



Processamento digital de imagem na investigação de caminhamento de cupins *Nasutitermes corniger* (insecta: isoptera)

Luiz Diego Vidal Santos^{1*}, Adilson Machado Enes², Francisco Sandro Rodrigues Holanda³, Jose Igor Reinan Santos⁴, Carlos Eduardo Celestino de Andrade⁵, Cleomara Oliveira Santos⁶

¹Mestrado em Ciências da Propriedade Intelectual, Universidade Federal de Sergipe, Brasil. (*Autor correspondente: vidal.center@academico.ufs.br)

²Doutor em Engenharia Agrícola Professor da Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

³Doutor em Engenharia Agrônômica, Professor da Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

⁴Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

⁵Doutorando em Ciências da Propriedade Intelectual, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

⁶Graduanda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 26/05/2020 – Revisado em: 17/07/2020 – Aceito em: 12/08/2020

RESUMO

Os cupins desempenham atividades de elevada importância ecológica, sendo, classificados como consumidores primários e decompositores, auxiliando ainda na aeração e nutrição do solo. Estes insetos apresentam caminhamento passíveis de serem compreendidos por métodos de processamento de imagens quantificadores de movimento. Desta forma, para alcançar os objetivos propostos no presente trabalho, técnicas de processamento digital de imagens foram aplicadas para avaliar o comportamento de caminhamento do cupim *Nasutitermes corniger* (Insecta: Isoptera) realizadas durante simulação de forrageio e apresentando como possíveis obstáculos visuais, materiais vegetais mortos. Buscando quantificar os resultados obtidos nesta pesquisa foi utilizado o cálculo do Módulo de Dispersão de Intensidades (MDI) implementado no MATLAB 2018b. Os cupins foram coletados em colônias presentes na Universidade Federal de Sergipe (UFS), selecionados ao acaso 12 indivíduos classificados como soldados e distribuídos em 5 grupos. Tais indivíduos foram submetidos à atividade de simulação do caminhamento em arenas utilizando placas de Petri (14 x 1,5 cm) iluminado a laser HeNe 632 nm. Durante a movimentação do inseto foram capturados vídeos, posteriormente processados através do Método das Diferenças Generalizadas e o Momento de Inércia (MI). Foi possível detectar as zonas de caminhamento e de maiores atividades ocasionadas naturalmente pelos grupos de Cupins presentes nas arenas, como também o método de MI mostrou ser significativamente diferente quando analisado antes e durante o caminhamento. Dessa forma, foi possível analisar a atividade do caminhamento do *Nasutitermes corniger* através de técnicas de processamento de imagens, podendo ser aplicado como uma ferramenta provável para avaliar o caminhamento dos cupins.

Palavras-Chaves: Forrageio, Processamento digital de imagem, Momento de Inércia.

ABSTRACT

Termites are present in several biomes and, despite being known as urban pests and agricultural crops, perform activities of high ecological importance, being classified as primary consumers and decomposers, helping in aeration and soil nutrition. These insects present pathways that can be understood by methods of processing motion quantifying images. Thus, to achieve the objectives proposed in the present work, digital image processing techniques were applied to evaluate the walking behavior of the termite *Nasutitermes corniger* (Insecta: Isoptera) carried out during foraging simulation and presenting dead plant material as possible visual obstacles. In order to quantify the results obtained in this research, the calculation of the Intensity Dispersion Module (MDI) implemented in MATLAB 2018b was used. Termites were collected in colonies at the Federal University of Sergipe (UFS), randomly selected 12 individuals classified as soldiers and distributed into 5 groups. Such individuals were submitted to the simulation activity of walking in arenas using Petri dishes (14 x 1.5 cm) illuminated by HeNe laser 632 nm, during the movement of the insect videos were captured, later processed using the Generalized Differences Method and the Moment of inertia. It was possible to detect the areas of walking and of greater activities naturally caused by groups of Termites present in the arenas, as well as the method of MI showed to be significantly different when analyzed before and during the walk. Thus, it was possible to analyze the activity of the *Nasutitermes corniger* walk through image processing techniques in, and it can be applied as a possible tool to evaluate the termite walk

Keywords: Foraging, Digital image processing, Moment of Inertia.

