

BIOMIMETIC OF XEROPHILOUS PLANTS IN THE DESIGN OF WATER STORAGE SYSTEMS. Analysis and use of functional principles

Abstract

The paper aims to present how the application of nature-inspired principles by the xerophilous plants of the Brazilian Semi-arid region can influence the creation and development of designs for water storage systems.

The study analyzes how the chosen species (mandacaru, coroa-de-frade and palma forrageira) survived and evolved over time, adapting to one of the planet's hardest climatic conditions and regions, the Brazilian Caatinga biome. Considered an important innovation tool, biomimetics transforms the way of thinking and creating new solutions: by doing things as nature does, we can change the way grow food, produce materials, generate energy, heal, store information, and do business, even knowing that biomimetics is not simply a matter of copying or duplicating biological structures.

It is based on those principles that we envision the possibility of seeking inspiration to reduce problems related to water scarcity. By being in a region characterized by climatic aridity, water deficiency and unpredictability of rainfall, the xerophilous plants (cactus) have evolved and adapted, standing out for tolerating water scarcity, resist drought and to store water efficiently.

The biological nature of cactus shows us several principles, forms and mechanisms that can be applied to solve problems and think about new products and technologies. It is imperative the ability of those plants to develop natural strategies for maintaining life in so extreme climatic conditions as heat and insolation as those of the Brazilian northeastern semi-arid region, resulting in strategies of collection, storage and management of water complemented by a structural defense system against predators and natural weather.

Keywords: Biomimetics. Semi-arid. Xerophilous plants. Water storage. Product Design.

Introduction

Throughout the history of mankind, nature has always been a great source of inspiration for creating new tools. Humans have been observing and emulating nature for over three thousand years (Vincent, 2006). Through this deep and conscious imitation of life comes the possibility of creating new technologies, services, products, processes, and systems. Our ancestors were forced to create spears from animal teeth to hunt their prey to survive, mimicking the effective hunting technique of large predators. Since then, there are many

