

# EXPERIMENTACIÓN DE MATERIAL BIODEGRADABLE CON RESIDUOS DEL CACTUS MANDACARU

## EXPERIMENTATION OF BIODEGRADABLE MATERIAL WITH RESIDUES OF THE MANDACARU CACTUS

JOSIVALDO JOSÉ LIMA DA SILVA<sup>1</sup>, GERMANNYA D'GARCIA ARAÚJO SILVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, CARUARU, BRASIL

RECIBIDO: 30 DE JULIO DE 2022 // ACEPTADO: 1 DE DICIEMBRE DE 2022 • RECEIVED: JULY 30, 2022 // ACCEPTED: DECEMBER 1, 2022

ESTE ARTÍCULO TRATA SOBRE LA EXPERIMENTACIÓN EN DISEÑO QUE PROPONE DESARROLLAR UN MATERIAL BIODEGRADABLE POR MÉTODO NO LABORATORIAL A PARTIR DE RESIDUOS DEL TALLO DEL CACTUS MANDACARU, PLANTA TÍPICA DE LA REGIÓN NORDESTE DE BRASIL. SE CREE QUE ESTA MATERIA PRIMA LOCAL, RENOVABLE Y ABUNDANTE TIENE POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES Y PRODUCTOS SOSTENIBLES EN EL CAMPO INDUSTRIAL Y ARTESANAL. LA TRAYECTORIA DE LA INVESTIGACIÓN FUE DISEÑADA A PARTIR DE LA PERSPECTIVA DEL DISEÑO SOCIAL Y DEL DISEÑO CIRCULAR ENLAZÁNDOLAS CON LA INGENIERÍA DE MATERIALES: 1) COLECTA Y ALMACENAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL TALLO DEL MANDACARU POR PARTE DE LA COMUNIDAD DE LA ZONA RURAL DE SURUBIM-PERNAMBUCO, BRASIL; 2) TRATAMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL POLVO Y DEL AGLUTINANTE; 3) PRODUCCIÓN DE LA BIOMASA Y; 4) CONFORMACIÓN DEL OBJETO. LOS PRIMEROS RESULTADOS EVIDENCIARON UN POTENCIAL USO DE LOS RESIDUOS DEL CACTUS EN LA FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS LEVES Y TENACES, CON BAJA RESISTENCIA MECÁNICA A LA TRACCIÓN. COMO PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS, SE SUGIERE QUE SEAN REALIZADOS NUEVOS ESTUDIOS EN AMBIENTE DE LABORATORIO DEL BIOMATERIAL CON DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTÍCULAS, CON Y SIN LA SUSTITUCIÓN DEL AGLUTINANTE CON EL FIN DE CARACTERIZAR SU MICROESTRUCTURA; ESTUDIAR SU PROCESABILIDAD POR INYECCIÓN Y EXTRUSIÓN, Y PROBAR SU APLICACIÓN A EMBALAJES DE CORTA DURACIÓN.

**PALABRAS CLAVE:** MATERIALES BIODEGRADABLES; EXPERIMENTACIÓN EN DISEÑO; DISEÑO CIRCULAR; RESIDUOS; CACTUS MANDACARU

THIS ARTICLE DESCRIBES EXPERIMENTAL DESIGN TO DEVELOP A BIODEGRADABLE MATERIAL BY NON-LABORATORY METHOD FROM RESIDUES OF THE STEM OF THE MANDACARU CACTUS, A TYPICAL PLANT OF THE NORTHEAST REGION OF BRAZIL. THIS LOCAL, RENEWABLE AND ABUNDANT RAW MATERIAL IS CONSIDERED TO HAVE THE POTENTIAL FOR DEVELOPING NEW MATERIALS AND SUSTAINABLE PRODUCTS IN THE INDUSTRIAL AND CRAFT FIELDS. THE TRAJECTORY OF THE RESEARCH WAS DESIGNED FROM THE PERSPECTIVE OF SOCIAL AND CIRCULAR DESIGN, LINKING THEM WITH MATERIALS ENGINEERING: 1) COLLECTION AND STORAGE OF RESIDUES FROM THE MANDACARU STEM BY THE COMMUNITY OF THE RURAL AREA OF SURUBIM-PERNAMBUCO/BRAZIL; 2) TREATMENT AND PRODUCTION OF POWDER AND BINDER; 3) BIOMASS PRODUCTION AND; 4) CONFORMATION OF THE OBJECT. THE FIRST RESULTS SHOWED A POTENTIAL USE OF CACTUS RESIDUES IN FORMING LIGHT AND TENACIOUS STRUCTURES WITH LOW MECHANICAL RESISTANCE TO TRACTION. WE SUGGEST FUTURE STUDIES OF THIS BIOMATERIAL IN A LABORATORY ENVIRONMENT. INVESTIGATIONS COULD INCLUDE USING DIFFERENT PARTICLE SIZES AND SUBSTITUTING (OR NOT) THE BINDER. IN ADDITION, CHARACTERIZING ITS MICROSTRUCTURE, STUDYING ITS PRODUCTIVE PROCESS BY INJECTION AND EXTRUSION, AND TESTING ITS APPLICATION TO SHORT-TERM PACKAGING.

**KEYWORDS:** BIODEGRADABLE MATERIALS; EXPERIMENTATION IN DESIGN; CIRCULAR DESIGN; WASTE; CACTUS MANDACARU

## INTRODUCCIÓN

El sistema de producción y consumo basado en la explotación excesiva de los recursos naturales finitos es cada vez más insostenible para el planeta. La producción de bienes en el actual modelo lineal de producción está contribuyendo para que haya una futura escasez de recursos naturales, ofreciendo riesgos para la calidad de vida de las futuras generaciones (Papanek, 1985). La extracción de materias primas no renovables, el aumento de la producción en modelo lineal y el reciclado no adecuado, son los problemas ambientales más recurrentes en las discusiones sobre gestión de residuos (Fibrenamics, 2020). Y en ese sentido, el diseño circular se concentra en crear productos y servicios para la economía circular, con la propuesta de repensar la forma como moldeamos el ambiente material a nuestro alrededor para atender nuestras necesidades y deseos.

Los sectores de logística de las empresas para el flujo de producción, demandan embalajes para la protección y transporte de las piezas que, normalmente, son sistemas con un corto tiempo de vida útil, descartados inmediatamente después de su uso. Este tipo de comportamiento, lejos de los principios del pensamiento circular, genera graves consecuencias para el medio ambiente. Una alternativa para reducir el impacto de esta producción es apostar por propuestas de innovación en materiales, tecnologías y procesos basadas en el diseño circular, no solo con la reutilización de materiales sintéticos para el aprovechamiento máximo de sus propiedades, sino también en el aprovechamiento de materiales para potenciar el uso de residuos de fuentes renovables evitando daños ambientales durante el proceso de degradación (Smol; Kulczycka; Avdiushchenko, 2017).

En el sentido del modelo circular productivo de bienes de consumo, es notable el aumento de investigaciones sobre nuevos biomateriales con uso de residuos fibrosos vegetales. La aplicación de estos materiales en la fabricación de productos que poseen un corto tiempo de uso ha presentado eficiencia en la reducción de los impactos ambientales, ya sea durante el proceso de fabricación o después del descarte. Sin embargo, en gran parte de las innovaciones en materiales, los residuos fibrosos son añadidos como refuerzo en matrices poliméricas sintéticas, pues aún es un desafío la producción de materiales compuestos totalmente originados de biomasa (John & Thomas, 2008).

