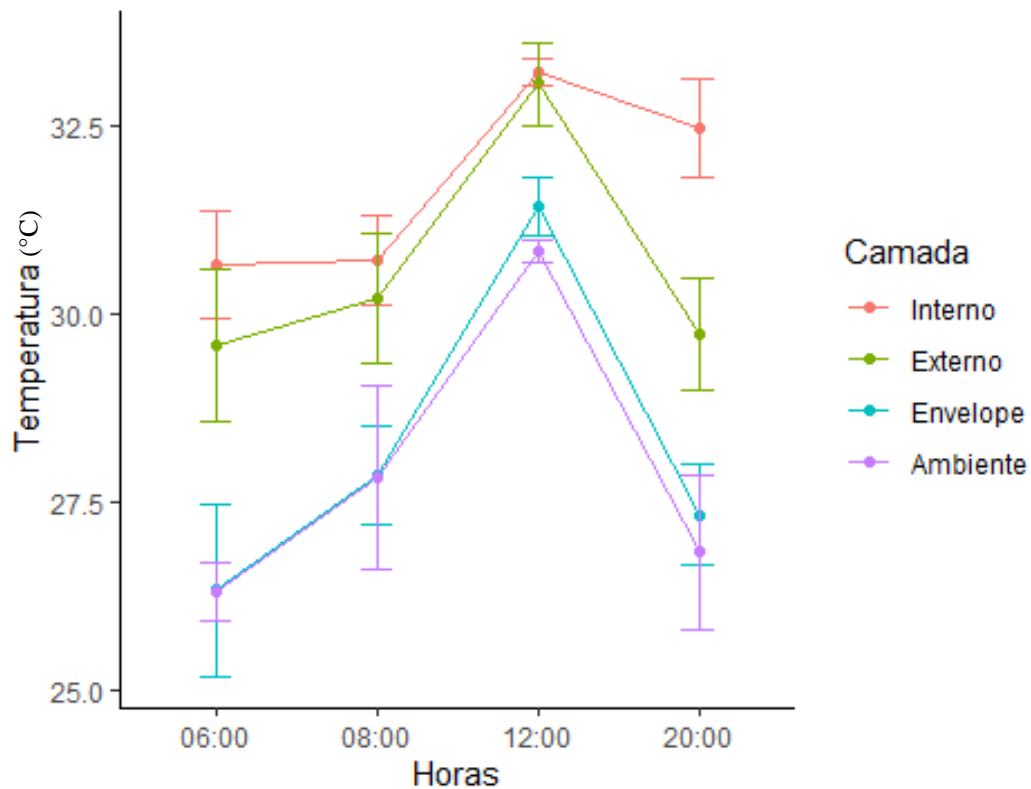


Figura 8: Relação das médias de temperatura nas diferentes camadas dos ninhos de *N. ephratae* em diferentes horários. Quatro ninhos foram monitorados durante o período de coleta de dados.

5.2. Respostas de atividade de reparo de ninhos de *Nasutitermes ephratae*

Após a realização da contagem visual dupla de todas as imagens, foram calculadas as médias dessas contagens, conforme apresentado na Tabela 2. Esses valores foram então usados como dados para análise estatística que revelou a ausência de relação ($F= 1.09$; $P = 0,361$) entre

temperatura (representada pelos diferentes horários de registro) e a quantidade de indivíduos envolvidos na atividade de reparo do ninho

Tabela 2: Quantidade média, desvio-padrão e coeficiente de variação do número de indivíduos por ninho em cada horário de registro. Em vermelho estão representados os ninhos que tiveram temperatura registrada. O asterisco representa ninhos identificados como “outliers”.

NUMERO DE INDIVÍDUOS				
Ninho	06:00	08:00	12:00	20:00
1	243	282	255	205
2	269	305	202	219
3	167	135	198	269
4	187	218	193	255
5	271	224	228	229 *
6	47	115	104	110
7	164	258	273	233 *
8	290	315	341	347
9	169	215	207	168
Média	201	230	222	226
Desvio padrão	76	70	65	66
Coeficiente de Variação	38,04	30,40	29,26	29,16

A ausência de efeito da temperatura pode ser devida à possibilidade de os cupins da população estudada apresentarem uma grande faixa de tolerância térmica para atividade de reparo, e/ou à menor variação da temperatura no interior da colônia em relação ao ambiente.

Essa maior estabilidade térmica no interior da colônia pode ser devido à natureza isolante do material do qual o ninho é construído, auxiliando na manutenção de uma temperatura estável e no controle do impacto da variação ambiente (Korb e Linserimair, 2000; Claire et al., 2014).

Além disso, os cupins tropicais são altamente adaptados a uma faixa específica de condições climáticas, sendo suscetíveis a qualquer alteração na temperatura ambiente (Korb e Linserimair, 2000). Muitos estudos têm investigado essa correlação, especialmente focando na atividade dos cupins durante o forrageamento. Normalmente, essa atividade é avaliada através da medição de uma área específica dos trilhos construídos pelos cupins, ou até mesmos em troncos, nos quais uma contagem dos indivíduos presentes é realizada. No entanto, o propósito do presente estudo foi quantificar a quantidade de indivíduos envolvidos no reparo do ninho e

analisar se essa quantidade variava ao longo do dia, considerando a flutuação da temperatura ao longo do tempo.