1. Introdução

Os cupins *Nasutitermes corniger* pertencem à família Termitidae e possuem grande capacidade de digerir celulose. Nos ambientes naturais são conhecidos como os “engenheiros do ecossistema” mais influentes que habitam o solo (Kaiser et al., 2017). A faculdade dos cupins de degradar e usar recursos celulósicos como alimento os torna um dos principais agentes no ciclo de materiais derivados de plantas. No entanto, a depender do valor econômico da fonte celulótica, eles podem ocasionar, por vezes, significativos prejuízos econômicos (Djuideu et al., 2020; Karawita et al., 2020).

Os cupins exibem comportamento dinâmico na colônia, sendo os soldados que desempenham o papel fundamental no processo de forrageio do grupo. Estes indivíduos são responsáveis por alimentar toda as outras castras e descobrir novas fontes alimentares (Almeida et al., 2016). Durante o processo de busca e exploração para captação de recursos, os soldados se organizam de tal forma que o próprio comportamento de caminhamento se torna um método de comunicação e defesa do grupo (Ferreira, 2018; Lai et al., 2017; Šobotník et al., 2010). Este comportamento torna o forrageamento bastante dinâmico e complexo quando usado como método de identificação para o controle populacional, requerendo do profissional do campo ferramentas mais precisas para a interpretação.

Ao realizar o forrageio, ao mesmo tempo em que ele digere a celulose, forma-se um complexo sistema de tuneis e galerias, dificultando, assim, a penetração de produtos utilizados na eliminação deles, tais como bioinseticidas (Santos et al., 2017). Diversos métodos de Manejo Integrado de Pragas (MIP) podem ser utilizados no controle dos cupins, desde controles químicos como iscas que incorporam inibidores da síntese de quitina (ISQ) (Kakkar & Su, 2018), até físicos com a destruição das estruturas de agregação, e também biológicos com indução de inimigos naturais.

A demanda por sistematização de informações no meio rural, mais precisamente sobre ecologia de insetos-praga, tem crescido nos últimos anos devido ao proeminente interesse nesta tecnologia para o uso durante o MIP (Malaquias, 2019). Muitas vezes durante a aplicação, os inseticidas só alcançam significativa efetividade quando é possível observar os locais onde os insetos a serem controlados se encontram. Para tanto, se faz necessário interferir destrutivamente na estrutura protetiva da colônia, que muitas vezes é a própria madeira fonte de celulose, prejudicando, assim, a qualidade final do produto.

Por desconhecimento da existência e da atividade do inseto na estrutura, muitas vezes as infestações são descobertas quando a fonte aparentemente intacta já está em colapso (Lai et al., 2017), tornando alto o custo financeiro do manejo (Djuideu et al., 2020). Assim, uma forma rápida e eficaz de predição da localização espacial dos indivíduos, sua colônia e seu comportamento, se mostra eficaz para a efetiva e econômica aplicação do MIP.

Na agricultura, a detecção de pragas nas culturas é considerada uma das tarefas mais desafiadoras para os agricultores. Diante deste desafio, o uso do Processamento Digital de Imagens (PDI) tem se popularizado no meio agrícola, podendo ser usado desde na identificação de ataques de insetos (Liang et al., 2020) e análise de perturbações por insetos no solo (Thenmozhi & Reddy, 2017), bem como na avaliação de danos em sistemas radiculares (Carvalho et al., 2020). Neste mercado, destacam-se as análises que usam transformadas matemáticas, processos úteis quando se busca compreender padrões de comportamento variados e métodos adaptáveis (Gonçalves & Mitshita, 2016). Sistemas automáticos de detecção de insetos usando métodos não degradativos por análise de imagem fornecem melhores níveis de identificação dos insetos nas fases iniciais com tempo reduzido e maior precisão, ajudando os agricultores a aumentar o rendimento das culturas.

Diversos métodos de PDI que utilizam equações matemáticas para a análise de imagens e sinais na agricultura podem ser direcionados para análise do comportamento de insetos, dentre estas ferramentas matemáticas, estão as que empregam a observação de diferentes níveis de atividades biológicas. Em materiais biológicos, são comumente utilizadas técnicas espectroscópicas vibracionais, porém, estas são menos sensíveis e requerem um conjunto maior de equipamento e calibrações mais precisas para detecção dos materiais (Pandiselvam et al., 2020).