En lo que se refiere al diseño de embalaje, Peltier (2009) llama la atención sobre el hecho de que al final de la vida útil, todos los productos se convierten en residuos y una de las sugerencias para reducir los impactos después del descarte es proponer un residuo de embalaje más limpio. Para ello, es necesario que nuevas propuestas sean lanzadas, aplicando la creatividad para la elaboración de nuevos materiales, tecnologías y procedimientos, colaborando significativamente en la reducción de los impactos durante las etapas del ciclo de vida del producto.

En la perspectiva de minimizar los impactos de los embalajes de corto plazo, los autores de esta investigación pretenden asociar el diseño social con la tecnología de materiales como alternativa para la promoción de soluciones innovadoras sostenibles. Según Manzini (2008) el cambio no necesita suceder a escala global, y sí, puede y debe, ocurrir primero en pequeñas comunidades, donde todos puedan cooperar y ayudar, así diseminando las iniciativas para otros lugares, donde consigan adaptarlas a su realidad, poco a poco, buscando un mundo más sostenible. En este escenario, la presente investigación propone a través del método de la experimentación en diseño el desarrollo de un

## INTRODUCTION

The system of production and consumption based on the excessive exploitation of finite natural resources is increasingly unsustainable for the planet. The production of goods in the current linear production model contributes to a future scarcity of natural resources, offering risks to the quality of life of future generations (Papanek, 1985). The extraction of non-renewable raw materials, increased production in a linear model, and inadequate recycling, are the most recurrent environmental problems in discussions on waste management (Fibrenamics, 2020). And in that sense, circular design focuses on creating products and services for the circular economy to rethink how we shape the material environment around us to meet our needs and desires. The logistics sectors of the companies for the production flow demand packaging for the protection and transport of the pieces that, normally, are systems with a short useful life, discarded immediately after use. This behavior, far from the principles of circular thinking, generates serious environmental consequences. An alternative to reduce the impact of this production is to commit to proposals for innovation in materials, technologies, and processes based on circular design, not only with the reuse of synthetic materials for the maximum use of their properties but also in the use of materials to promote the use of waste from renewable sources avoiding environmental damage during the degradation process (Smol; Kulczycka; Avdiushchenko, 2017). Regarding the productive circular model of consumer goods, increasing research on new biomaterials using fibrous plant residues is notable. Applying these materials in manufacturing products with a short use time has shown efficiency in reducing environmental impacts, either during the manufacturing process or after disposal. However, in most of the innovations in materials, fibrous residues are added as reinforcement in synthetic polymeric matrices since the production of composite materials originating from biomass is still challenging (John & Thomas, 2008).

In the case of packaging design, Peltier (2009) draws attention to the fact that at the end of their useful life, all products become waste. One of the suggestions to reduce impacts after disposal is to propose cleaner packaging residue. To accomplish this, it is necessary to launch new proposals and apply creativity to elaborate new materials, technologies, and procedures. In this way, impacts during the stages of the product life cycle can be significantly reduced.

In the perspective of minimizing the impacts of short-term packaging, the authors of this research intend to associate social design with materials technology as an alternative to promote innovative sustainable solutions. According to Manzini (2008), change does not need to happen globally. Yes, it can and should happen first in small communities, where everyone can cooperate and help, thus disseminating the initiatives to other places, where they manage to adapt them to their reality, little by little, seeking a more sustainable world.

In this scenario, the present investigation proposes the development of a biodegradable material through an experimental design method using the residue of the Mandacaru pulp extraction process (plant of the Cactaceae, cactus family). This product is developed by farmers and breeders of cattle in the Municipality of Surubim - Pernambuco - Brazil. The pulp is used as animal feed during the water crises that cause the scarcity of vegetation in the northeast region of Brazil. After removing the pulp,

material biodegradable utilizando el residuo del proceso de extracción de la pulpa del Mandacaru, planta de la familia Cactaceae, género cactus, generado por agricultores y criadores de ganado del Municipio de Surubim - Pernambuco- Brasil. Esta pulpa es utilizada como ración animal durante las crisis hídricas que causan la escasez de vegetación en la región nordeste de Brasil. Después de la retirada de la pulpa sobran los tallos fibrosos que, según los criadores, no tienen utilidad y son descartados (Silva et al., 2019).

Para Ashby (2011), lo importante es encontrar soluciones creativas de diseño que sean fuentes de inspiración para la sociedad y que puedan traer transformaciones positivas para el día a día. En este sentido, proponer productos que sean ambientalmente responsables en todas sus fases, desde los métodos e insumos escogidos en su fabricación hasta las posibilidades de reciclaje después del uso, debe ser un compromiso del diseñador que pretende actuar en esta transición hacia la sostenibilidad (Manzini, 2008; Confederação Nacional da Indústria, 2019).

Se cree que esta materia prima local, renovable y abundante tiene potencial para el desarrollo de nuevos materiales y productos sostenibles en las esferas industrial y artesanal. Algunos estudios en el área de la ingeniería de materiales y biotecnología ya utilizaron la cáscara, las espinas y el tallo del cactus Mandacaru como carga en compuestos poliméricos y sugieren potenciales aplicaciones en procesos biotecnológicos (Nepomuceno et al., 2017; Silva, 2019). No obstante, desde la perspectiva del diseño de productos todavía son tímidos los experimentos con materiales biodegradables (Lopes, 2016).

#### BIOMATERIALES Y LOS MATERIALES COMPUESTOS BIODEGRADABLES

Las investigaciones y proyectos innovadores de materiales y productos han surgido como forma de contribución en el proceso de transición hacia un modelo circular de producción al servicio de la sostenibilidad. Estas propuestas son acciones que pretenden reducir los daños causados por la interferencia en el medio ambiente a través de la extracción de recursos no renovables. Existe una urgencia por proyectar tomando en consideración el impacto de materiales y productos desde la extracción de los recursos hasta el fin de la vida útil y el descarte, priorizando alternativas que contribuyan para que los procesos de extracción no comprometan la capacidad de regeneración de las fuentes de materias primas no renovables (Manzini, 2008).

Los biomateriales y los materiales compuestos biodegradables surgen en este escenario como nuevas vías que impactan en el ciclo de vida de materiales y productos, desde su configuración hasta después del uso. La gran disponibilidad de materias primas renovables que componen los nuevos materiales y la oferta de propiedades mecánicas específicas de esos residuos han inclinado a muchos investigadores a la promoción de la biocompatibilidad (Barbosa et al. 2020; Vieira, 2021).

#### BIOMATERIALES

Los biomateriales son todos aquellos materiales que poseen origen biológico y son considerados como una alternativa a los convencionales derivados del petróleo. Son materiales total o parcialmente derivados de biomasa proveniente de plantas, árboles o animales. Las fibras naturales también se encuadran dentro de los materiales de base biológica (Purasachit, 2021).

Además de eso, también es posible encontrar los polímeros naturales como a quitina, queratina y caseína. Estas biomasas durante

there are leftover fibrous stems that, according to breeders, are useless and discarded (Silva et al., 2019).

For Ashby (2011), the important thing is to find creative design solutions as sources of inspiration for a society that can bring positive transformations to everyday life. In this sense, proposing products that are environmentally responsible in all their phases, from the methods and inputs chosen in their manufacture to the possibilities of recycling after use, must be a commitment of designers who intend to act in this transition to sustainability (Manzini, 2008; National Industry Conference, 2019).

This local, renewable and abundant raw material is believed to have the potential to develop new materials and sustainable products in the industrial and craft spheres. Some studies in materials engineering and biotechnology have already used the shell, spines, and stem of the Mandacaru cactus as fillers in polymeric compounds and suggest potential applications in biotechnological processes (Nepomuceno et al., 2017; Silva, 2019). However, from the product design perspective, experiments with biodegradable materials are still timid (Lopes, 2016).

