



CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO MATERIAL DO NINHO DA VESPA ASIÁTICA

Naim Sedira^a; Moisés Santos^a; Fábio Pereira^a; Cristovão Santos^a; Sandra Pereira^{a,b}, Miguel Nepomuceno^{b,c}, Isabel Bentes^{a,b}, Jorge Pinto^{a,b}

^a UTAD (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5000-801 VILA REAL, Portugal),
naimsedira@utad.pt, moisantos18@gmail.com, famp@utad.pt, clsantos@utad.pt

^b CMADE (Centre of Materials and Civil Engineering for Sustainability, Quinta de Prados, 5000-801, Vila Real, Portugal),
spereira@utad.pt, ibentes@utad.pt, tiago@utad.pt

^c UBI (Universidade da Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, 6201-001 COVILHÃ, Portugal), mcsn@ubi.pt

RESUMO

O ninho da vespa asiática (NVA) tem despertado o interesse de vários investigadores de diversas áreas do conhecimento. Na perspetiva da construção, este ninho revela uma complexidade funcional, arquitetónica, construtiva, estrutural e material deveras interessante. Alguns trabalhos de investigação foram publicados recentemente sobre o estudo desta construção animal. De uma maneira geral, estes trabalhos debruçaram-se sobre uma visão macro das estratégias construtivas, sobre a caracterização química do material de construção e sobre a descrição da solução arquitetónica e construtiva. Este trabalho de investigação pretende dar um contributo na caracterização mecânica do material do ninho da vespa asiática. Para o efeito, foram recolhidas algumas amostras de material de um ninho de vespa asiática, foram preparados diferentes provetes, ajustadas as técnicas de ensaio e realizados ensaios de tração. Com base nos resultados experimentais, foi possível obter de forma aproximada a capacidade resistente à tração do referido material. Importa acrescentar que este material é natural, de origem celulósica e bastante heterogéneo. Pensa-se que este trabalho possa dar contributo na temática dos materiais e das construções naturais.

Palavras-chave: Ninho de Vespa Asiática; Materiais naturais; Construção natural; Propriedades Mecânicas



1 INTRODUÇÃO

A natureza é amplamente reconhecida como uma profunda fonte de conhecimento, oferecendo soluções frequentemente procuradas pelos humanos. Ao longo de mais de 3,8 bilhões de anos de evolução, via testes contínuos, investigações, desenvolvimentos e soluções adaptativas, a natureza acumulou uma riqueza em sabedoria. Este conceito é encapsulado na biomimética, um termo originado das palavras gregas “BIOS”, que significa vida, e “mimese”, que significa imitar. Cunhado em 1962, o termo biomimética envolve a emulação consciente do génio da natureza. Conforme definido por Janine Benyus em 1997, a biomimética é “a emulação consciente do génio da natureza” (Benyus, 1997; Sedira *et al.*, 2024).

Nós humanos podemos aprender com a natureza, por exemplo, a arquitetura animal é um tema fascinante na história natural, crucial para a sobrevivência dos animais ao proporcionar proteção contra predadores e elementos externos. Em particular, os ninhos de insetos sociais desempenham um papel essencial na vida das colónias, fornecendo informações valiosas sobre o tamanho da colónia, taxa de crescimento, divisão do trabalho, armazenamento de alimentos, defesa e considerações económicas. Além disso, abrange conceitos avançados de fenótipo e homeostase, entre outros parâmetros que justificam uma investigação mais aprofundada (Hansell, 2005, 2007). Ao contrário de outros grandes grupos de insetos sociais, as vespas sociais normalmente constroem os seus ninhos acima do solo, expondo-os às variações do meio ambiente. Esses ninhos são construídos para suportar a sua carga permanente (e.g. o peso próprio) e as ações variáveis tais como a sobrecarga, o vento, as variações térmicas, entre outras, enquanto suspensas nos seus apoios. As vespas criam um material semelhante ao papel ao mastigar a polpa raspada de madeira morta ou ao recolher fibras vegetais de plantas vivas, combinadas com casca, folhas mortas ou outros tecidos vegetais do chão da floresta (Wenzel, 2020).