Algo que pode explicar nossos resultados são os ninhos e os materiais utilizados na sua construção com uma composição de isolantes térmicos, os quais auxiliam na manutenção de uma temperatura estável e no controle do impacto da variação da temperatura do ambiente (Korb e Linserimair, 2000; Claire et al., 2014).

As temperaturas das camadas interna e externa dos ninhos variam pouco, e é possível que esses sejam valores ótimos de temperatura para a atividade de reparo dos ninhos, independente do horário do dia. Dessa forma, a temperatura ambiente não teria efeito direto sobre esse comportamento. Além disso, a arquitetura do ninho pode ter favorecido um maior controle térmico e de umidade dentro do ninho. (Noirot & Darlington, 2000; Aiki *et al*, 2019).

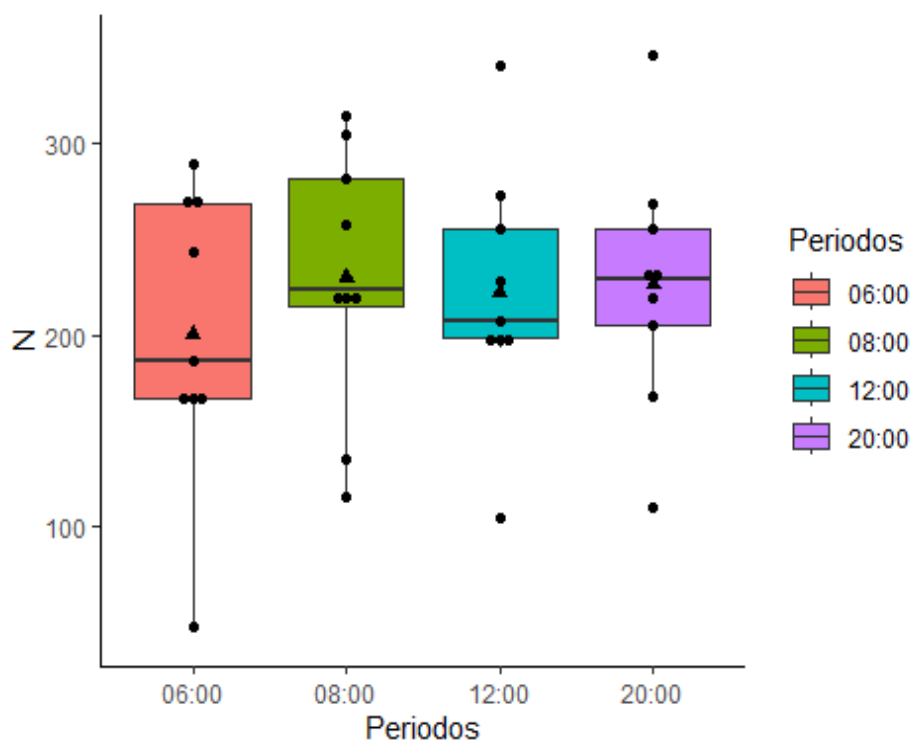


Figura 9: Relação entre as médias (triângulo) do número de indivíduos nos quatro períodos.

A figura 9 mostra que as médias dos valores de número de indivíduos envolvido no reparo ao longo dos diferentes horários de registro estão bastante próximas (a média é representada pelo triângulo), mas ainda há alguns valores dispersos nos horários de 12:00 h e 20:00 h (representando os outliers), correspondentes aos ninhos 6 e 8. Adicionalmente, foi gerado um gráfico de linhas onde cada linha indica um ninho, oferecendo uma compreensão mais clara da variação na quantidade de indivíduos ao longo do dia em cada um dos ninhos, conforme apresentado na Figura 10. A análise visual do gráfico indica não haver um padrão

único de quantidade de indivíduos recrutados para a atividade de reparo ao longo do dia, sugerindo uma heterogeneidade no comportamento de reparo do ninho para essa espécie.