#### BIOMATERIALES AND BIODEGRADABLE COMPOSITE MATERIALS

Research and innovative projects of materials and products have emerged as a form of contribution in the transition process for a circular production model at the service of sustainability. These proposals are actions that aim to reduce the damage caused by interference in the environment through the extraction of non-renewable resources. There is an urgency to design taking into account the impact of materials and products from the extraction of resources to the end of their useful life and disposal, prioritizing alternatives that avoid the extraction processes and do not compromise the regeneration capacity of the non-renewable raw materials sources. (Manzini, 2008).

Biomaterials and biodegradable composite materials emerge in this scenario as new pathways that impact the life cycle of materials and products, from their configuration to after use. The great availability of renewable raw materials that make up the new materials and the specific mechanical properties of these residues have motivated many researchers to promote biocompatibility (Barbosa et al. 2020; Vieira, 2021).

#### BIOMATERIALES

Biomaterials are all those that have a biological origin and are considered as an alternative to conventional petroleum derivatives. They are materials totally or partially derived from biomass, acquired through plants, trees, or animals. Natural fibers are also biologically based materials (Purasachit, 2021).

In addition to that, it is also possible to find natural polymers such as chitin, keratin, and casein. These biomasses, during the harvesting process, may have been subjected to physical, chemical, or biological treatment. Each biomaterial has its particularities, which cannot be compared only because they are derived from biomass. Processes and energy expenditures vary among biobased materials, as well as the function of each one and the impact that will be generated during production and consumption (Lee et al. 2020). Processes and energy expenditures vary among biobased materials, as well as the function of each one and the impact that will be generated during production and consumption (Lee et al. 2020).

el proceso de aprovechamiento pueden haber sido sometidas a un tratamiento físico, químico o biológico. Cada biomaterial posee sus particularidades y no pueden ser equiparados por el hecho de ser derivados de la biomasa. Los procesos y gastos energéticos varían entre los materiales de base biológica, así como la función de cada uno y el impacto que será generado durante la producción y consumo (Lee et al. 2020).

#### MATERIALES COMPUESTOS BIODEGRADABLES

Los compuestos son materiales desarrollados a partir de la unión de dos o más materiales con el objetivo de originar un nuevo material con mejores propiedades, siendo que uno de ellos funcionará como matriz (polimérica, cerámica o metálica) y otro como un refuerzo (generalmente fibras) para componer la matriz. Materiales con estas características han sido desarrollados en la industria utilizando fibras y matrices sintéticas (Souza et al., 2019). Además de los materiales sintéticos, los materiales híbridos (normalmente compuestos por una matriz sintética y reforzados con fibras naturales) han surgido como una alternativa más sostenible. También se vienen realizando esfuerzos para el desarrollo de materiales compuestos en los que tanto la matriz como el refuerzo en fibras sean provenientes de recursos naturales. Estos experimentos son necesarios para que residuos locales descartados en abundancia sean aprovechados, nuevos métodos de producción sean elaborados, así como para que haya nuevas experiencias en la concepción de un material compuesto (Barauna et al., 2021). El descarte en exceso y la acumulación de residuos industriales en el ambiente han despertado el interés en el desarrollo de materiales que sean biocompatibles y que al mismo tiempo cumplan el papel para el que fueron destinados, siendo capaces de suplir las necesidades y que al fin de su vida útil puedan ser reaprovechados o bien sean capaces de degradarse en el medio ambiente (Rosa da Silva y Freire de Oliveira, 2021).

#### EL CACTUS MANDACARU COMO MATERIA PRIMA LOCAL

El cactus *Cereus Jamacaru*, popularmente conocido como Mandacaru, es una planta nativa del bioma Caatinga y compone el paisaje del semiárido del nordeste brasileño (figura 1). La adaptación al clima seco, suelo con pocos nutrientes y radiación solar intensa favoreció la presencia de la especie en abundancia en la región.

#### BIODEGRADABLE COMPOSITE MATERIALS

Composites are materials developed from the union of two or more materials to create a new material with better properties, one of which will function as a matrix (polymeric, ceramic, or metallic) and the other as a reinforcement (generally fibers) to compose the array. Materials with these characteristics have been developed in the industry using synthetic fibers and matrices (Souza et al., 2019).

In addition to synthetic materials, hybrid materials (usually composed of a synthetic matrix and reinforced with natural fibers) have emerged as a more sustainable alternative. Efforts are also being made to develop composite materials in which both the matrix and the fiber reinforcement come from natural resources. These experiments are necessary to use local residues discarded in abundance, to develop new production methods, as well as to add new experiences to the conception of a composite material (Barauna et al., 2021).

Excessive disposal and the accumulation of industrial waste in the environment have aroused interest in the development of materials that are biocompatible and that at the same time fulfill the role for which they were intended, meeting the needs and, at the end of their useful life can be reused or are capable of degrading in the environment (Rosa da Silva and Freire de Oliveira, 2021).

#### THE MANDACARU CACTUS AS A LOCAL RAW MATERIAL

The *Cereus Jamacaru* cactus, popularly known as Mandacaru, is a native plant of the Caatinga biome and makes up the semi-arid landscape of northeastern Brazil (figure 1). Adaptation to a dry climate, soil with few nutrients, and intense solar radiation favored the abundant presence of the species in the region.



FIG 1. Cactus Mandacaru (*Cereus Jamacaru*)  
Fuente: Elaborada por los autores (2021).

FIG 1. Mandacaru Cactus (*Cereus Jamacaru*)  
Source: Elaborated by the authors (2021).

Según Silva et al. (2019), hay registros de su utilización tanto para fines alimenticios como medicinales, principalmente por poblaciones locales del semiárido que cuentan con pocos recursos de subsistencia. Los agricultores y criadores de la región utilizan la pulpa del cactus Mandacaru durante los largos períodos de sequía como una forma de mantener la alimentación de los rebaños de bovinos y caprinos, sirviendo como ración temporal (figura 2).

According to Silva et al. (2019), there are records of its use for both food and medicinal purposes, mainly by local semi-arid populations that have few subsistence resources. Farmers and breeders in the region use the pulp of the Mandacaru cactus during long periods of drought to maintain the feeding of herds of cattle and goats, serving as a temporary ration (figure 2).



FIG 2. Preparación y uso de la pulpa como ración animal. Fuente: Elaborada por los autores (2022).  
 FIG 2. Preparation and use of the pulp as animal feed. Source: Elaborated by the authors (2022).

Después de la retirada de esa pulpa para la alimentación de los animales sobran los tallos fibrosos que no consiguen ser aprovechados por los criadores, y que son descartados en el ambiente (figura 3).

After removing this pulp to feed the animals, there are leftover fibrous stems that cannot be used by breeders and are discarded in the environment (figure 3).



FIG 3. Tallos descartados después de la retirada de la pulpa. Fuente: Elaborada por los autores (2022).  
 FIG 3. Stems discarded after pulp removal. Source: Elaborated by the authors (2022).

En un breve análisis del estado de la cuestión, fueron encontrados algunos estudios en los que se utilizan partes del cactus Mandacaru y de otras especies de cactus como materiales alternativos y renovables para la producción de nuevos materiales y productos.