Em 2001, M.R. Cole *et al.* (Cole *et al.*, 2001) realizaram um estudo quantitativo abrangente para explorar as propriedades físicas do papel dos ninhos em três espécies distintas de vespas da subfamília Vespinae (Hymenoptera, Vespidae). A pesquisa examinou minuciosamente como os comportamentos e preferências de construção de ninhos dessas espécies influenciaram as características do papel dos ninhos que produziram. Através de análise detalhada, Cole *et al.* observaram diferenças significativas na composição e na integridade estrutural do papel dos ninhos entre as espécies de vespas estudadas. Estas variações foram intimamente relacionadas às condições ambientais específicas e aos hábitos de nidificação preferidos por cada espécie. Por exemplo, as espécies que preferem construir ninhos em locais expostos podem produzir ninhos com diferentes resistências à tração e de durabilidade em comparação com aquelas que preferem ambientes mais protegidos. Contudo, eles não estudaram o ninho deste tipo de vespa, nem sequer, este tipo de ninhos localizados em Portugal. Também, estes autores não mostram qualquer imagem real ou gráfico dos resultados alcançados.

Recentemente, e no contexto da biomimética N. Sedira *et al.* (Sedira *et al.*, 2023) investigaram a arquitetura interna de ninhos de vespas asiáticas (NVA) utilizando técnicas avançadas de imagem, como tomografia computadorizada e radiografia de raio-X. O seu objetivo foi compreender a construção e a função desses ninhos e inspirar-se no engenhoso *design* da natureza. Os NVA apresentam um arranjo notável de células hexagonais que funcionam como compartimentos individuais. Os pedicelos (caules) nestes ninhos desempenham um papel crucial na transferência de carga e na garantia de estabilidade. Ao estudar estes princípios arquitetónicos, os investigadores pretendem inspirar práticas inovadoras e sustentáveis em áreas como a arquitetura e a engenharia civil. Além disso, a intrincada microestrutura do material do ninho, composta por vários fragmentos e fibras de plantas, oferece informações valiosas para melhorar a estabilidade e a durabilidade das construções humanas.



Neste estudo investigam-se algumas propriedades mecânicas, em particular, a resistência à tração, de um material semelhante ao papel encontrado na envolvente externa dos ninhos das vespas asiáticas. Compreender as propriedades mecânicas do material do ninho das vespas asiáticas é importante por várias razões. Primeiro, oferece *insights* sobre as capacidades naturais de engenharia desses insetos, mostrando como otimizam materiais para funções específicas estruturais e de isolamento. Em segundo lugar, esse conhecimento pode inspirar novos projetos biomiméticos em engenharia e arquitetura, onde materiais leves e resistentes são altamente valorizados. Por fim, do ponto de vista biológico, entender a integridade estrutural desses ninhos contribui para um entendimento mais amplo do comportamento e da evolução dos insetos. Através de um trabalho experimental, este artigo pretende divulgar alguns dados mecânicos do material do ninho, em particular, a sua capacidade resistente em relação à tração. Deste modo, pensa-se que se poderá dar um contributo no avanço tecnológico e no design de materiais biomiméticos. Acresce ainda dizer, que este estudo ainda se encontra numa fase preliminar e que estes são os primeiros resultados a serem divulgados neste contexto. Também parece ser oportuno acrescentar que o interesse de se investigar a capacidade resistente à tração prende-se com o facto da estrutura do ninho estar predominantemente sujeita a esforços de tração, uma vez que se encontra suspensa.

2 CASO DE ESTUDO E MÉTODOS

2.1 CASO DE ESTUDO

A Figura 1 mostra o ninho de vespa asiática usado como caso de estudo e que foi recolhido em Amarante, no Norte de Portugal. Trata-se de um ninho de grandes dimensões. Esta construção natural é formada por duas partes distintas, o revestimento exterior (Figura 1.a) e os favos interiores (Figura 1.b). Os materiais de construção são distintos nesta construção. É notável o nível de sofisticação de engenharia estrutural desta construção natural. Este ninho é formado por cinco favos (dispostos simetricamente e igualmente espaçados), Figura 1.b, e que são envolvidos pelo complexo revestimento exterior. Esta construção simétrica realça a habilidade organizacional das vespas e a capacidade de criar uma construção estável, confortável, sustentável e integrada no ambiente e na paisagem.

