


Nuevas aplicaciones en el campo del biodiseño. Un enfoque de empaques naturales

Antônio Roberto Miranda de Oliveira⁽¹⁾,
Amilton José Vieira de Arruda⁽²⁾, Carla Langella⁽³⁾
y Over Montes Causil⁽⁴⁾


Resumen: Las cáscaras de las frutas actúan como empaques naturales porque envuelven, contienen, almacenan, aíslan el producto del medio ambiente y, principalmente, las protegen de daños mecánicos. Las cáscaras poseen diferentes distribuciones celulares que se han desarrollado durante años hasta convertirse en estructuras de alto desempeño. Estas son estructuras desarrolladas que han originado y permitido la creación de nuevos materiales y componentes que protegen a las mercaderías de daños mecánicos inducidos principalmente por el manoseo y los golpes. Así, la protección contra daños mecánicos y otras influencias ambientales negativas, incluye dentro de otras cosas, la resistencia a los choques, función de amortiguación y la disipación de la energía. Entonces, los materiales naturales vienen ofreciendo nuevos *insights* para explorar, proyectar, sintetizar y fabricar nuevos materiales. En esa perspectiva, la naturaleza ha sido fuente de inspiración en diversas áreas del conocimiento y como resultado, se han desarrollado nuevos métodos de investigación científica y nuevas estrategias basadas en estructuras naturales que aun estando en constante adaptación y mejoras han sido utilizadas como base para ofrecer soluciones altamente eficientes y desempeñar varias funciones que tiene como objetivo aumentar la eficiencia del material utilizado.


Palabras claves: Biodiseño - Empaques naturales - Biomimética - bioinspiración - Covid19


[Resúmenes en castellano y en portugués en las páginas 212-213]

⁽¹⁾ **Antônio Roberto Miranda de Oliveira** es Doctor en Diseño (2022) y posee maestría en Diseño con énfasis en la Gestión de Diseño y Diseño estratégico. Actualmente es Profesor en la Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Brazil e Investigador activo del grupo Bio-design y Artefatos Industriais de la Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Brazil.  ORCID ID 0000-0003-2703-0499.

⁽²⁾ **Amilton José Vieira de Arruda**, Licenciado en Diseño Industrial por UFPE (1982), Master en Diseño y Biónica por IED de Milán (1992), Doctorado en *Ricerca in Disegno Industriale* PhD por Universidad Politécnica de Milán (2002). Postdoctorado en Diseño y Biónica por IADE Universidad Europea UNIDCOM Lisboa (2018/2019), y postdoctorado en Biónica en Universidad Luigi Vanvitelli Nápoles-IT (2021/2022). Desde 1985 Profesor

del Curso de Diseño de UFPE. Actualmente es Profesor asociado IV. Coordina el Grupo de Investigación en Biodiseño y Artefactos Industriales de UFPE. Organizador junto a Edgard Blucher de la serie [DesignCONTEXTO] ensayos de diseño, cultura y tecnología de los siguientes libros: (2017) *Diseño y Complejidad*; (2017) *Diseño e Innovación Social*; (2018) *Diseño, Artefactos y Sistemas Sostenibles*; (2022) *Narrativas y Lenguajes en el proceso creativo en Modelado y Prototipado*. Siempre con Edgar Blucher organiza la serie [designNATUREZA] ensayos sobre diseño, biónica y biomimética con el siguiente libro: (2018) *Métodos y Procesos en Biónica y Biomimética: la revolución tecnológica por naturaleza*. Con la editorial Insign (2019) lanzó *Temas en Diseño: Biomimética, Sostenibilidad y Nuevos Materiales*; y recientemente con Blucher (2020) el libro: *Diseño y Biónica*. Carmelo Di Bartolo y *Centro Ricerche IED: esperienze memorabili da 30 protagonisti*.  ORCID ID 0000-0003-4551-4497. amilton.arruda@ufpe.br; arruda.amilton@gmail.com.