Lopes (2016) desarrolló productos en colaboración con una Comunidad Quilombola en la región del semiárido de Bahía (Brasil) utilizando el tallo del cactus de Mandacaru de dos formas: la madera fresca del cactus, y procesada en forma de polvo como refuerzo en matriz polimérica PEAD. El primer contacto con el material fue de carácter exploratorio, pues según la autora, todavía son pocos los estudios científicos sobre el uso y las propiedades de la madera del cactus Mandacaru. Los productos artesanales fueron propuestos a medida en que se conocían las características del material por medio de la experimentación. El apoyo de la comunidad en la extracción de la materia prima fue fundamental para profundizar en los estudios interdisciplinarios, uniendo las metodologías de diseño a los procesos artísticos, lo que permitió la creación de joyas artesanales y artefactos para explorar las potencialidades de la materia prima local. Los resultados del estudio mostraron el tallo del cactus como un material renovable con potencial para la generación de renta de las pequeñas comunidades del semiárido bahiano.

Una investigación desarrollada en la Universidad del Valle de Atemajac, México, experimentó en laboratorio con el jugo de hojas del cactus Nepal, planta típica de la región, la fabricación de plásticos biodegradables (Ortiz, 2016). Además, otros estudios se han concentrado en el desarrollo de embalajes alimenticios utilizando mucílago de diferentes especies de cactus para la formación de biopolímeros, apareciendo como una alternativa prometedora para la conservación de alimentos por ser rentable económicamente debido a su gran disponibilidad y al bajo costo de la materia prima (Gheribi y Khwaldia, 2019).

También es posible encontrar estudios que utilizan los residuos del cactus Mandacaru como refuerzo en matrices poliméricas sintéticas para mejorar el desempeño de materiales y productos, el uso de la madera del cactus como agregado en matriz de cemento para el desarrollo de hormigón más leve destinado a la construcción civil, así como estudios que extraen la celulosa de las espinas del vegetal (Nepomuceno et al., 2017; Silveira et al., 2019; Silva, 2019).

Todos estos estudios tienen en común intentar reducir el impacto durante la producción y el descarte al fin de la vida útil del producto y proporcionar competitividad económica por medio del uso de materias primas renovables y de bajo costo.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El método basado en la experimentación fue escogido por su capacidad para contribuir con la aparición de soluciones innovadoras, provocando la reflexión sobre las prácticas experimentales sumadas a las técnicas de fabricación de artefactos (Barauna, 2021).

Según Mainsah y Morrison (2013), la experimentación en diseño como investigación no impone un rigor científico, el proceso no es lineal ni homogéneo. Los autores también afirman que a través de la experimentación en diseño son puestas en práctica tres principales actividades: el desarrollo de conocimiento; los diferentes métodos de investigación experimental y la innovación metodológica.

Lopes (2016) desarrolló productos en colaboración con una Comunidad Quilombola en la región semi-árida de Bahía/Brazil utilizando el tallo del cactus de Mandacaru en dos formas: la madera fresca del cactus y procesada en polvo como refuerzo en una matriz polimérica PEAD. El primer contacto con el material fue de carácter exploratorio porque, según el autor, todavía son pocos los estudios científicos sobre el uso y las propiedades de la madera del cactus de Mandacaru. Los productos artesanales fueron propuestos a medida en que se conocían las características del material por medio de la experimentación. El apoyo de la comunidad en la extracción de la materia prima fue esencial para delimitar estudios interdisciplinarios, uniendo metodologías de diseño con procesos artísticos, lo que permitió la creación de joyas artesanales y artefactos para explorar el potencial de la materia prima local. El estudio mostró el tallo del cactus como un material renovable con potencial para generar ingresos para las pequeñas comunidades de la región semi-árida de Bahía.

Investigación desarrollada en la Universidad del Valle de Atemajac, México, experimentó en laboratorio con el jugo de hojas del cactus Nepal, una planta típica de la región (Ortiz, 2016). Además, otros estudios se han centrado en el desarrollo de empaques de alimentos utilizando mucílago de diferentes especies de cactus para la formación de biopolímeros, apareciendo como una alternativa prometedora para la conservación de alimentos por ser rentable económicamente debido a su gran disponibilidad y al bajo costo de la materia prima (Gheribi y Khwaldia, 2019).

Es también posible encontrar estudios que utilizan los residuos del cactus de Mandacaru como refuerzo en matrices poliméricas sintéticas para mejorar el desempeño de materiales y productos. La madera del cactus ha sido utilizada como agregado en una matriz de cemento para desarrollar concreto más ligero para construcción civil. Finalmente, algunos estudios han extraído la celulosa de las espinas del vegetal (Nepomuceno et al., 2017; Silveira et al., 2019; Silva, 2019).

Todos estos estudios tienen en común intentar reducir el impacto durante la producción y el descarte al final de la vida útil del producto y proporcionar competitividad económica por medio del uso de materias primas renovables y de bajo costo.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El método basado en la experimentación fue escogido por su capacidad para contribuir con la aparición de soluciones innovadoras, provocando la reflexión sobre las prácticas experimentales y técnicas de fabricación de artefactos (Barauna, 2021).

Según Mainsah y Morrison (2013), la experimentación en diseño como investigación no impone un rigor científico; el proceso no es lineal ni homogéneo. Los autores también afirman que a través de la experimentación en diseño son puestas en práctica tres principales actividades: el desarrollo de conocimiento, los diferentes métodos de investigación experimental y la innovación metodológica.

#### EL DESARROLLO DE CONOCIMIENTO

Para la construcción de un conocimiento reflexivo es necesario que haya una experimentación metodológica en la investigación de diseño, o sea, diferentes técnicas extraídas de la práctica de diseño pueden informar como la investigación de diseño es aplicada experimentalmente. Aquí los métodos de la investigación cualitativa pueden ser utilizados a fin de esclarecer el análisis de las tentativas a través de la construcción.

#### LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Se trata de la creación de nuevas estrategias de diseño haciendo uso de la transdisciplina con la intención de desarrollar de forma innovadora artefactos de diseño, sistemas y servicios, junto con una articulación crítica cualitativa, lo que consigue que en el campo de la investigación en diseño haya una mejora de las formas críticas y reflexivas.

#### INNOVACIÓN METODOLÓGICA

Las innovaciones metodológicas sumadas a las técnicas de diseño reflejarán en la práctica de investigación en diseño, promoviendo nuevas direcciones estratégicas, contribuyendo para la creación de nuevos procesos, servicios y productos.

En la misma dirección, Mineiro (2016) afirma que la experimentación en diseño difiere de la científica respecto del rigor científico y analítico. El autor afirma que también difiere de la experimentación técnica, visto que las cuestiones, problemas, procesos y propuestas están en otra racionalidad. La experimentación en diseño difiere de la científica, de la técnica, y de la artística a partir del momento en que el artefacto de diseño posee utilidad y función comercial. Sin embargo, aun habiendo esas diferencias, el autor señala que es posible identificar en las experimentaciones en diseño características pertenecientes a los otros tipos de experimentación mencionados.

#### TRAYECTORIA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño social para la sostenibilidad considera todas las etapas de producción de productos, distribución y descarte después del consumo con la intención de reducir impactos ambientales. La participación de la comunidad en la búsqueda de soluciones innovadoras y en prácticas sostenibles colaborativas pretende también generar conciencia sobre la necesidad de la reducción del uso de materiales provenientes de fuentes no renovables, así como del posible aprovechamiento de residuos locales para la producción de nuevos materiales y productos sostenibles a través del diseño (Carvalho y Santos, 2021; Oliveira, 2019).

La calidad de la comunicación entre los actores del sistema, según Manzini (2008), también tiene un papel importante en la promoción de la sostenibilidad, pues proporciona a los individuos una nueva perspectiva sobre las propias acciones, sobre los impactos generados y sobre las alternativas a seguir. Siendo así, el diálogo con la comunidad de la zona rural de Surubim Pernambuco, Brasil fue fundamental para los resultados de este estudio.