2.2 MÉTODOS

O trabalho experimental assentou na realização de ensaios de tração, no laboratório de Engenharia Mecânica da UTAD. Para o efeito, foram recolhidos provetes do ninho, mantidos em laboratório durante um ano (temperatura de 22 °C), preparados e ensaiados à tração até à rutura. Foi usada uma máquina de ensaios uniaxiais INSTRON 5848 MicroTester, Figura 2.a. Geralmente, um ensaio desta natureza é realizado em amostras, em quantidade considerada representativa, de forma e de dimensões padrão, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos. Seguidamente, estes provetes são fixados à máquina universal de ensaios que aplica forças crescentes. A força aplicada (\vec{F}_a) e o respetivo deslocamento são medidos continuamente pelo equipamento e normalmente o ensaio decorre até à rutura do provete.

Na Figura 2, é possível observar o equipamento usado assim como as amarras que permitirão fixar os provetes a ensaiar à tração.



(a)



(b)

Figura 1 – (a): Ninho da vespa asiática; (b): Interior do ninho da vespa asiática.



(a)



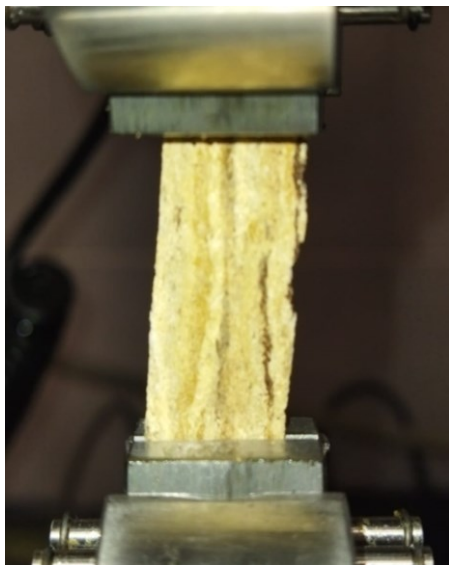
(b)

Figura 2 – (a): Máquina de ensaios uniaxiais INSTRON 5848 MicroTester; (b): Amarras INSTRON 2716-017 (Carga máxima 2kN)

A recolha das amostras, a preparação dos provetes e a fixação destes através das amarras (ou cunhas) foram tarefas experimentais muito desafiantes tendo em conta a fragilidade do material a ensaiar. Outra limitação deste ensaio esteve relacionada com o facto de os provetes não serem perfeitamente planos.

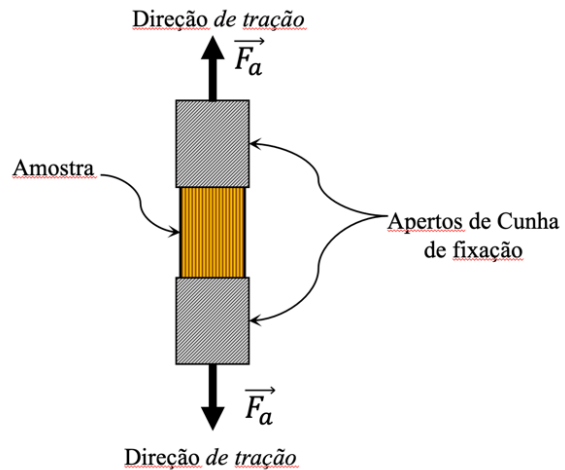
A Figura 3 mostra a configuração deste ensaio. Por exemplo, na Figura 3.a um provete está a ser ensaiado à tração e na Figura 3.b mostra-se esquematicamente este processo de ensaio.

Neste caso, foram ensaiadas quatro amostras de material do revestimento do ninho e paralelamente às camadas do material, Figura 3.a.



(a)

\vec{F}_a : Paralelo à direção da tira (mesma direção)



(b)

Figura 3 – Ensaio de tração do material de revestimento do NVA. (a) Configuração física; (b) Configuração esquemática.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra os diagramas tensão (MPa) - extensão (%) das quatro amostras ensaiadas. Estes gráficos ilustram as características de comportamento à tração do material.

Em geral e de forma simplificada, o material apresenta uma fase linear e até se atingir a rotura.

A variabilidade das curvas de tensão-extensão obtidas está relacionada com os seguintes fatores: variabilidade do material, variabilidade dimensional das amostras, impossibilidade de se obter amostras perfeitamente planas, dificuldade de montagem das amostras nas amarras, dificuldade de alcançar uma perfeita amarração da amostra às cunhas, entre outros.