⁽³⁾ **Carla Langella**, Arquitecta, Profesora asociada de Diseño Industrial en el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Nápoles “Federico II”, donde enseña Diseño de Experiencia del Usuario y Diseño Industrial. Desde 2006, fundó y coordina el *Hybrid Design Lab*, un proyecto y laboratorio de investigación dedicado a las relaciones mutuas entre el diseño y las biociencias, con especial interés en la biomimesis, el diseño de materiales híbridos, el diseño para la salud y el diseño de experiencias culturales mediadas por tecnologías digitales. Ha publicado más de cien artículos científicos, contribuciones a libros, actas de congresos y monografías sobre estos temas.  ORCID ID 0000-0002-4346-656X. carla.langella@unina.it

⁽⁴⁾ **Over Montes Causil** es Magister en Ingeniería de Producción de la Universidade Federal de Pernambuco (2018) UFPE, Brazil. Ingeniero de Alimento por la Universidad de Córdoba, Colombia (2015). Tiene amplia experiencia en la producción de alimentos y se destaca como docente en universidades privadas en Brazil. Es investigador activo del grupo de investigación DNW de la Universidad Federal de Pernambuco, donde también adelanta sus estudios de doctorado en el área de ingeniería de Producción.  ORCID ID 0000-0002-5188-7065. over.montes@ufpe.br

1. Introducción

A lo largo de las últimas décadas, diferentes metodologías estructuradas han sido utilizadas por investigadores, donde la biomimética –área de la ciencia encargada de estudiar los principios y estrategias creativas de la naturaleza con el objetivo de alcanzar soluciones útiles a distintos problemas que enfrenta la humanidad– ha sido adoptada como una reciente metodología que agrega los principios de funcionalidad, estética y sustentabilidad. Conforme Grijalva (2018), esta metodología utiliza la observación como mecanismo de aprendizaje, ya que algunos procedimientos han sido descubiertos mediante la observa-

ción –entre ellos– nuevas formas de cultivar alimentos, fabricar nuevos materiales, generar energías más eficientes e incluso, realizar negocios. Así, la biomimética puede originar nuevos productos de la misma forma que la naturaleza lo hace. De hecho, la naturaleza proporciona modelos inteligentes en estructuras y sistemas que realizan funciones complejas y simples (Benyus, 1997).

Esas estructuras, generalmente jerárquicas, han sido actualmente bastante estudiadas gracias a sus propiedades mecánicas con alto chance de aplicación en la ingeniería, arquitectura y diseño (Zhang, 2019). Algunas de esas propiedades se han explorado en problemas industriales en el campo de desarrollo de nuevos productos y materiales (Schäfer *et al.*, 2020). El objetivo de este trabajo es explorar la morfología y anatomía de algunas frutas con énfasis en el pericarpo de *Citrus sinensis* para extraer información de posibles implicaciones prácticas que permitan la estructuración de modelos teóricos y empaques que minimicen el impacto causado por algunos efectos mecánicos. De este modo el estudio biomimético será usado como método para explorar la morfología y anatomía de la fruta, lo que implica observar y entender como la naturaleza comunica sus estrategias (Grijalva, 2018).

En mercados competitivos y emergentes originados por la pandemia causada por el Covid19, esta investigación contribuiría a la teoría y a la práctica por la presentación de estructuras con propiedades de amortiguación. Esas estructuras serían de gran utilidad para el desarrollo de nuevos productos y materiales inspirados en el biodiseño que buscan disminuir las consecuencias causadas por los impactos mecánicos. Además, esta investigación serviría de guía para practicantes e investigadores del área de desarrollo de nuevos productos y empaques naturales por la amplia y actual referencia bibliográfica presentada. Esos inteligentes sistemas biológicos son fuente de inspiración de un gran número de proyectos en el área de la ingeniería y el diseño. Esos proyectos, llamados bio-inspirados, son el resultado de la combinación de áreas como el diseño, la biociencia y la biomimética que, en realidad, buscan encontrar una solución a desafíos del área de diseño (Arruda *et al.*, 2019; Bhushan, B., 2016; Lakhakia, A.; Martin-Palma, R. J., 2013; Langella, C., 2019; Primrose, S. B., 2020; Ufodike, C. *et al.*, 2021).