#### THE DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE

To construct reflective knowledge, it is necessary to follow a methodological experimentation design research; this proposes various techniques extracted from design practice that can inform how design research is applied experimentally. Here the methods of qualitative research can be used to clarify the design attempts' analysis.

#### THE VARIOUS METHODS OF EXPERIMENTAL RESEARCH

Creates new design strategies using transdisciplinarity to develop design artifacts, systems and services in an innovative way. Qualitative critical articulation, achieves improvement in critical and reflective forms in the field of design research.

#### METHODOLOGICAL INNOVATION

Methodological innovations added to the design techniques will be reflected in the design research practice, promoting new strategic directions and contributing to the creation of new processes, services, and products.

In the same direction, Mineiro (2016) affirms that experimentation in design differs from scientific experimentation concerning scientific and analytical rigor. The author affirms that it also differs from technical experimentation since the questions, problems, processes, and proposals are executed in another rationality. Experimentation in design differs from scientific, technical, and artistic from the moment when the design artifact has utility and commercial function. However, even with these differences, the author points out that it E

#### METHODOLOGICAL TRAJECTORY TO DEVELOP THE RESEARCH

Social design for sustainability considers all stages of product production, distribution, and post-consumer disposal to reduce environmental impacts. The participation of the community in the search for innovative solutions and collaborative, sustainable practices also aims to raise awareness of the need to reduce the use of materials from non-renewable sources. As well as the possible use of local waste for producing new materials and sustainable products through design (Carvalho and Santos, 2021; Oliveira, 2019).

The quality of communication between the actors of the system, according to Manzini (2008), also has a vital role in promoting sustainability since it provides individuals with a new perspective on their own actions, on the impacts generated, and on the alternatives to follow. Thus, the dialogue with the community of the rural area of Surubim Pernambuco, Brazil was fundamental for the results of this study.

In the waste treatment stage, utensils were used such as a machete; serrated table knife; blender; common strainer; soup spoon; aluminum pots, and gas combustion stove. The collection of the discarded stems aroused the curiosity of the local population about what would be produced with this raw material, providing the opportunity to start a conversation about the excessive use and disposal of packaging and possibly new ways of sustainable production through waste from the Cactus.

En la etapa del tratamiento de los residuos fueron usados utensilios como: machete; cuchillo de mesa serrado; licuadora; colador común; cuchara sopera; vasijas de aluminio y fogón de combustión a gas. La recogida de los tallos descartados despertó la curiosidad de la población local sobre qué sería producido con esa materia prima, proporcionando la oportunidad para entablar conversaciones acerca del uso y descarte exagerado de embalajes y posibles nuevas vías de producción sostenible a través de los residuos del cactus.

Después de la recolección de los tallos, se procedió a la retirada y descarte de la miga esponjosa con la ayuda de un machete y un cuchillo de mesa, (figura 4). Luego, los tallos ya abiertos fueron expuestos al sol durante tres días para su secado, quedando aptos para la etapa de molienda y cribado.

After the collection of the stems, the spongy crumb was removed and discarded with the help of the machete and the table knife (figure 4). Then, the opened stems were exposed to the sun for three days to dry and thus they were suitable for the next stage of grinding and screening.

A



B



📌

**FIG 4.** Primeros procedimientos para tratar los residuos del tallo del cactus (A – retirada de la miga esponjosa; B – exposición al sol para el secado). Fuente: Elaborada por los autores (2022).

**FIG 4.** First procedures to treat cactus stem residues (A – fluffy crumb removal; B – sun exposure for drying). Source: Elaborated by the authors (2022).

Después de secos, los tallos fueron partidos en pequeños pedazos para facilitar el proceso de molienda en la licuadora. Tras el proceso de molienda vino la etapa de cribado para separar el polvo de los pedazos que no fueron triturados, como muestra la figura 5. El polvo obtenido a través de este procedimiento fue reservado para uso posterior.

After drying, the stems were broken into small pieces to facilitate the grinding process in the blender. After the grinding, in the screening stage, the powder was separated from the pieces that were not crushed, as shown in figure 5. The powder obtained through this procedure was reserved for later use.





FIG 5. Tratamiento de los residuos del tallo del cactus a través de la molienda y el cribado (A – rotura de las fibras en pedazos menores; B – inicio de la molienda en la licuadora; C – cribado del residuo; D – polvo obtenido después del procedimiento). Fuente: Elaborada por los autores (2022).

FIG 5. Treatment of cactus stem residues through grinding and screening (A – fiber breakage into smaller pieces; B – beginning of grinding in the blender; C – residue screening; D – powder obtained after the procedure). Source: Elaborated by the authors (2022).

El procesamiento del biomaterial ocurrió en dos momentos: primero, la producción de la masa y del aglutinante, seguido de la mezcla de la masa con el aglutinante. El aglutinante fue producido a partir del jugo de la pulpa del Mandacaru que fue extraído de la parte inferior del cactus próximo al tronco, pues es más madura y proporciona una mayor viscosidad. Para cada 250 g de pulpa fue añadido 100 ml de agua para la molienda en la licuadora (figura 6).

The processing of the biomaterial occurred in two moments: first, the production of the dough and the binder, followed by the mixing of the dough with the binder. The binder was produced from the juice of the Mandacaru pulp that was extracted from the lower part of the cactus near the trunk, as it is more mature and provides greater viscosity. For each 250 g of pulp, 100 ml of water was added to grind in the blender (figure 6).

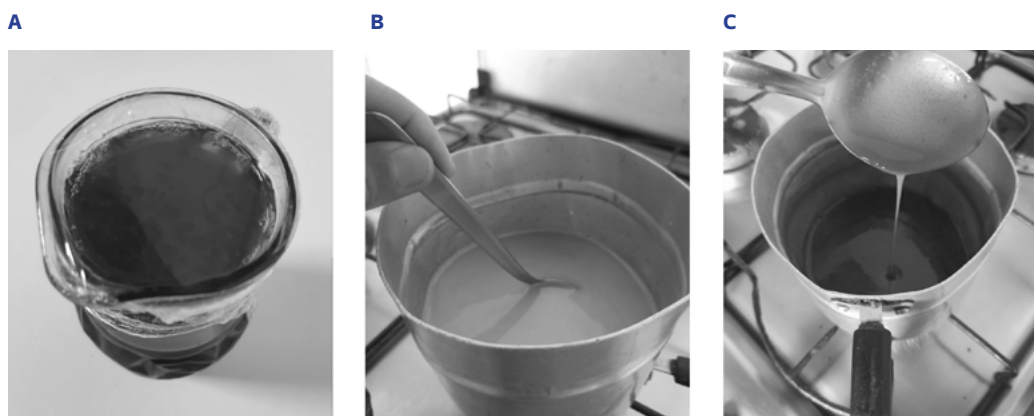


**1**  
**FIG 6.** Jugo de la pulpa del cactus Mandacaru (A – retirada y descarte de la cáscara; B – corte de la pulpa en pequeños pedazos; C – pulpa cortada en la licuadora; D – cribado de la mezcla después de la molienda para la obtención del jugo).  
 Fuente: Elaborada por los autores (2022).

**FIG 6.** Mandacaru cactus pulp juice (A – removal and discarding of the shell; B – pulp cut into small pieces; C – pulp cut in the blender; D – screening of the mixture after grinding to obtain the juice).  
 Source: Prepared by the authors (2022).

Para la producción del aglutinante, el almidón de mandioca (32 g) y el vinagre de alcohol (30 ml) fueron añadidos al jugo de la pulpa del Mandacaru (450 ml). Esta solución fue calentada y agitada durante 75 minutos a fuego bajo en el fogón de combustión a gas. Después de la evaporación del agua, el aglutinante adquirió una textura viscosa (figura 7).