O Módulo de Young (E) é a inclinação da porção linear do diagrama tensão-extensão. Este é calculado através da Expressão 1:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (1)$$

Onde $\Delta\sigma$ é a variação tensão e $\Delta\varepsilon$ é a variação da extensão na região linear.

A resistência à tração é a tensão máxima que o material pode suportar. No gráfico, é o valor de pico da tensão.

A extensão última é a extensão correspondente à resistência à tração. É o valor da extensão no pico de tensão.

A Tabela 1 apresenta os valores destas propriedades obtidas para as quatro amostras ensaiadas.

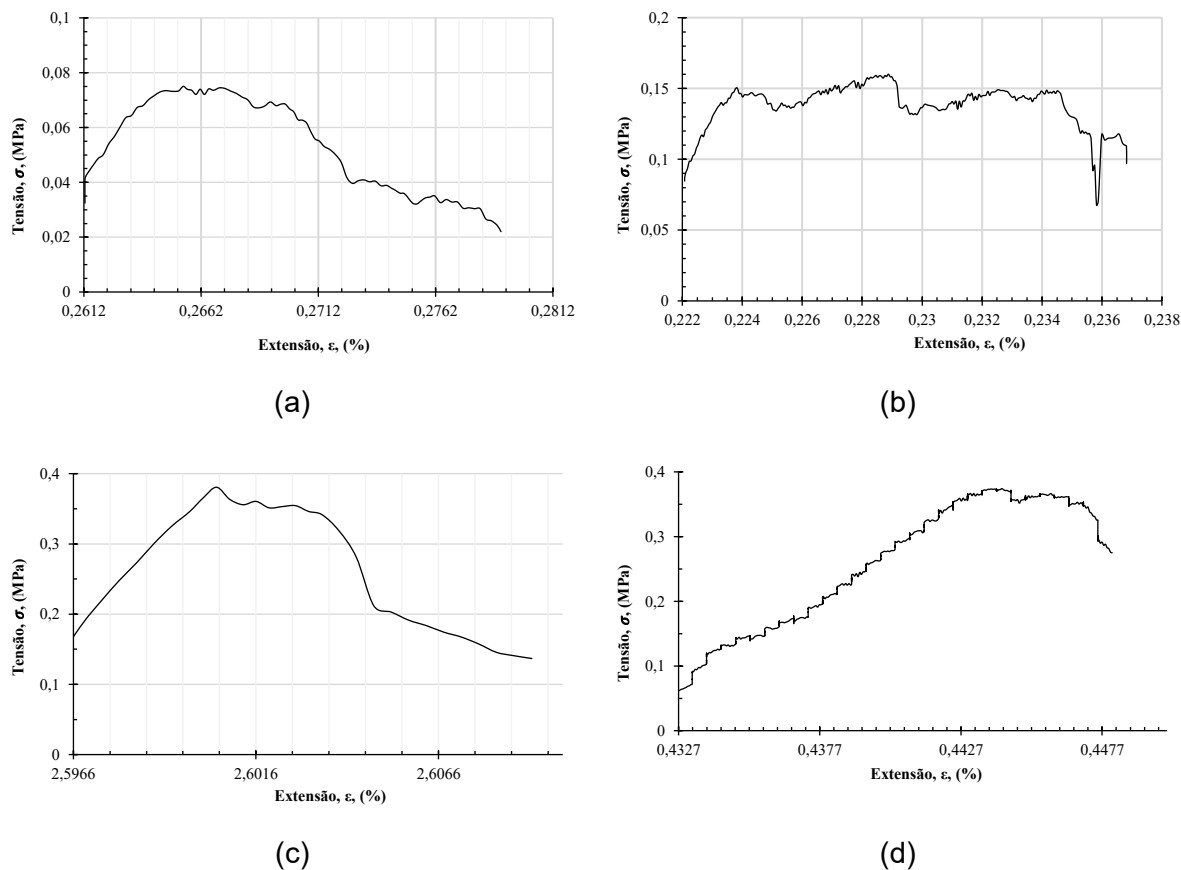


Figura 4 – Diagrama tensão-extensão de: a) Amostra 1; b): Amostra 2; c): Amostra 3; d): Amostra 4

Tabela 1 – Algumas propriedades mecânicas do material do revestimento do NVA.