Diferentes sistemas biológicos han sido objetos de investigación, en este caso las frutas, por su importancia en la alimentación y nutrición humana, merecen atención especial. Las frutas son compuestas por un conjunto variado de elementos o sistemas, como, por ejemplo, la cáscara, cuya función principal es de proteger contra los daños mecánicos, la radiación ultravioleta y proveer aislamiento del ambiente. Pocos estudios de este sistema –desde el punto de vista de la biomimética– han sido encontrados en la literatura, siendo entonces un importante *gap* a tener en cuenta. Este estudio de investigación propone analizar los empaques naturales, especialmente los de la fruta, desde un abordaje de revisión de la literatura existente. El estudio –por medio de la exploración de los componentes y distribuciones– buscar proponer nuevas estructuras que serían de mucha utilidad en el área de diseño.

Este artículo se compone de 4 secciones. En la primera: la introducción, y se menciona el *gap* existente dentro de la literatura y el problema de estudio. Se presenta un breve marco referencial teórico y la metodología del trabajo en la sección 2. La sección 3 presenta el resultado de la revisión de la literatura existente. Las discusiones, la conclusión y sugerencias para futuros trabajos de investigación son presentadas en la sección 4.

2. Marco teórico referencial y metodología de investigación del trabajo

En esta sección, se presenta un breve referencial teórico de los asuntos tratados y el método de investigación.

2.1. La biomimética, definición y background

En los últimos años, la biomimética se ha utilizado bastante en el campo de la investigación aplicada para el desarrollo de nuevos productos y materiales. Se cree que su enorme utilización, se debe a su alto potencial de innovación, sumado a la gran posibilidad de ofrecer nuevos productos bioinspirados a las cadenas productivas sostenibles (Speck *et al.*, 2018). De manera conjunta con el avance tecnológico, este ha contribuido al desarrollo de nuevas técnicas y dispositivos gracias a las enormes posibilidades tecnológicas que impactan positivamente el área de nuevos productos y las relaciones humanas (Oliveira *et al.*, 2021).

El término Biomimética formado por la raíz *bios* que significa vida y *mimese* significando imitar, puede ser definida como el análisis de los modelos, sistemas y procesos naturales a simular o imitar con la intuición y objetivo de resolver algún problema. Así la biomimética ha atraído el interés de investigadores por explorar sistemas y comprender en más detalle las estructuras de la naturaleza (Jelinek, 2013).

A su vez Broeck (2018) incorpora más variables en la definición. Para el autor, biomimética es el diseño y producción de materiales, estructuras y sistemas a partir de un conjunto de plantas o animales que han evolucionado constantemente para enfrentar los cambios ambientales. El autor argumenta que esas transformaciones son originadas por ejemplo a partir de variables como la temperatura y la defensa contra los depredadores.

La naturaleza nos presenta de esta manera materiales y estructuras de alto desempeño. Entonces, ella ha servido como fuente valiosa para la creación o la mejora (Primrose, 2020). Para Ellison, m.s. (2013), la biomimética, usa como principio fundamental, utilizar el mundo biológico natural como inspiración. Además, el mismo autor agrega que esta metodología posee tres componentes: (a) Naturaleza como modelo, (b) Naturaleza como medida y (3) Naturaleza como mentora.

En la misma dirección, el informe NRC, considera a la biomimética como el arte de aprender el principio mecánico que guía la función natural y seguidamente intentar alcanzar la misma función por medio de un material sintético. El informe agrega el término *material sintético* producto de una inspiración a partir de un sistema natural. Entonces, el término bioinspiración es definido como acto de crear un producto, material o estructura a partir de un sistema natural.

Recientemente, un procedimiento propuesto por Sarkar (2019) detalla la metodología según 5 pasos: (a) Inicialmente, se debe extraer la esencia o encontrar el aspecto más importante de sistema; (b) Después, se recomienda identificar las funciones; (c) El procedimiento sugiere descubrir el modelo para poder simularlo o imitarlo; (d) Luego construir el modelo; (e) Y, por último, realizar una evaluación de los resultados de la simulación del modelo.