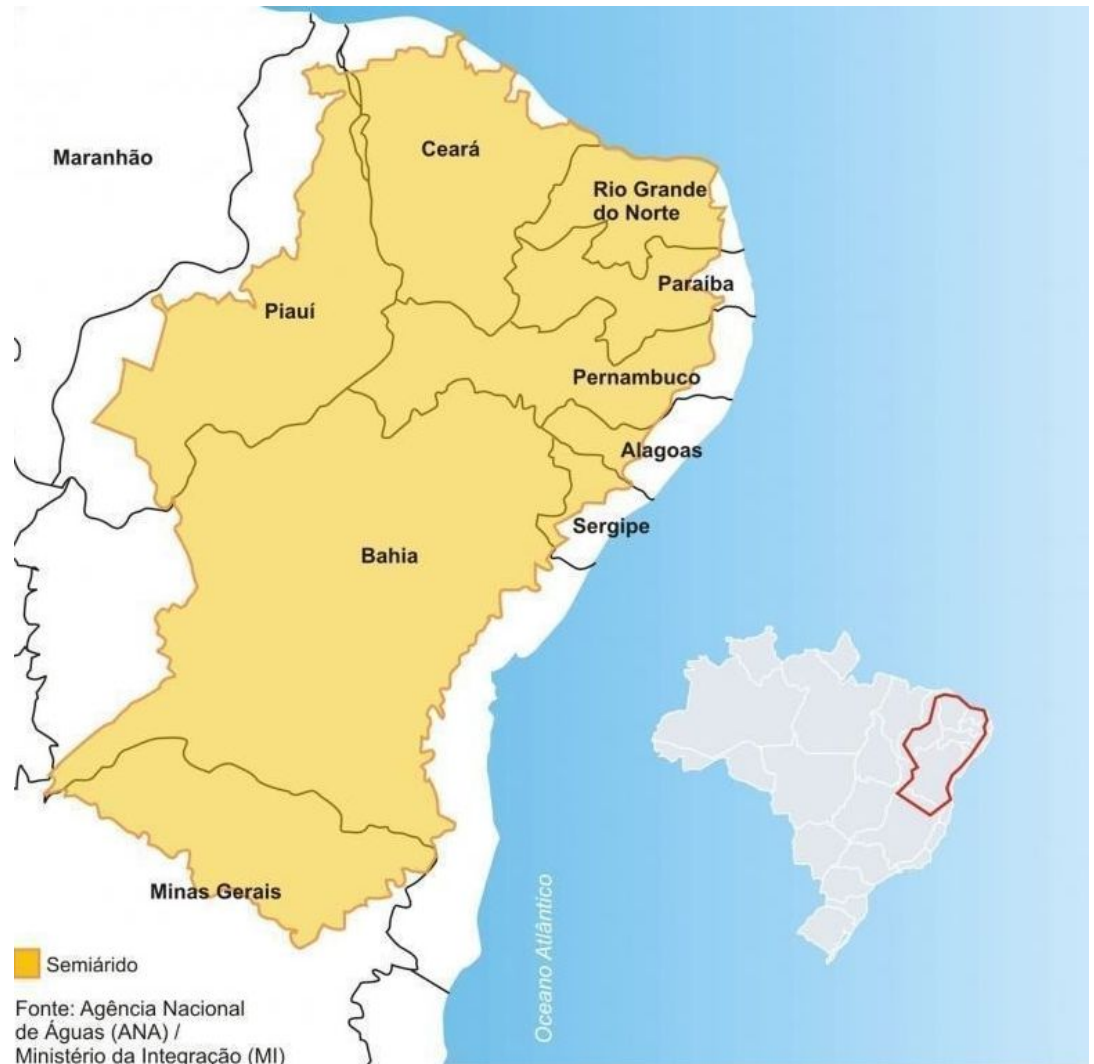


Fig. 1 - The Brazilian semi-arid region. Source: www.ecodebate.com.br.

examples of people who were inspired by nature to solve problems, especially Leonardo Da Vinci in the 15th century.

By observing the flight of birds, realized that birds did not depend so much on flapping their wings to fly, but the way they explored the air currents and the wind. Based on the study of anatomy, he proposed several models of flying machines and, although unsuccessful in getting these inventions to work, brought rudimentary concepts of aerodynamics that would have an important role in airplane development centuries later.

Despite these findings, it was not until the early 70's that the term *biomimicry* came to light as a synonym of imitating natural models. That term gained new visibility with the publication of the paper called "*Nature Inspired Innovation*" by Benyus (1997), in which the author showed that the biomimetic process involves learning

and imitating environment-tested forms, processes, and ecosystems perfected through of evolution. It can be applied to solve technical and social challenges of any scale. Considering this perspective, biological imitation becomes an interesting strategy not only for humans but also for nature.

Biomimicry can be used both to mimic complex natural systems and turn them into products through the analogy process. According to Forniés & Berges-Muro (2014), an analogy is the relation of similarity between elements of two events or objects, allowing to mentally deduce the degree of connection between them. The creative process by biological analogy is established in similarity relationships, where a mental image is generated to connect living beings that have already solved this problem. For Vattam, Helms & Goel (2010), the growth of bio-inspired design is attributed to the

increasingly critical need for sustainable development and the recognition that nature can be an excellent source of innovation. Considered an important design tool, biomimicry transforms the way of thinking and creating new solutions: by doing things as nature does, we can change the way grow food, produce materials, generate energy, heal, store information, and do business, even knowing that biomimetics is not simply a matter of copying or duplicating biological structures (Guo *et al.*, 2011). It is based on those principles that we envision the possibility of seeking inspiration to reduce problems related to water scarcity. Andrade (2014) states that throughout evolution living organisms face challenges to survive and for this reason, they are forced to develop adaptive evolutions due to climatic and environmental factors. This fight for survival and natural selection also happens with the cactus (*xerophilous*) plants, present in the Brazilian semiarid.

By being in a region characterized by climatic aridity, water deficiency and unpredictability of rainfall, the xerophilous plants (cactus) have evolved and adapted for tolerating water scarcity, resist drought and to store water efficiently, influencing physiology and metabolism aspects. These species are an extremely diverse group, with an impressive set of adaptive, evolutionary and ecological strategies that give them a great capacity for development and adaptation to the semiarid climate (Duque, 2004).

According to the conclusions of Alcoforado (2013), the biological nature of cactus shows us several principles, forms, and mechanisms that can be applied to solve problems and think about new products and technologies. It is imperative the ability of those plants to develop natural strategies for maintaining life in so extreme climatic conditions as heat and insolation as those of the Brazilian northeastern semi-arid region, resulting in strategies of collection, storage, and management of water complemented by a structural defense system against predators and natural weather.

There is currently a global convergence on water resources issues that address the need to build alternatives to minimize impacts and develop adaptation strategies in the face of climate uncertainties that characterize the changing world we currently live in.

The Brazilian semi-arid region is the largest in the world and has an area of 982,566 km², which corresponds to 18.2% of the national territory, 53% of the Northeast region and covers 1.133 municipalities.

The population of the Semiarid is about 22 million inhabitants and is part of the largest concentration of rural population in Brazil. In recent years Brazil has faced numerous problems regarding water shortages, although it has 12% of the world water reserve. The Brazilian Northeast region particularly has been suffering severely with this problem, in which 2013 being one of the most severe years in terms of drought in the last 50 years.

That situation shows how the population living in this region values this precious resource and seeks adaptive measures to live with such reality without causing damage to natural resources. Even with projects related to the collect and storage of water in short supply,

people who live in that region need to reinvent themselves every day to survive, learning with plants to adapt to the climatic conditions and drought.

The paper aims to present how the application of nature-inspired principles by the xerophilous plants of the Brazilian Semiarid region can influence the creation and development of designs for water storage systems. The study analyzes how the chosen species (*mandacaru*, *coroa-de-frade* and *palma forrageira*) survived and evolved, adapting to one of the planet's hardest climatic conditions and regions, the Brazilian Caatinga biome.

Methodology

The technique used was exploratory research, which has flexible planning but allows studying something from various angles and aspects, generally involving desk research (Cavalcante, 2012; Conti, 2017), conversations about practical experiences with the problem and analysis of examples that help us to understand the studied context.