Atualmente, variados experimentos têm se debruçado em PDIs com ênfase na interpretação da variação temporal dos dados com estatísticas de primeira e segunda ordem, tais como a História Temporal do Speckle (STS) e as Matrizes de Ocorrências Modificadas (MOC), permitindo tanto a criação de mapas de atividades, empregando técnicas tais como as Diferenças Generalizadas (DG) e o Método de Fuji, como a quantificação do fenômeno, empregando a técnica conhecida como Momento de Inércia (MI) ou Módulo de Dispersão de Intensidades (MDI) (Peixoto et al., 2018). A viabilidade celular, troca de gases, respiração, atividade microbiana, atividade de água (aw), e faixas de frequências específicas, permitem uma gama de interpretações do comportamento observado (Azerêdo, Paula, & Valeri, 2016; Diógenes, Oliveira, Torres, Maia, & Coelho, 2015; Dornelles et al., 2017).

Desta forma, para alcançar os objetivos propostos no presente trabalho, técnicas de processamento digital de imagens foram aplicadas para avaliar o comportamento de caminhar do cupim *Nasutitermes corniger* (Insecta: Isoptera) realizadas durante simulação de forrageio e apresentando como possíveis obstáculos visuais, materiais vegetais mortos. Para quantificar os resultados obtidos nesta pesquisa foi utilizado o cálculo do Módulo de Dispersão de Intensidades (MDI) e a determinação da Diferença Generalizada (DG) implementados no software MATLAB 2018b (MathWorks, 2018).

2. Material e Métodos

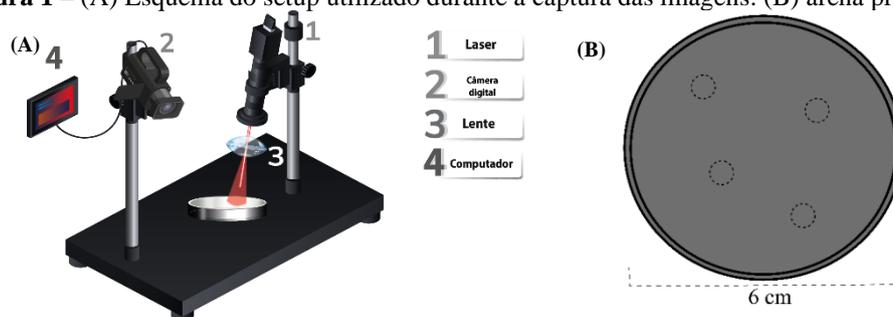
Com intuito de obter o levantamento do caminhar de cupins (Insecta: Isoptera), foi utilizada a técnica Diferenças Generalizadas, tendo como base de dados imagens. Este método foi inicialmente proposto por Briers & Webster (1996), ele consiste na identificação de diferentes níveis de atividade dos objetos observados, assim, quando estes apresentam movimentações, usa-se a captura de imagens. Segundo Fracarolli, (2011), para realização da interpretação, cada imagem do material iluminado tem seus pixels identificados, sendo suas intensidades luminosas reconhecidas por (x,y), onde (x,y) geram mapas de coordenadas das imagens estudadas.

A partir da diferença de intensidade de um pixel de uma imagem e sua subsequente, obtém-se uma nova imagem que apresentará pixels mais claros onde houve maior variação de intensidade em relação aos pixels mostrados nas imagens de origem (Enes, 2006; Fracarolli & Fabbro, 2011).

Para consecução dos ensaios de caminhar dos insetos, 12 indivíduos foram selecionados ao acaso, obtidos através de amostras de colônias de solos coletados na Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos situada no município de São Cristóvão (SE) (10°55'S, 38°6'W). Para a realização do deslocamento dos indivíduos e manutenção in vivo, foram realizados os procedimentos descritos por (Santos, 2016, p. 36). Os experimentos foram realizados no laboratório de Prototipagem (LAPROT) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAgri) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Os indivíduos foram submetidos ao caminhar em arenas de placas de Petri (6 x 1,5 cm) cobertas com papel fosco de cor negra e amostras de solos. Os caminhamentos foram analisados considerando o comportamento individual (um indivíduo) e coletivo (quatro indivíduos). Para a análise de frequência utilizando o método do Momento de Inércia, foram utilizadas as equações descritas por Rabello (2000), seguindo o roteiro computacional desenvolvido por Enes (2006). Foram realizadas três coletas de imagens dos indivíduos submetidos ao caminhar nas arenas durante o intervalo regular de 2 minutos. Durante todo o experimento, as amostras estavam expostas à temperatura ambiente.