Un aspecto importante, de acuerdo con Sarkar (2019), es que no se debe confundir los conceptos de biónica y biomimética. Aunque similares, poseen diferencias significativas. La biónica es una disciplina técnica que se dedica a reemplazar o sustituir sistemas biológicos, mientras que la biomimética aprende de los sistemas biológicos para crear nuevos sistemas y/o materiales.

2.2. Empaques naturales y su relación con la biomimética

Las frutas –importante alimento para los humanos por su alto contenido de vitaminas y minerales– cuyas cáscaras están formadas por complejas estructuras que además de aislarlas del medio ambiente y evitar su contaminación, las protegen de choques mecánicos (Oliveira et al., 2021; Schäfer, 2020). Esas estructuras se desarrollaron a través de un conjunto de soluciones inteligentes naturales que las vuelven aptas para sobrevivir a las más altas condiciones de adversidad (Preiß, S., Degenhardt, J., & Gershenzon, J., 2014).

En la misma línea de investigación, Grijalva (2018) afirma que las plantas y en especial las frutas son capaces de presentar plasticidad en su morfología y fisiología dentro de su ambiente para adaptarse a condiciones adversas.

Las cáscaras de las frutas protegen e identifican las mercaderías en la misma forma que sucede con los empaques naturales. Sumado a su capacidad de adaptación, los mismos autores, ven en ellas una gran oportunidad de aprendizaje en su exploración y una gran chance dentro de la aplicación de soluciones industriales. Frente a esa perspectiva, uno de los mayores avances en la ciencia de los materiales, actualmente, está dada por la inspiración a partir de la naturaleza basado en empaques naturales (Arruda, 2002).

La inspiración en soluciones naturales ha permitido el desarrollo de nuevos materiales con propiedades mejoradas que son aplicables en diversos campos, como, por ejemplo, en el área automotriz y arquitectónica (Zhang, W., Yin, S., Yu, T. X., & Xu, J., 2019). El contenido de las varias estrategias o estructuras de los empaques naturales provienen de las cáscaras de las frutas. Otras estructuras están contenidas en la información genética de las semillas que proveen el enlace genético y serían las principales agentes de dispersión para las futuras generaciones. De la misma forma que la frutas, las semillas son producidas y empacadas en estructuras botánicas contenidas en un empaque natural que posee estrategias de apilamiento para optimizar el espacio del endocarpio, o parte más interna de las frutas. Algunas frutas poseen colores específicos para llamar la atención de insectos que contribuyen con procesos de polinización o para ahuyentar depredadores. Las funciones de envolver o de amortiguar los golpes también han sido citadas en la literatura.

2.3. Método de Investigación

Con el ánimo de obtener resultados confiables, se presenta la revisión bibliográfica sistemática (RBS) utilizada en esta investigación. La *Tabla 1* presenta la estructuración de la RBS.