To produce the binder, cassava starch (32 g) and spirit vinegar (30 ml) were added to Mandacaru pulp juice (450 ml). This solution was heated and stirred for 75 minutes over low heat on the gas burner. After the evaporation of the water, the binder acquired a viscous texture (figure 7).



**1**  
**FIG 7.** Producción del aglutinante (A – jugo de la pulpa; B – reducción del jugo, almidón de mandioca y vinagre de alcohol; C – aglutinante pronto).  
 Fuente: Elaborada por los autores (2022).

**FIG 7.** Binder production (A – pulp juice; B – juice reduction, cassava starch, and spirit vinegar; C – early binder).  
 Source: Elaborated by the authors (2022).

El enfriamiento del aglutinante ocurrió de forma espontánea y el paso siguiente fue la mezcla con el polvo de las fibras del tallo de mandacaru (140 g) para formar una masa homogénea (figura 8).

The cooling of the binder occurred spontaneously and the next step was mixing it with the powder of the mandacaru stem fibers (140 g) to form a homogeneous dough (figure 8).

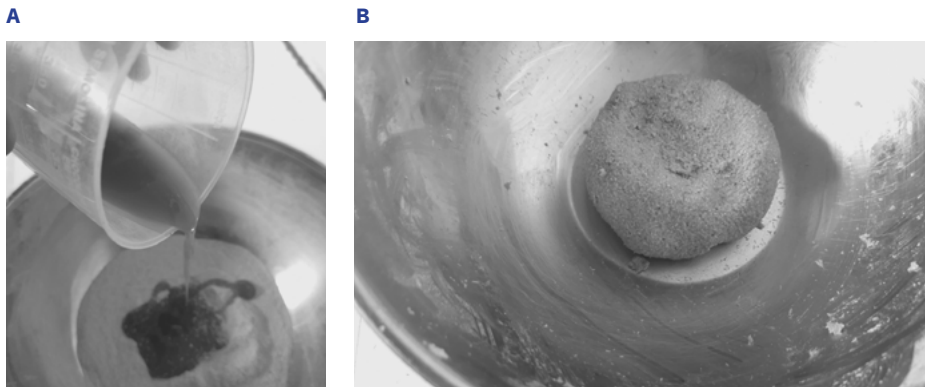


FIG 8. Producción de la biomasa (A – aglutinante mezclado con el polvo del tallo; B – masa homogénea). Fuente: Elaborada por los autores (2022).

FIG 8. Biomass production (A – binder mixed with stem powder; B – homogeneous dough). Source: Elaborated by the authors (2022).

Un flujograma de la producción experimental del nuevo material con el residuo del cactus Mandacaru fue diseñado, figura 9.

A flowchart of the experimental production of the new material with the residue of the Mandacaru cactus was designed, figure 9.

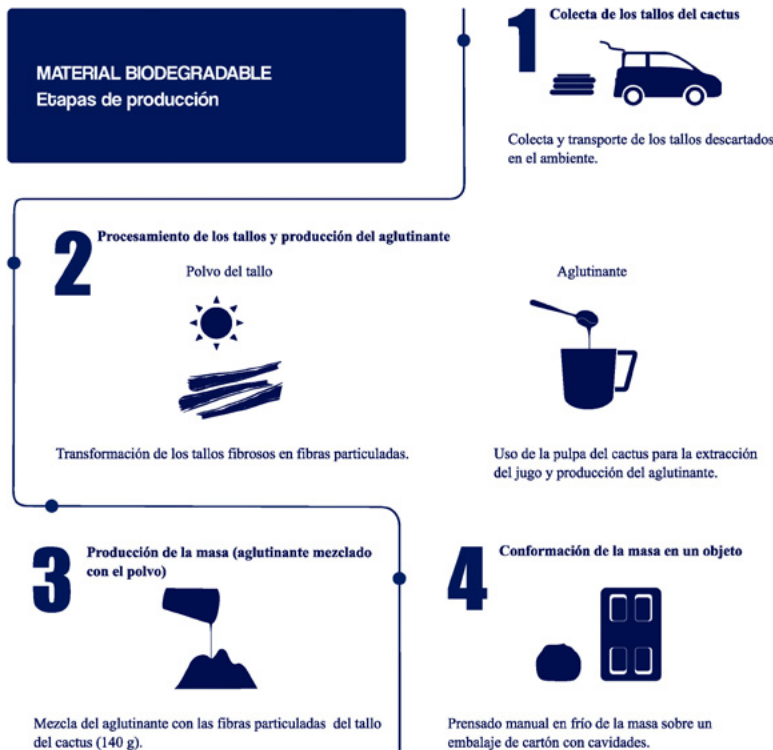


FIG 9. Flujograma de la trayectoria metodológica para el desarrollo de la investigación. Fuente: Elaborada por los autores (2022).

FIG 9. Flowchart of the methodological trajectory to develop the research. Source: Elaborated by the authors (2022).

## RESULTADOS

La biomasa fue conformada por prensado manual en molde de cartón con cuatro cavidades y expuesta al sol. Después de 48 horas de secado, el modelo fue retirado del molde. El nuevo material presentó rigidez significativa y resistencia mecánica, alterada por la humedad del aire. La superficie del material soportó refinamiento por lijado manual, manteniendo la integridad del producto (figura 10).

## RESULTS

The biomass was shaped by manual pressing in a cardboard mold with four cavities and exposed to the sun. After 48 hours of drying, the model was removed from the mold. The new material presented significant stiffness and mechanical resistance, altered by air humidity. The surface of the material withstood refinement by manual sanding, maintaining the integrity of the product (figure 10).



FIG 10. Nuevo material conformado en molde con cuatro cavidades por prensado manual.

Fuente: Elaborada por los autores (2022).

FIG 10. New material is formed in a mold with four cavities by manual pressing.

Source: Elaborated by the authors (2022).

El modelo, después del secado, presentó resistencia mecánica capaz de garantizar la manipulación del producto por lijado manual. La estructura, aunque leve y tenaz, presentó baja resistencia mecánica a la tracción (figura 11).

After drying, the model presented mechanical resistance capable of guaranteeing the handling of the product by manual sanding. The structure, although light and tenacious, presented low mechanical resistance to traction (figure 11).



FIG 11. Nuevo material conformado en molde con cuatro cavidades por prensado manual.

Fuente: Elaborada por los autores (2022).

FIG 11. New material is formed in a mold with four cavities by manual pressing.

Source: Elaborated by the authors (2022).

Entendiendo que los resultados prácticos alcanzados en este estudio son indicativos de un potencial material para la sostenibilidad ambiental y social, los autores de esta investigación sugieren como propuesta de trabajos futuros, en ambiente de laboratorio: 1) la caracterización de los residuos por infrarrojo (composición química); 2) la producción del biomaterial utilizando la pectina como matriz polimérica reforzada con los residuos del tallo del cactus Mandacaru en diferentes proporciones; 3) la caracterización térmica del biomaterial por Termogravimetría (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC); 4) un estudio de procesabilidad del biomaterial por extrusión e inyección; 5) la evaluación de las propiedades mecánicas del biomaterial a partir de los ensayos de tracción e flexión; 6) el análisis microbiológico contra hongos, y finalmente; 7) el análisis de la microestructura a través de la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

La pectina es un polisacárido que puede ser encontrado en frutas y vegetales, ha ofrecido resultados prometedores en la producción de materiales biodegradables por permitir la manipulación del material de forma más eficiente. A partir de los estudios de Molena et. al (2019) fue posible producir y moldear pajás biodegradables con ese material.