Os equipamentos utilizados foram: um laser HeNe de 632 nm de comprimento de onda (Vermelha); uma câmera digital filmadora com capacidade de aquisição de 30 frames por segundo, e; um computador para processamento de dados e filtragem das imagens capturadas. Os algoritmos usados para o processamento dos dados e separação das bandas de frequência são os mesmos descritos por (Braga-Júnior, Rivera, & Moreira, 2016). Na Figura 1 é possível compreender o setup utilizado durante o experimento.

Figura 1 – (A) Esquema do setup utilizado durante a captura das imagens. (B) arena proposta.

Fonte: Adaptado de (Braga Júnior et al., 2016).

Buscando quantificar matematicamente as alterações resultantes do caminhamento dos cupins utilizando PDI, foi aplicado o conceito de momento de segunda ordem MI e a História Temporal do Speckle (STS), métodos obtidos a partir da ocorrência de sucessivas imagens do mesmo objeto quando refletida em uma luz coerente (Arizaga, Trivi, & Rabal, 1999).

Para a representação das figuras coloridas em RGB (Falsas cores), foi utilizado o software ImageJ (Schneider, Rasband, & Eliceiri, 2012), já que as imagens reais resultantes são de 8 bits em escala de cinza que vão de 0 a 255 tons. Para que pudesse criar uma conversão de escala de cinza em RGB foi utilizado o método 16 Cores.