Estructuración de la RBS	
Entrada	Caracterización
<p>Problema de investigación: etapa que busca formular una o más preguntas para ser respondidas a través de la RBS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las estructuras jerárquicas de las frutas, cascara o semillas para el desarrollo de productos bioinspirados? • Principales autores referenciados.
<p>Objetivos: son la base para el análisis de los artículos encontrados y la fuente primaria para definir las palabras claves</p>	<p>El objetivo principal de la RBS es mapear los trabajos científicos publicados en los últimos años sobre el desarrollo de estructuras bioinspiradas para el desarrollo de productos y fundamentación teórica. Además de identificar los gaps de la literatura del asunto.</p>
<p>Fuente primaria: Constituyen los artículos y periódicos, suma a la base datos que ayudaran a identificar los artículos relevantes y principales autores</p>	<p>Periódicos de la CAPES a través del acceso CAFe (Comunidad académica Federadas). Periódicos CAPES – http://www.periodicos.capes.gov.br/</p>
<p>Strings: corresponde a la identificación de palabras claves, definición de parámetros de inclusión y operadores booleanos de la búsqueda.</p>	<p>P- “fruits”; I- “Biomimetics”; C- “design”; O- “bioinspiration”; C- “technology”</p>
<p>Criterios de inclusión: en esta etapa se considera los objetivos de la investigación para definir criterios de inclusión y exclusión</p>	<p>Como criterio de inclusión tres filtros fueron usados Filtro 1- Título, resumen y palabras claves Filtro 2- Introducción y conclusión Filtro 3- Lectura completa</p> <p>Como criterio de exclusión, se mencionan ü No atiende los objetivos de la investigación ü Es un estudio que no trata de frutas La exclusión se dará por medio del título y las palabras claves</p>
<p>Criterios de calificación: identifica la importancia del artículo con base en algunos criterios de evaluación</p>	<p>Los criterios de calificación fueron elaborados a partir de los criterios de inclusión y se intensificaron a partir de filtro 2, es decir, con la lectura completa del artículo</p>
<p>Método y herramienta: sistema para administrar la RBS</p>	<p>PIPOC (Population, Intervention, Comparison, Outcome and Context) fue el método utilizado para seguir la RBS. El método está disponible sin costo, en el portal http://parsif.al</p>

Tabla 1. Estructuración de la RBS (Fuente: Autores, 2023)

La siguiente sección muestra los resultados obtenidos de la RBS.

3. Resultados

Finalizada la RBS, un total de 22 artículos fueron analizados. La *Tabla 2* ilustra en detalle el origen de las publicaciones, así como también el número de artículos eliminados por duplicado o porque no satisficieron los criterios de inclusión. Se resalta que la búsqueda fue realizada en idioma inglés.

<i>Database</i>	<i>Search String</i>	Total	Rechazados	duplicados	Resultados
<i>Scopus</i>	ALL ("fruit" OR "fruit walls" OR	75	41	13	20
<i>Science Direct</i>	"fruit peels" OR "seed shells" OR "fruit*") AND	8	4	3	1
<i>Web of science</i>	ALL ("bionic" OR "bio-inspired" OR "biomimicry" OR "biomimetic*" OR "bio-inspired" OR "bioinpiration") AND ALL ("foams" OR "lattices" OR "sandwich panels" OR "honeycomb" OR "Cellular material" OR "bio-inspired structures" OR "Structural hierarchy") AND ALL ("impact resistance" OR "energy absorption" OR "energy absorber" OR "crashworthiness" OR "shock dissipation"))	4	0	3	1
Resultado total		87	45	16	22

Tabla 2. Resultado de la RBS (Fuente: Autores, 2023).

Luego de seleccionar los artículos, una clasificación de acuerdo con la fruta fue propuesta, como mostrado en la *Tabla 3*. La *Tabla 3* detalla el tipo de estructura y los autores en las columnas 4 y 2, respectivamente.

Fruta	Estructura Bioinspirada	Resultado	Autor
1. Pomelo (<i>Citrus máxima</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura espumosa • Estructura jerárquica 	Estructura espumosa Espuma degradada Estructura jerárquica	[1] Fischer et al. (2010) [2] Seidel et al. (2010) [3] Fischer et al. (2013) [4] Thielen et al. (2013) [5] Looyrach et al. (2015) [6] Ortiz et al. (2018) [7] Wang et al. (2018) [8] Wang et al. (2019) [9] Li et al. (2019) [10] Zhang et al. (2019) [11] Schäfer et al. (2020)
2. Coconut (<i>Cocos nucifera</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Ordenado macroscópicamente • Microscópicamente desordenado 	Componentes de absorción de energía artificial inspirados en la orientación de fibras naturales de materiales compuestos	[12] Lu et al. (2019)
3. Cocoyol (<i>Acrocomia Mexicana</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura celular jerárquica 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta tenacidad • Alta dureza • Rendimiento mecánico 	[13] Flores-Johnson et al. (2014) [14] Flores-Johnson et al. (2018)