#### CONSIDERACIONES FINALES

El residuo del cactus Mandacaru fue testeado de forma experimental, fuera del ambiente del laboratorio, como alternativa de material biodegradable para los embalajes de corto plazo. La experimentación en diseño contribuyó para el aprendizaje a través de la aplicación de nuevas metodologías en la producción e incentivó el uso de la creatividad en la búsqueda de innovaciones sostenibles, factores importantes para la actividad del diseñador ante el escenario actual.

La trayectoria de la investigación fue diseñada a partir de estudios de laboratorio de ingeniería en materiales y propiciaron reflexiones importantes respecto del aprovechamiento de residuos, dentro del campo de estudio del Diseño Circular y del Diseño Social, como ejemplo de incentivo para la preservación de los recursos naturales de cara a las futuras generaciones y a la participación de la comunidad local.

La participación de la comunidad de la zona rural de Surubim-Pernambuco, Brasil fue fundamental para la colecta y el almacenamiento de los residuos del tallo del Mandacaru. Algunos productores comenzaron a conservar los tallos que serían descartados, y la cuestión de la sostenibilidad empezó a ser un tema frecuente en las conversaciones.

Los resultados indicaron que los residuos del cactus Mandacaru son prometedores para la formación de bioestructuras, principalmente por la levedad y tenacidad del material, que, además, ofreció baja resistencia a esfuerzos mecánicos de tracción y al agua, todo ello sin presentar señales de hongos a lo largo del tiempo. Se sugiere como trabajo futuro, y en ambiente de laboratorio, nuevos estudios del biomaterial con diferentes tamaños de partículas, con y sin la sustitución del aglutinante por pectina para caracterizar su microestructura, estudiar su procesabilidad y poner a prueba su aplicación a embalajes de corta duración.

Understanding that the practical results achieved in this study are indicative of an environmental and social sustainable material, the authors of this research suggest as a proposal for future work in a laboratory environment: 1) the characterization of waste by infrared (chemical composition); 2) the production of the biomaterial using pectin as a polymeric matrix reinforced with the stem residues of the Mandacaru cactus in different proportions; 3) thermal characterization by Thermogravimetry (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC); 4) a study of the processability of the biomaterial by extrusion and injection; 5) the evaluation of the mechanical properties of the biomaterial from the tensile and flexural tests; 6) microbiological analysis against fungi, and finally; 7) the analysis of the microstructure through Scanning Electron Microscopy (SEM).

Pectin is a polysaccharide found in fruits and vegetables, it has offered promising results in the production of biodegradable materials by allowing to handle them more efficiently. From the studies of Molena et. al (2019) it was possible to produce and mold biodegradable straws with this material.

#### FINAL CONSIDERATIONS

The residue of the Mandacaru cactus was tested experimentally, in a non-laboratory environment, as an alternative biodegradable material for short-term packaging. Experimentation in design contributed to learning through the application of new methodologies in production and encouraged the use of creativity in the search for sustainable innovations. Both are important factors for the design activity in the current scenario.

The trajectory of the research was designed from laboratory studies of materials engineering and led to important reflections regarding the use of waste within the study of Circular and Social Design. The study is an example of an incentive for preserving natural resources for future generations and the participation of the local community.

The participation of the community from the rural area of Surubim-Pernambuco, Brazil was essential for the collection and storage of Mandacaru stem residues. Some growers began to keep stems that would be discarded, and the issue of sustainability became a frequent topic of conversation.

Results indicated that the residues of the Mandacaru cactus are promising for the formation of biostructures, mainly due to the lightness and tenacity of the material, which, in addition, offered low resistance to mechanical tensile stress and water, all without presenting signs of fungi throughout time. We suggest future work in a laboratory environment to study the biomaterial with different particle sizes, with and without the substitution of the binder for pectin to characterize its microstructure, study its processability and test its application to short-term packaging.

## REFERÊNCIAS / REFERENCES

- Ashby, M., & Johnson, K. (2013). *Materiais e design: A arte e ciência da seleção de materiais no projeto do produto*. Elsevier Brasil.
- Barauna, D., Renck, G. E., Santos, P. M., & Tomé, V. P. D. (2021, December 1–3). Experimentação em Design: Biomateriais como uma alternativa para a Moda Sustentável. In *VIII Simpósio de Design Sustentável / Sustainable Design Symposium*. <https://eventos.ufpr.br/sds/sds/paper/viewFile/4500/1015>
- Barauna, D., Canal Marques, A., Renck, G. E., & Tomé, V. P. D. (2021, December 10). Experimentação e o cultivo de guaraná: uma aprendizagem sobre biomateriais no design. In *Design & Materials 2021 IV Congresso Internacional e X Workshop*. [http://www.extremooriente.4users.com.br/artigo\\_barauna\\_canal\\_renck\\_tome.pdf](http://www.extremooriente.4users.com.br/artigo_barauna_canal_renck_tome.pdf)
- Barbosa, L. M., Leite, R. H., Aroucha, E. M. M., Klebson, F., & dos Santos, G. (2020). Comportamento físico-químico sob diferentes temperaturas de secagem de compósitos de fécula de mandioca e fibra de sisal. *Agropecuária Científica No Semiárido*, 16(2), 81–85. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v16i2.1229>
- Carvalho, M. C., & de Oliveira Santos, M. L. L. (2021, October). Estratégia para produção de revestimento em resíduo de fibra de bananeira promovendo o engajamento dos geradores da matéria-prima. In *II JOP DESIGN 2021 II Jornada de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Design – UFMA*. <http://dx.doi.org/10.5151/jopdesign2021-18>
- Confederação Nacional da Indústria (2019). Pesquisa sobre Economia Circular na Indústria Brasileira. [https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/a5/ab/a5abebbb-3bc9-4aed-9f2f-8914358d2f00/economia\\_circular\\_-\\_pesquisa\\_cni\\_2.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/a5/ab/a5abebbb-3bc9-4aed-9f2f-8914358d2f00/economia_circular_-_pesquisa_cni_2.pdf)
- Fibrenamics (Produtora). (2020). Design Circular de Produtos. [Video]. Portugal, DC: Fibrenamics.
- Gheribi, R., & Khwaldia, K. (2019). Cactus mucilage for food packaging applications. *Coatings*, 9(10), 655. <https://doi.org/10.3390/coatings9100655>
- John, M. J. and Thomas, S. (2008) *Biofibres and Biocomposites*. *Carbohydrate Polymers*, 71, 343–364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>
- Lee, S., Congdon, A., Parker, G., & Borst, C. (2020). *Understanding 'Bio' Material Innovations: A Primer for the Fashion Industry*. Biofabricate. <https://www.biofabricate.co/resources>
- Lopes, J. D. A. (2016). *O Mandacaru e sua utilização como material expressivo e alternativo renovável no design e na arte*. [Dissertação]. Pós-Graduação em Artes Visuais]. Universidade Federal da Bahia. [http://www.ppgav.eba.ufba.br/sites/ppgav.eba.ufba.br/files/dissertacao\\_revisado\\_ort\\_e\\_normas.final\\_.pdf](http://www.ppgav.eba.ufba.br/sites/ppgav.eba.ufba.br/files/dissertacao_revisado_ort_e_normas.final_.pdf)
- Mainsah, H; Morrison, A. (2013). Towards a manifesto for methodological experimentation in design research. In *Nordic Design Research Conference 2013, Copenhagen-Malmö*. Nordes, pp. 153–167. <https://archive.nordes.org/index.php/n13/article/view/287>
- Manzini, E. (2008). *O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis*. Editora da Universidade de São Paulo.
- Mineiro, É. F. (2016). *Experimentação em Design como Estratégia no Cenário da Autoprodução*. [Tesis de doctorado] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design. <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/29360/29360.PDF>
- Molena, A. C; Vidotto, A. A; Guerra, A. (2019). Produção de canudos biodegradáveis e comestíveis à base de pectina. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química – Etec Amim Jundi, Osvaldo Cruz, SP. orientadora: Rebeca Zuliani Galvão, 2019.
- Nepomuceno, N. C., Santos, A. S., Oliveira, J. E., Glenn, G. M., & Medeiros, E. S. (2017). Extraction and characterization of cellulose nanowhiskers from Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) spines. *Cellulose*, 24(1), 119–129. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-1109-5>
- Oliveira, I. C. M. D. (2019). *Design Social como fator de desenvolvimento regional sustentável baseado nas competências e recursos naturais locais*. <https://hdl.handle.net/1822/65370>
- Ortiz, S. P., & Arce, M. M. (2016). *Producción y Caracterización de Películas de Biopolímero de Nopal Opuntia ficus-indica* (L.). Research Gate GmbH. Extraído el 15 de Julio de 2021 desde *Production-y-Characterizacion-de-Películas-de-Biopolímero-de-Nopal-Opuntia-ficus-indica-L.pdf* (researchgate.net)
- Papanek, V. (1985). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. Academy Chicago Publishers.
- Peltier, F., & Saporta, H. (2009). *Design sustentável: caminhos virtuosos*. Editora Senac São Paulo.
- Purasachit, I. (2021). *The designerly approach in material development: a design-led exploration of surplus flowers as raw material*. [Master of Arts Thesis] School of Arts, Design and Architecture Department of Design, Aalto University [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/111299/master\\_Purasachit\\_Irene\\_2021.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/111299/master_Purasachit_Irene_2021.pdf?sequence=1)
- Rosa da Silva, I. C., & Freire de Oliveira, A. K. (2021). Ecocompósito de resina vegetal e resíduos de fibra de piaçava: Estudos de usinagem e sensorialidade para aplicações no campo do design. *Design E Tecnologia*, 11(23), 24–37. <https://doi.org/10.23972/det2021iss23pp24-37>
- Silva, L. F. C. R., Valle, L. D. S., Nascimento, A. R. C., & Medeiros, M. F. T. (2019). *Cereus jamacaru* DC. (Cactaceae): From 17 th century naturalists to modern day scientific and technological prospecting. *Acta Botanica Brasílica*, 33, 191–197. <https://doi.org/10.1590/0102-33062018abb0352>
- Silva, L. M. D. Q. (2019). *Avaliação do potencial de cactáceas para aplicações em processos biotecnológicos*. [Bachelor Monography] Universidade Federal de Campina Grande. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/8369/LUANA%20MARIA%20DE%20QUEIROZ%20SILVA%20-%20TCC%20ENG.%20DE%20BIOTECNOLOGIA%20E%20BIOPROCESSOS%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silveira, M., Menali, L., da Gloria, M., Toledo Filho, R., & Ferreira, S. (2019). Use of alternative aggregate for lightweight concrete production. *Academic Journal of Civil Engineering*, 37(2), 576–582. <https://doi.org/10.26168/icbbm2019.84>
- Smol, M., Kulczycka, J., & Avdiushchenko, A. (2017). Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(3), 669–678. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1323-8>
- Souza, J. H. S., dos Santos Rocha, T. O., dos Santos Gomes, I., da Silva Nascimento, A., Silva, D. S., da Silva Nascimento, E., & Fujiyama, R. T. (2019). Materiais compósitos de matriz poliéster com reforço híbrido de tecido de fibras de juta e mantas de fibra de vidro. *Brazilian Applied Science Review*, 3(1), 777–790. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/881/763>
- Vieira, K. (2021). Síntese e caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando poli (ácido láctico) e borra de café. [Master Thesis Dissertation] Universidade Federal de Santa Catarina. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/226884/PPCM0082-D.pdf?sequence=-1>