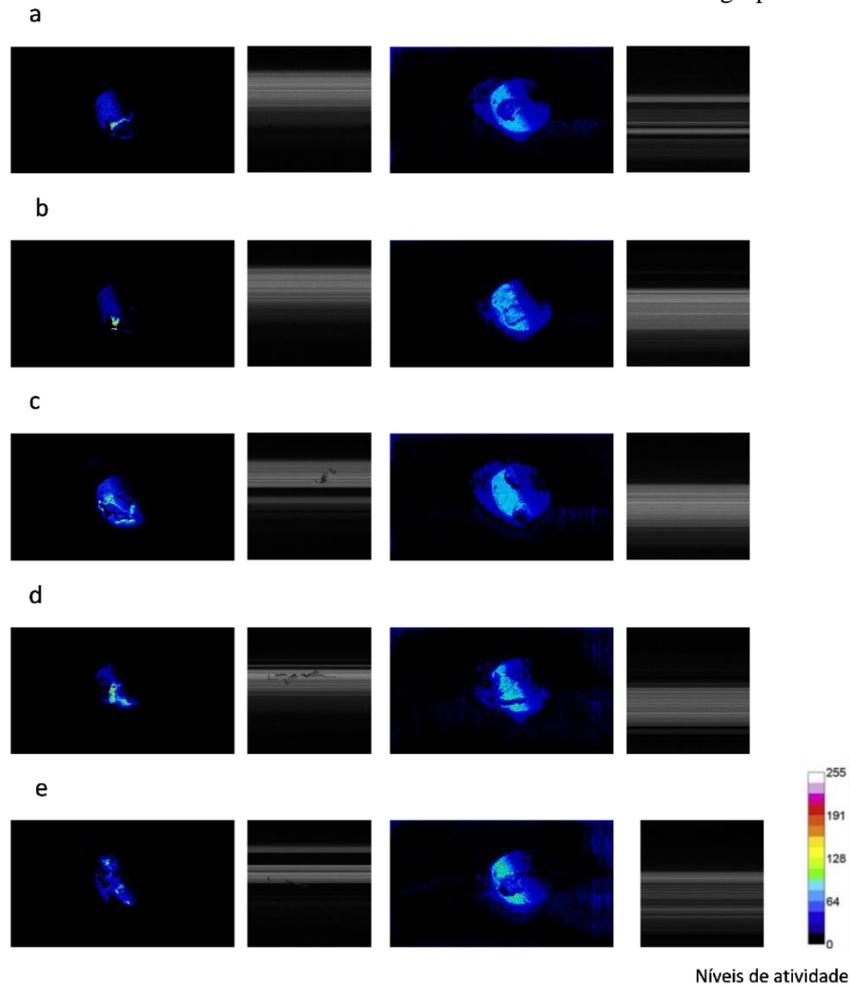
3. Resultados e Discussão

Ao analisar as imagens apresentadas na Figura 2, observa-se por meio das diferenças de contrastes, aqui expressadas como pseudo-cores, a existência de atividade de caminhamento induzido. O método registrou tons mais altos de cinza nas imagens de STS nas repetições que registraram atividades, assim como, as áreas mais amarelas nos mapas de atividades criados utilizando a técnica DG. Nas Figuras enumeradas de 2(a) até 2(e) tem-se ao lado esquerdo as Diferenças Generalizadas (DG), as repetições sem atividade, e ao lado direito, as imagens que apresentam atividade, assim como o respectivo STS da repetição. Após calculados os módulos de dispersão de intensidade média para cada estado de caminhamento bem como as Diferenças Generalizadas e os cumulantes estatísticos do MI.

Estudos que caracterizam o comportamento de caminhamento e forrageamento se mostram válidos, pois com o mapeamento das frequentes rotas e comportamento móvel por casta, é possível desenvolver metodologias ágeis e baratas que facilitem o reconhecimento de vários aspectos ainda que não totalmente elucidados sobre a ecologia de cupins, incluindo aquelas com longo tempo de condução, permitindo inclusive a realização de ensaios relacionados ao seu controle, simulando situações de campo (Pinheiro et al., 2017).

Um outro fator interessante está baseado nos níveis de atividade que foram registrados nas amostras que continham materiais biológicos inertes tais como os corpos selecionados da colmeia. Nota-se que os registros das atividades não foram influenciados pela presença de destes materiais, demonstrando que o método não foi influenciado pela presença de materiais diferentes do inseto. Uma provável explicação está no fato que o método de interpretação é baseado em interferências que podem surgir em níveis micrométricos, entretanto o caminhamento dos cupins se trata de atividade de relativa velocidade, os objetos que expressam atividades com maior velocidade podem se sobressair aos de menor atividade (Vidal, 2020).

Figura 2 – DG e STS utilizando luz laser antes e durante caminhada dos grupos observados.



Fonte: O Autor.

Os cupins coletados classificados como soldados realizaram voltas exploratórias durante o caminhada induzido, avançando centímetros e depois dando passos para trás e realizando inversões de caminhada e volta exploratória. Este comportamento resultou em um histórico de imagens com círculos que apresentam pontos de maior atividade centradas em locais específicos, prováveis sinais de inversão do caminhada. Segundo Janei et al. (2015), os cupins não apresentam dificuldade de movimentação e migração quando forçados a tal atividade. Segundo Haifing et al. (2015) a velocidade dos indivíduos é significativamente diferente entre as castas, sendo os soldados significativamente mais rápidos que os principais trabalhadores da casta.

Quando analisadas as imagens dos valores harmônicos das variações do STS, é possível observar que os grupos que apresentam maior atividade de caminhada, registraram uma quantidade maior de linhas cinzas sobrepostas na posição horizontal, como também pontos de distorção da sequência de sobreposição (Figura 2c e Figura 2d). Tal comportamento foi observado por (Rabelo et al., 2011) em movimentação de fungos *oxysporum* presentes em sementes, em que foi verificada a existência de diferenciação no padrão de harmonização do STS resultante.

A atividade de movimentação de indivíduos biológicos por meio de PDI foi observado por (P. H. A. Carvalho, Barreto, Braga, & Rabelo, 2009) que avaliou parâmetros de mobilidade do sêmen congelado de bovinos, os autores observaram que os métodos de observação de fenômenos óticos são capazes de distinguir diferentes intensidades de movimento, o que é considerado um componente importante quando se busca averiguar comportamento de forrageio de insetos eussociais. A dispersão da luz do laser está relacionada ao movimento de caminhar dos cupins, uma vez que os indivíduos mesmo estando fora de sua colmeia e seu habitat, se mantiveram agrupados durante todo o experimento.