<p>4. Nuts and Seeds 4.1 Walnut (<i>J. regia</i>) 4.2 Pecan (<i>Illinoensis</i>) 4.3 Pistachio (<i>P. Fandoghi</i>) 4.4 Beechnut</p> <p>5. Macadamia (<i>M. ternifolia</i>)</p> <p>6. Brazil nut (<i>Bertholletia</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Forma poligonal • Capas de sándwich • Materiales técnicos jerárquicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Un núcleo duro • Capa exterior suave con alta resistencia al impacto • Algunas fibras orientadas radialmente al núcleo • Varios tipos de fibras • Estructura celular lobulada • Celda de nogal entrelazada 	<p>[15] Kaupp et al. (2011) [16] Antreich et al. (2019) [17] Bührig-Polaczek et al. (2016) [18] Sonego et al. (2016)</p>
<p>7. Durian (<i>Durio zibethinus</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de espinas • Forma esférica 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía total absorbida en la dirección axial • La capacidad de absorción de las espinas aumentó con el aumento en el número de espinas 	<p>[19] San Ha et al. (2019)</p>
<p>8. Formosan gum (<i>Liquidambar formosana</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras jerárquicas • Modelo esférico de Fibonacci 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseños de nuevos compuestos ligeros, antipandeo y arquitecturas bioinspiradas • Micro-escala y las cámaras distribuidas en la macro-escala 	<p>[20] Tung et al. (2020)</p>
<p>9. Luffa sponge (<i>Luffa aegyptiaca</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras jerárquicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Material celular natural • Propiedades mecánicas 	<p>[21] Xie et al. (2020)</p>
<p>10. Babassu nut (<i>Orbignya speciosa</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos de fibra • Estructura compuesta biomimética 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requisitos en cuanto a dureza e impacto. 	<p>[22] Staufenberg et al. (2015)</p>

Tabla 3. Estructuras Bioinspirada relacionadas a las frutas (Fuente: Autores, 2023).

La siguiente sección discute en profundidad los resultados encontrados y menciona la conclusión de este trabajo científico.

4. Discusiones, conclusión y futuros trabajos

El estudio de los organismos encontrados en la naturaleza, básicos o altamente complejos, proveen una enorme cantidad de información relacionadas a la arquitectura de la estructura, materiales, sistemas y funciones de relevante importancia para el área del diseño y con gran chance de ser aplicada en diversos campos, especialmente el industrial. En esta perspectiva, el presente estudio exploró estrategias presentes en algunas frutas que desempeñan la función de protección y que sirven como punto inicial para el desarrollo de nuevos productos o materiales bioinspirados. En términos prácticos, los resultados encontrados, son de utilidad para proyectar materiales que busquen optimizar los sistemas de amortiguación, protección contra golpes mecánicos y absorción de energía.

Desde el punto de vista teórico, se establecieron algunas directrices de estructuras encontradas en frutas secas y carnosas. Estos descubrimientos, son de enorme utilidad para los investigadores académicos y del área de desarrollo de nuevos productos. Además, la observación de estas estructuras podría incentivar la creación de materiales novedosos e innovadores, debido a que la caracterización de estas estructuras a nivel celular en conjunto con sus propiedades mecánicas, pueden auxiliar a los investigadores para la comprensión de las características relacionadas con la morfología de las frutas analizadas y proveer orientación en proyectos de diseño industrial.

Mediante la profundización teórica y la realización de los pasos abordados en los objetivos específicos se hizo posible la comprensión cuantitativa de la relación forma-estructura-función de los generadores de conceptos biológicos, así como los valores cualitativos presentados en las entidades bioinspiradas, en las que la metodología biomimética se muestra como un campo prometedor para el desarrollo de nuevos productos con estrategias extraídas de la naturaleza que permanecen en constante evolución para una mejor eficiencia de sus funciones/estrategias específicas.