**JOSIVALDO JOSÉ LIMA DA SILVA**

josivaldo.limasilva@ufpe.br  
NÚCLEO DE DISEÑO Y COMUNICACIÓN, CENTRO  
ACADÉMICO DEL AGRESTE, UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
PERNAMBUCO, CARUARU, BRASIL.  
<https://orcid.org/0000-0002-5760-7992>  
Lattes iD <http://lattes.cnpq.br/275770550230121>

GRADUANDO EN DISEÑO POR LA UNIVERSIDAD  
FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE). REALIZA  
INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO  
DE PRODUCTOS CON ENFOQUE REGIONAL Y  
PROYECTOS DE NUEVOS MATERIALES A TRAVÉS  
DE LA EXPERIMENTACIÓN DE DISEÑO.

GRADUATED IN DESIGN FROM THE FEDERAL  
UNIVERSITY OF PERNAMBUCO (UFPE).  
HE CONDUCTS RESEARCH FOR PRODUCT  
DEVELOPMENT WITH A REGIONAL FOCUS AND  
NEW MATERIALS PROJECTS THROUGH DESIGN  
EXPERIMENTATION.

**GERMANNYA D' GARCIA ARAÚJO SILVA**

germannya.asilva@ufpe.br  
NÚCLEO DE DISEÑO Y COMUNICACIÓN, CENTRO  
ACADÉMICO DEL AGRESTE, UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
PERNAMBUCO, CARUARU, BRASIL.  
<https://orcid.org/0000-0001-9118-202X>  
Lattes iD <http://lattes.cnpq.br/0237996809524149>

DOCTORA EN INGENIERÍA MECÁNICA, MÁSTER  
EN INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN, ESPECIALISTA  
EN ERGONOMÍA Y GRADUADA EN DISEÑO DE  
PRODUCTOS, TODOS LOS TÍTULOS ANTERIORES  
OBTENIDOS POR LA UNIVERSIDAD FEDERAL  
DE PERNAMBUCO (UFPE). PROFESORA  
ASOCIADA DEL NÚCLEO DE DISEÑO DEL  
CENTRO ACADÉMICO DEL AGRESTE (CAA)  
/ UFPE. PROFESORA PERMANENTE DEL  
PROGRAMA DE POSGRADUACIÓN DE DISEÑO  
DEL CENTRO DE ARTES Y COMUNICACIÓN (CAC)  
/ UFPE. INVESTIGADORA DEL LABORATORIO  
“O IMAGINÁRIO” Y DEL LABORATORIO DE  
CERÁMICAS ESPECIALES, AMBOS DE LA UFPE,  
DONDE DESARROLLA INVESTIGACIONES EN EL  
ÁREA DE DISEÑO, ERGONOMÍA Y TECNOLOGÍA  
DE MATERIALES.

DOCTOR IN MECHANICAL ENGINEERING, MASTER  
IN PRODUCTION ENGINEERING, SPECIALIST IN  
ERGONOMICS AND GRADUATED IN PRODUCT  
DESIGN, ALL PREVIOUS TITLES OBTAINED BY THE  
FEDERAL UNIVERSITY OF PERNAMBUCO (UFPE).  
ASSOCIATE PROFESSOR OF THE DESIGN NUCLEUS  
OF THE AGRESTE ACADEMIC CENTER (CAA) /  
UFPE. PERMANENT PROFESSOR OF THE DESIGN  
POSTGRADUATE PROGRAM AT THE CENTER FOR  
ARTS AND COMMUNICATION (CAC) / UFPE. SHE  
IS A RESEARCHER AT THE “O IMAGINÁRIO”  
LABORATORY AND THE LABORATORY OF  
SPECIAL CERAMICS, BOTH AT UFPE, WHERE SHE  
CONDUCTS RESEARCH IN THE AREAS OF DESIGN,  
ERGONOMICS AND MATERIALS TECHNOLOGY.