Para o método de Momento de Inércia foram obtidos valores que se mostraram não paramétricos para apenas 25 amostras, desta forma foram realizadas análises post hoc utilizando o modelo de postos Mann-Whitney, a fim de averiguar possíveis diferenças significativas dos mesmos grupos, antes e durante caminhar, os indivíduos induzidos ao caminhar chegaram a registrar valores de 23,40 de MI, já os sem caminhar apresentaram máxima de 9,47. A Tabela 1 apresenta os valores resultantes da análise utilizando o método de Momento de Inércia.

Tabela 1 – Análise post hoc de Mann-Whitney ($P < 0,05$), para MIs Com Caminhar (CC) e Sem Caminhar (SC)

Tratamentos	Indivíduo 1	Indivíduo 2	Indivíduo 3	Indivíduo 4	Indivíduo 5	Média	P-valor ¹
CC	18,33	8,83	23,40	18,37	9,48	13,68	0,028
SC	7,70	9,11	9,47	8,12	5,43	7,96	

Fonte: Próprio autor.

Na análise por Diferença Generalizada e Momento de inércia, sabe-se que quanto maior é a atividade biológica, maior será a agitação das partículas e assim, maior serão os valores dos parâmetros obtidos no processamento das imagens (Fracarolli et al., 2018), apresentando desta forma a sensibilidade do método ao caminhar dos insetos.

A interação significativa ($P < 0,05$) observada pelo teste post-hoc, apresentou diferença entre os tratamentos quando comparados os dois grupos (com caminhar e sem caminhar), observa-se que a diferença do MI é maior nas amostras com atividade e menor nas contrárias. Betin et al. (2018) demonstrou que o método de PDI por diferença generalizada, associado ao Momento de Inércia, pode identificar diferentes níveis de maturação em frutos tais como a Goiaba ‘Tailandesa vermelha’, mesmo quando ainda não é observável os efeitos da senescência. Esses dados indicam que o sistema de laser biospeckle deve ser considerado uma ferramenta confiável para avaliação do caminhar do *Nasutitermes corniger*, contribuindo como um método alternativo para a investigação de caminhar realizado por insetos eussociais como o cupim.

O método aqui proposto é uma tecnologia simples e de baixo custo, potencialmente aplicável no campo, desenvolvida com o intuito de servir como uma fonte de informação, já que identifica as dinâmicas dos insetos eussociais tais como cupins, permitindo ao usuário, quando necessário, controlar mais efetivamente estas aglomerações. Ele funciona por meio do reconhecimento dos padrões de caminhar, movimentação durante o forrageio, atividade comum a estes insetos, não sendo necessário para isto, danificar os locais de aglomeração, muitas vezes fontes celulósicas.

Quando associado às técnicas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), pode promover benefícios econômicos e de segurança, fator de extrema importância na tomada de decisão no manejo integrado, tais como a aplicação de inseticidas. O usuário poderá obter dados mais rápidos e precisos das trilhas, colmeia e amplitude do forrageio dos cupins. A simplicidade do setup experimental proposto, junto aos componentes utilizados de baixo custo e fácil acessibilidade, para pequenos agricultores e silvicultores, assim como seu atributo não invasivo mostram que, o método aqui empregado se destaca potencialmente melhor entre as técnicas de avaliação do comportamento dos insetos comercialmente similares.

¹ Mann-Whitney a 5% de probabilidade

4. Conclusão

Neste presente trabalho, estudamos a dinâmica da atividade de caminhamento realizada por cupins *Nasutitermes corniger*. Foi possível obter dois tipos de dados de PDI a partir de uma configuração experimental correspondente ao DG e ao MI.

É presumível que as informações dos mapas das atividades gerados pelas DG estejam relacionadas diretamente à movimentação por caminhamento do inseto, uma vez que os métodos se mostram sensíveis estatisticamente ao movimento dos indivíduos aqui observados, mostrando, assim, que o método de DG pode ser usado como um parâmetro visual e analítico observacional para identificar o nível de movimentação dos cupins.