De esta manera, el presente estudio estableció un procedimiento sistemático para el desarrollo de productos bioinspirados. El trabajo de investigación se concentra en el uso de la Biomimética como método y enseña a los investigadores por medio de simples etapas, un proceso y herramientas para alcanzar la generación de nuevos conceptos de productos industriales. Para futuros trabajos, los esfuerzos deben estar dirigidos en la ampliación del alcance de presente estudio, es decir, la inclusión de otras bases de información para extraer una mayor cantidad de información útil acerca del tema. Posibles trabajos de investigación podrían centrarse en las aplicaciones y desenvolvimiento de nuevos materiales y productos a través de la utilización de esta técnica.

Referencias

- Antreich, Sebastian J. *et al.* (2019) The puzzle of the walnut shell: a novel cell type with interlocked packing. *Advanced Science*, v. 6, n. 16, p. 1900644.
- Bührig-Polaczek, A. *et al.* (2016) Biomimetic cellular metals—using hierarchical structuring for energy absorption. *Bioinspiration & biomimetics*, v. 11, n. 4, p. 045002.
- Bührig-Polaczek, A. *et al.* (2016) Biomimetic cellular metals—using hierarchical structuring for energy absorption. *Bioinspiration & biomimetics*, v. 11, n. 4, p. 045002.
- De Oliveira, Antônio Roberto Miranda; De Arruda, Amilton José Vieira; Langella, Carla (2021) Biomimetics as a strategy for the development of bioinspired structures for energy absorption based on fruits. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*. Ensayos, n. 149, p. 189-206.
- Fischer, Sebastian F. *et al.* (2010) Pummelos as concept generators for biomimetically inspired low weight structures with excellent damping properties. *Advanced Engineering Materials*, v. 12, n. 12, p. B658-B663.
- Flores-Johnson E. A. *et al.* (2018) Microstructure and mechanical properties of hard *Acrocomia mexicana* fruit shell, *Sci. Rep.* 8 1–12.
- Grijalva, Sergio F. (2018) La naturaleza del embalaje: la naturaleza como fuente de innovación para empaques. *Caligrama*.
- Kaupp, Gerd; Naimi-Jamal, Mohammad Reza (2011) Nutshells' mechanical response: from nanoindentation and structure to bionics models. *Journal of Materials Chemistry*, v. 21, n. 23, p. 8389-8400.
- LI, Ting-Ting *et al.* (2019) Bioinspired foam composites resembling pomelo peel: Structural design and compressive, bursting and cushioning properties. *Composites Part B: Engineering*, v. 172, p. 290-298.
- Looyrach, Jarawee *et al.* (2015) Pomelo (*Citrus maxima*) peel-inspired property for development of eco-friendly loose-fill foam. In: *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications Ltd, p. 279-283.
- Lu, Chuanhao *et al.* (2020) The mystery of coconut overturns the crashworthiness design of composite materials. *International Journal of Mechanical Sciences*, v. 168, p. 105244.
- Oliveira, Antônio Roberto Miranda; De Arruda, Amilton José Vieira; Langella, Carla (2022) Casca de *Citrus sinensis* como gerador de conceito para o desenvolvimento de estruturas bioinspiradas com propriedades de amortecimento e dissipação de energia. *Estudos em Design*, v. 30, n. 2.
- Ortiz, Jonel; Zhang, Guanglu; McAdams, Daniel A. (2018) A model for the design of a pomelo peel bioinspired foam. *Journal of Mechanical Design*, v. 140, n. 11, p. 114501.
- San Ha, Ngoc *et al.* (2020) Mechanical properties and energy absorption characteristics of tropical fruit durian (*Durio zibethinus*). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 104, p. 103603.
- San Ha, Ngoc *et al.* (2020) Mechanical properties and energy absorption characteristics of tropical fruit durian (*Durio zibethinus*). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 104, p. 103603.
- Schäfer, I. *et al.* (2020) Modelling the damping response of biomimetic foams based on pomelo fruit. *Computational Materials Science*, v. 183, p. 109801.