Amostra	Módulo de Young (E) (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Extensão última (%)
1	7,6	0,075	0,265
2	44,1	0,160	0,230
3	57,6	0,381	2,600
4	50,4	0,374	0,444

Na Figura 5 é possível observar o modo de rotura obtido geralmente. A densidade do material estudado é aproximadamente de $0,23 \text{ g/cm}^3$.

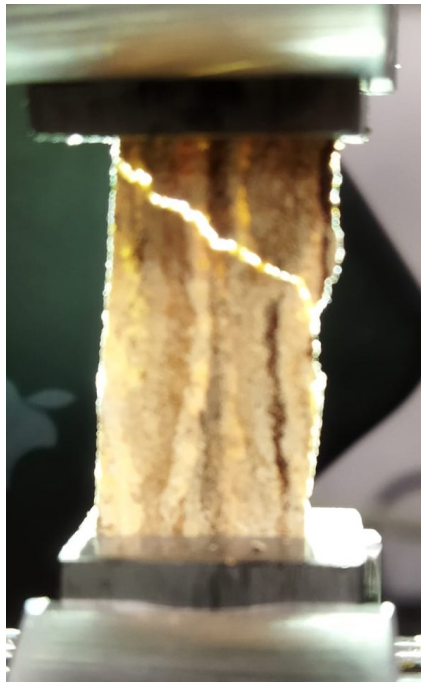


Figura 5 - Modo de rotura

4 CONCLUSÕES

Este artigo apresenta alguns dos resultados obtidos num trabalho preparatório de avaliação das propriedades mecânicas do material do NVA.

É proposto um procedimento experimental de determinação de algumas propriedades mecânicas do comportamento à tração do material de revestimento do NVA.

É necessário aperfeiçoar este procedimento experimental.

Também é necessário ensaiar um maior número de amostras de NVA.

As maiores dificuldades enfrentadas foram a variabilidade do material do NVA, a variabilidade dimensional das amostras, a impossibilidade de se obter amostras perfeitamente planas, a fragilidade do material do revestimento do NVA, a dificuldade de montagem das amostras nas amarras, a dificuldade de alcançar uma perfeita amarração da amostra às cunhas, entre outras.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT através do projeto UIDB/04082/2020 (C-MADE).

REFERÊNCIAS

Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. HarperCollins Publishers Ltd.

Cole, M. R., Hansell, M. H., & Seath, C. J. (2001). A quantitative study of the physical properties of nest paper in three species of Vespine wasps (Hymenoptera, Vespidae). *Insectes Sociaux*, 48(1), 33–39.

<https://doi.org/10.1007/PL00001742>

Hansell, M. (2005). *Animal architecture*. In Oxford Animal Biology Series Editors. Oxford University



- Press Inc., New York.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.09.082>
- Hansell, M. (2007). *Built by Animals: The natural history of animal architecture*. In Oxford University Press Inc., New York. Oxford University Press Inc., New York.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1626-x>
- Höcherl, N., Kennedy, S., & Tautz, J. (2016). Nest thermoregulation of the paper wasp *Polistes dominula*. *Journal of Thermal Biology*, 60, 171–179.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.07.012>
- Jones, J. C., & Oldroyd, B. P. (2006). Nest Thermoregulation in Social Insects. In *Advances in Insect Physiology* (Vol. 33, Issue 06).
[https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(06\)33003-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(06)33003-2)
- Sedira, N., Pinto, J., Bentes, I., & Pereira, S. (2024). Bibliometric analysis of global research trends on biomimetics, biomimicry, bionics, and bio-inspired concepts in civil engineering using the Scopus database. *Bioinspiration & Biomimetics*, 19(4), 56.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1748-3190/ad3ff6>
- Sedira, N., Pinto, J., Ginja, M., Gomes, A. P., Nepomuceno, M. C. S., & Pereira, S. (2023). Investigating the Architecture and Characteristics of Asian Hornet Nests: A Biomimetics Examination of Structure and Materials. *Materials*.
- Wenzel, J. W. (2020). Nest Structure: Social Wasps. *Encyclopedia of Social Insects*, 1–14.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-90306-4_146-1