Da mesma forma, o método de MI se mostra eficiente e passível de aplicação como um parâmetro numérico para identificar o nível de movimentação dos cupins.

Deve-se notar que não foram observadas alterações quanto as atividades biológicas realizadas pelos indivíduos separadamente. Portanto, é sugerível realizar novos estudos, a fim de que possa se observar o comportamento por indivíduos separadamente para analisar possíveis padrões existentes em cada um ou diferenças por castas.

5. Referências

Almeida, C. S., Cristaldo, P. F., Florencio, D. F., Cruz, N. G., Santos, A. A., Oliveira, A. P., Bacci, L. (2016). Combined foraging strategies and soldier behaviour in *Nasutitermes aff. Coxipoensis* (Blattodea: Termitoidea: Termitidae). **Behavioural processes**, 126, 76–81.

Arizaga, R., Trivi, M., & Rabal, H. (1999). Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. **Optics & Laser Technology**, 31(2), 163–169.

Azerêdo, G. A. de, Paula, R. C. de, & Valeri, S. V. (2016). Germination of *Piptadenia moniliformis* Benth seeds under water stress. **Ciência Florestal**, 26(1), 193–202.

Betin, P. S., Peixoto, L. S., Prado, J. C. do, Silva, G. M., & Fracarolli, J. A. (2018). Avaliação dos estádios de maturação e qualidade pós-colheita de Goiabas ‘Tailandesa vermelha’. **Ingeniería y Región**, 20, 87–94.

Braga Júnior, R. A., Rivera, F. P., & Moreira, J. (2016). **A practical guide to biospeckle laser analysis: Theory and software**. Lavras-MG: Ed. UFLA. Recuperado de <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/12119>.

Briers, J. D., & Webster, S. (1996). Laser speckle contrast analysis (LASCA): A non-scanning, full-field technique for monitoring capillary blood flow. **Journal of biomedical optics**, 1(2), 174–180.

Carvalho, A. M., Santos, L. D. V., Holanda, F. S. R., Pedrotti, A., & Antonio, G. M. (2020). Processamento digital de imagens para avaliação do sistema radicular do *Paspalum millegrana* schrad. *Revista Caatinga*, 33(01), 100–107.

Carvalho, P. H. A., Barreto, J. B., Braga, R. A., & Rabelo, G. F. (2009). Motility parameters assessment of bovine frozen semen by biospeckle laser (BSL) system. **Biosystems Engineering**, 102(1), 31–35.

- Diógenes, F. E. P., Oliveira, A. K. de, Torres, S. B., Maia, S. S. S., & Coelho, M. de F. B. (2015). Atividade alelopática do extrato de folhas *Ziziphus joazeiro* Mart. – Rhamnaceae. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 9(4), 01–04.
- Djuideu, T. C. L., Bisseleua, D. H. B., Kekeunou, S., Meupia, M. J., Difouo, F. G., & Ambele, C. F. (2020). Plant community composition and functional characteristics define invasion and infestation of termites in cocoa agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, 94(1), 185–201. doi: 10.1007/s10457-019-00380-w
- Dornelles, H. de S., Matsuoka, M., Binelo, L. A., Pauvels, L. A., Caron, C. M., & Silva, V. R. da. (2017). Biomassa e atividade microbiana de solos com aplicação de resíduo sólido urbano e dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, (44), 18–26. doi: 10.5327/Z2176-947820170046
- Ferreira, D. V. (2018). **Mecanismos determinantes da agressividade intercolonial em cupim** (Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação), Universidade Federal de Sergipe). Universidade Federal de Sergipe, Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.
- Ferreira, G. V. E., Fracarolli, J. A., Pavarin, F. F. A., Wu, Y. T., & Vallar, F. de S. M. (2018). Avaliação de Amadurecimento de Tomates com a utilização do Biospeckle e sensor Kinect. **Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP**, (26).
- Fracarolli, J. A., & Fabbro, J. M. D. (2011). **Utilização do biospeckle laser na avaliação do potencial germinativo de sementes de Ipê—Roxo (*Tabebuia heptaphylla* (Vellozo) Toledo)** Tese Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas-UNICAMP. Universidade de Campinas-UNICAMP, Campinas-SP. Recuperado de <http://repositorio.unicamp.br/>
- Gonçalves, G. A., & Mitshita, E. A. (2016). O Uso da Distância de Hausdorff como Medida de Similaridade em Sistemas Automáticos de Atualização Cartográfica. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 22(4).
- Haifig, I., Jost, C., Fourcassié, V., & Costa-Leonardo, Y. A. M. (2015). Dynamics of foraging trails in the Neotropical termite *Velocitermes heteropterus* (Isoptera: Termitidae). **Behavioural Processes**, 118, 123–129.
- Janei, V., & Costa-Leonardo, A. M. (2015). Evaluation of growth and foraging in laboratory colonies of *Coptotermes gestroi* (Isoptera, Rhinotermitidae). **Behavioural Processes**, 115, 94–99.
- Kaiser, D., Lepage, M., Konaté, S., & Linsenmair, K. E. (2017). Ecosystem services of termites (Blattoidea: Termitidae) in the traditional soil restoration and cropping system Zaï in northern Burkina Faso (West Africa). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 236, 198–211.
- Kakkar, G., & Su, N.-Y. (2018). Molting drives mortality in foraging populations of Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) baited with a chitin synthesis inhibitor, noviflumuron. **Pest Management Science**, 74(1), 219–224.
- Karawita, H., Perera, P., Dayawansa, N., & Dias, S. (2020). Dietary composition and foraging habitats of the Indian Pangolin (*Manis crassicaudata*) in a tropical lowland forest-associated landscape in southwest Sri Lanka. **Global Ecology and Conservation**, 21, 880.
- Lai, J. C. S., Oberst, S., & Evans, T. A. (2017). Termites thrive by using vibrations. **24th International Congress on Sound and Vibration**, ICSV 2017. Recuperado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0>