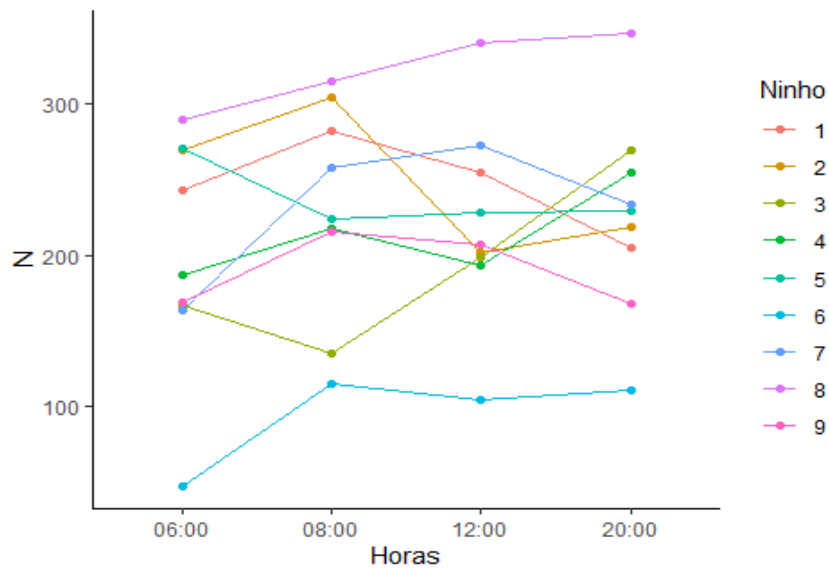


Figura 10: Relação periódica da quantidade de indivíduos de *N. ephratae* recrutados na reconstrução da colônia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstra que, a temperatura ambiente não exerce uma influência significativa nas atividades de reparo de ninho da espécie *Nasutitermes ephratae*. Trabalhos anteriores sugerem que a colônia das térmitas mantém um comportamento de termorregulação crucial para seu desenvolvimento, reparo de seus ninhos, entre outras atividades. O calor metabólico produzido por suas castas desempenha um papel fundamental na manutenção da temperatura do ninho, bem como nas atividades desses animais, proporcionando um ambiente mais favorável para a colônia e suas interações ecológicas. Esse deve ser o caso para a espécie estudada. Além disso, os materiais utilizados na construção dos ninhos contribuem nesse processo de regulação térmica, conforme relatado por pesquisas com outras espécies de cupins. Novamente, esse pode ser o caso para ninhos de *Nasutitermes ephratae*. No entanto, mais estudos sobre comportamento e biologia termal são necessários para estabelecer uma relação mais precisa entre esse comportamento e suas implicações nas atividades da colônia.

7. REFERÊNCIAS

- AHMED, B. M. et al. Potential impact of climate change on termite distribution in Africa. **British Journal of Environment and Climate Change**, v. 1, n. 4, p. 172-189, 2011.
- AIKI, Istifanus Peni; PIRK, Christian Walter Werner; YUSUF, Abdullahi Ahmed. Thermal regulatory mechanisms of termites from two different savannah ecosystems. *Journal of thermal biology*, v. 85, p. 102418, 2019.
- ALISSON, Elton . **Mudanças no clima do Brasil até 2100**. pbmc, 2023. Disponível em: <http://pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/en/news/367-mudancas-no-clima-do-brasil-ate-2100>. Acesso em: 19 abr. 2024.
- ALTERMATT, Florian. Tell me what you eat and I'll tell you when you fly: diet can predict phenological changes in response to climate change. **Ecology Letters**, v. 13, n. 12, p. 1475-1484, 2010.
- ASHTON, L. A. et al. Termites mitigate the effects of drought in tropical rainforest. **Science**, v. 363, n. 6423, p. 174-177, 2019.
- BIGNELL, David E.; EGGLETON, Paul. **Termites in ecosystems**. Springer Netherlands, 2000.
- Constantino, R. 2020. Termite Database. Brasília, University of Brasília. [updated Dec 2020]. <http://termitologia.net>. (accessed: date: 23 de abril, 2024).
- CONSTANTINO, R. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, p. 319-333, 2005.
- FULLER, Claire A.; POSTAVA-DAVIGNON, MARIELLE. Termites like it hot and humid: the ability of arboreal tropical termites to mediate their nest environment against ambient conditions. **Ecological entomology**, v. 39, n. 2, p. 253-262, 2014.
- IPCC, 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- JAWORSKI, Tomasz; HILSZCZAŃSKI, Jacek. The effect of temperature and humidity changes on insects development their impact on forest ecosystems in the context of expected climate change. 2013.
- KORB, J.; LINSÉNMAIR, K. E. Thermoregulation of termite mounds: what role does ambient temperature and metabolism of the colony play?. **Insectes sociaux**, v. 47, p. 357-363, 2000.

- NOBRE, Carlos A.; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luis. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.
- NOIROT, Charles; DARLINGTON, Johanna PEC. Termite nests: architecture, regulation and defence. **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**, p. 121-139, 2000.
- RAZA, Muhammad Mohsin et al. Impact of global warming on insects. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 48, n. 1, p. 84-94, 2015.
- ROBINET, Christelle; ROQUES, Alain. Direct impacts of recent climate warming on insect populations. **Integrative zoology**, v. 5, n. 2, p. 132-142, 2010.
- STEVENS, George C. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. **The American Naturalist**, v. 133, n. 2, p. 240-256, 1989.
- THORNE, Barbara L. et al. Differences in nest architecture between the Neotropical arboreal termites *Nasutitermes corniger* and *Nasutitermes ephratae* (Isoptera: Termitidae). **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 87, p. 235-243, 1980.
- VASCONCELLOS, Alexandre et al. Ecologia e biodiversidade de cupins (Insecta, Isoptera) em remanescentes de Mata Atlântica do nordeste brasileiro. 2003.
- ZANNE, Amy E. et al. Termite sensitivity to temperature affects global wood decay rates. **Science**, v. 377, n. 6613, p. 1440-1444, 2022.