- Seidel, R. *et al.* (2010) Fruit walls and nut shells as an inspiration for the design of bio-inspired impact resistant hierarchically structured materials. *Design and Nature V*, p. 421-430.
- Sonego, Marilia; Fleck, Claudia; Pessan, Luiz Antonio (2020) Hierarchical levels of organization of the Brazil nut mesocarp. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 1-13.
- Speck, Thomas *et al.* (2018) Biomechanics and functional morphology of plants – Inspiration for biomimetic materials and structures. In: *Plant biomechanics*. Springer, Cham. p. 399-433.
- Staufenberg, Gerrit; Graupner, Nina; Müssig, Jörg (2015) Impact and hardness optimisation of composite materials inspired by the babassu nut (*Orbignya speciosa*). *Bioinspiration & Biomimetics*, v. 10, n. 5, p. 056006.
- Thielen, M. *et al.* (2013) Structure–function relationship of the foam-like pomelo peel (*Citrus maxima*) an inspiration for the development of biomimetic damping materials with high energy dissipation. *Bioinspiration & biomimetics*, v. 8, n. 2, p. 025001.
- Tung, Cheng-Che; Wang, Hsin-Jui; CHEN, Po-Yu (2020) Lightweight, compression-resistant cellular structures inspired from the infructescence of *Liquidambar formosana*. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 110, p. 103961.
- Wang, Hongyang *et al.* (2019) Expanded vermiculite-filled polyurethane foam-core bionic composites: preparation and thermal, compression, and dynamic cushion properties. *Polymers*, v. 11, n. 6, p. 1028.
- Xie, Yong *et al.* (2020) A novel bionic structure inspired by luffa sponge and its cushion properties. *Applied Sciences*, v. 10, n. 7, p. 2584.
- Zhang, Wen *et al.* (2019) Crushing resistance and energy absorption of pomelo peel inspired hierarchical honeycomb. *International Journal of Impact Engineering*, v. 125, p. 163-172.
- Zhang, Wen *et al.* (2019) Crushing resistance and energy absorption of pomelo peel inspired hierarchical honeycomb. *International Journal of Impact Engineering*, v. 125, p. 163- 172.

Abstract: Fruit peels act as natural packaging because they wrap, contain, store, insulate the product from the environment and, above all, protect it from mechanical damage. The peels have different cell distributions that have developed over the years into high-performance structures. These are developed structures that have led to and enabled the development of new materials and components that protect goods from mechanical damage, mainly induced by handling and impact. Thus, protection against mechanical damage and other negative environmental influences includes, among other things, shock resistance, damping function and energy dissipation. Therefore, natural materials offer new insights to explore, design, synthesise and manufacture new materials. In this perspective, nature has been a source of inspiration in several areas of knowledge and as a result, new scientific research methods and new strategies have been developed based on natural structures that, even though they are constantly being adapted and improved, have been used as a basis to offer highly efficient solutions and perform several functions that aim to increase the efficiency of the material used.

Keywords: Biodesign - Natural packaging - Biomimetics - bioinspiration - Covid 19

Resumo: As cascas de frutas atuam como embalagem natural porque embrulham, contêm, armazenam, isolam o produto do meio ambiente e, acima de tudo, o protegem de danos mecânicos. As cascas têm diferentes distribuições celulares que se desenvolveram ao longo dos anos em estruturas de alto desempenho. São estruturas desenvolvidas que levaram e permitiram o desenvolvimento de novos materiais e componentes que protegem as mercadorias de danos mecânicos, principalmente induzidos pelo manuseio e impacto. Assim, a proteção contra danos mecânicos e outras influências ambientais negativas inclui, entre outras coisas, resistência ao choque, função amortecedora e dissipação de energia. Portanto, os materiais naturais oferecem novos conhecimentos para explorar, projetar, sintetizar e fabricar novos materiais. Nesta perspectiva, a natureza tem sido uma fonte de inspiração em diversas áreas do conhecimento e como resultado, novos métodos de pesquisa científica e novas estratégias têm sido desenvolvidos com base em estruturas naturais que, embora estejam sendo constantemente adaptadas e melhoradas, têm sido utilizadas como base para oferecer soluções altamente eficientes e executar diversas funções que visam aumentar a eficiência do material utilizado.

Palavras-chave: Biodesign - Embalagens naturais - Biomimética - Bioinspiração - Covid19