Liang, B., Wu, S., Xu, K., & Hao, J. (2020). Butterfly detection and classification based on integrated YOLO algorithm. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, 1107 AISC, 500–512.

Malaquias, J. B. (2019). **Ecological modelling of Spodoptera frugiperda genotypes larval dispersal as tool to understand and management resistance in Bt cotton landscapes** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.

MathWorks, M. (2018). **Matlab version R2017a**. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.

Pandiselvam, R., Mayookha, V. P., Kothakota, A., Ramesh, S. V., Thirumdas, R., & Juvvi, P. (2020). Biospeckle laser technique – A novel non-destructive approach for food quality and safety detection. **Trends in Food Science & Technology**, 97, 1–13.

Peixoto, L. S., Gisela Maiara Silva, Fujii, A. k, Parisi, J. J. D, Aguiar. A. R, & Fracarolli. J. A. (2018). Maize Seeds Submitted to Thermotherapy and Analyzed by Dynamic Speckle. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, 8(2), 115–121.

Pinheiro, R. dos S., Ramos, V. M., Leão, R. M. de, Almeida, V. T. de, Cruz, J. V. S., Saqueti, M. B., ... Milhiorança, G. R. (2017). Forrageamento e sobrevivência de colônias do cupim *Nasutitermes* Sp em laboratório. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, 13(2), 123–129.

Rabelo, G. F. (2000). **Avaliação do fenômeno biospeckle” no monitoramento de qualidade de laranjas (Citrus Sinensis)**. Tese Doutorado em Engenharia Agrícola. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas-UNICAMP, Campinas-SP.

Santos, A. A., Oliveira, B. M. S. de, Melo, C. R., Lima, A. P. S., Santana, E. D. R., Blank, A. F., ... Bacci, L. (2017). Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 145, 436–441. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.057

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, 9(7), 671–675.

Šobotník, J., Jirošová, A., & Hanus, R. (2010). Chemical warfare in termites. **Journal of Insect Physiology**, 56(9), fe.

Thenmozhi, K., & Reddy, U. S. (2017). Image processing techniques for insect shape detection in field crops. 2017 **International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)**, 699–704.

Vidal, L. D. (2020). An experimental approach to study the red blood cell dynamics in a capillary tube by biospeckle laser. **Optics and Lasers in Engineering**, 127, 105943.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença Creative Commons - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), no qual, os artigos podem ser compartilhados desde que o devido crédito seja aplicado de forma integral ao autor (es) e não seja usado para fins comerciais.