From this point on, the research proceeded with the following steps:

1. Classification of samples

A data collection about species of xerophilous plants was carried out at Instituto do Semi-Árido (Brazil). Over 130 cactus and succulent species have been cataloged in a technical and detailed manner, showing from their origin (family and subfamilies), conservation status, geographical location and forms of water catchment and reserve.

2. Sample Collection and Characterization

The species selected for the study were defined from their water storage characteristics and the formal characteristics that vary while they are hydrated and dehydrated. The xerophilous plant samples most suitable for the research should be small plants, young (less than 6 months) because they have the same structures as the adult plants, but with the advantage of being more malleable when sectioned. Based on these criteria the species chosen were (A) *mandacaru* (*Cereus jamacaru*), (B) *palma forrageira* (*Opuntia ficus*) and (C) *coroa-de-frade* (*Melocactus*).



Fig. 2 - Species defined for the study: (A) Mandacaru, (B) Palma forrageira and (C) Coroa-de-frade.

3. Sample Preparation

After collecting the plants, longitudinal and transverse cuts were made to extract an internal block of the plant for analysis. The selected samples were placed in a refrigerated environment to maintain their organic properties (stored in a plastic bag and kept in the common refrigerator, between 5 and 6 °C), where they remained for two days until they were taken to the Botany Research Laboratory at Universidade Estadual da Paraíba (Brazil).



Fig. 3 - Longitudinal and transverse sections of the species for block extraction.

4. Laboratory Tests

The collected samples were sliced using a microtome, equipment that allows cuts of defined thickness to be obtained from a rigid material. The slip microtome cuts the material into individual cuts, while the rotary makes it possible to form a "tape" with sequential cuts. Each block of each species selected was sliced with 1 x 1.5 cm sections and 7 μm thick then the slices were stained with 0.05% toluidine blue in citrate. The sections are adhered to histological slides and then placed on a warming plate until the sections are distended (translucent) and then brought to the oven to dry. Next, microscopic photographs were taken of the internal structures of the samples.

5. Identifying Visual Patterns

In the last stage of the research, the images obtained by the microscope were used to identify visual patterns that could be used to design structural and visual solutions. To identify visual patterns, we sought to verify the use of formal repetitions where groups of cells had the same or approximate shapes, being grouped or formed by modules, which together, turned into an independent group.

6. Analogies from Visual Patterns

Rüthschilling (2008) reports that before setting a pattern designers need to appropriate the concepts related to the module and its repetition systems. Thus, we came to structural sketches based on each set of images of the species analyzed. *Mandacaru* generated a sequence of elements in blocks of 3 modules, with a rectangular central element and angled sides.

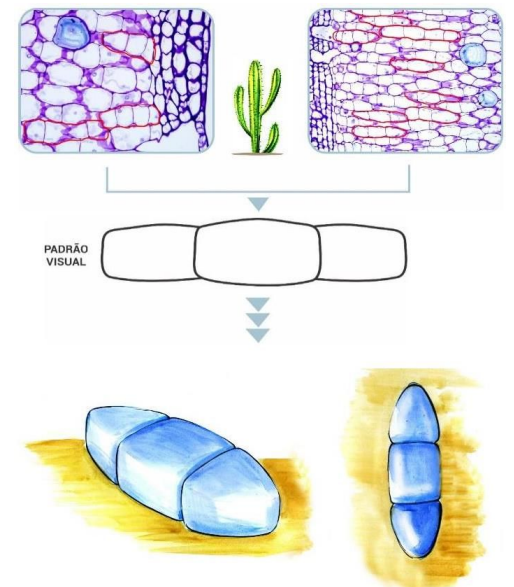


Fig. 4 - Design studies based on the cellular composition of mandacaru.

In the forage palm the repetitive elements are grouped from 5 to 5 modules of approximately equal size and in a repetitive sequence.

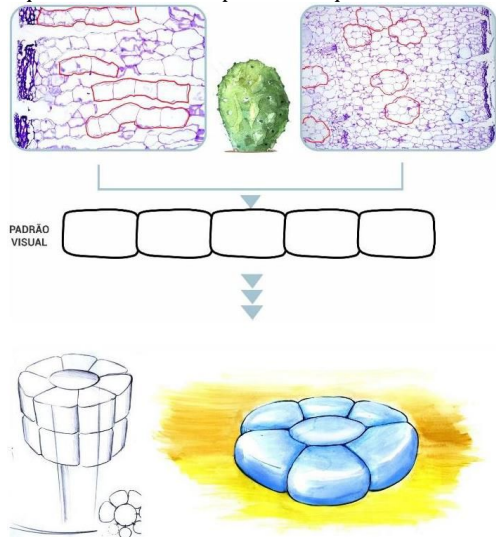


Fig. 5 - Design studies based on the cellular composition of palma forrageira.

In coroa-de-frade it is possible to see that there are two repetitive element formations, one with blocks in a rectangular sequence of 3 in 3, and in the other the arrangement of cells in a circular shape, similar to the shape of a flower.

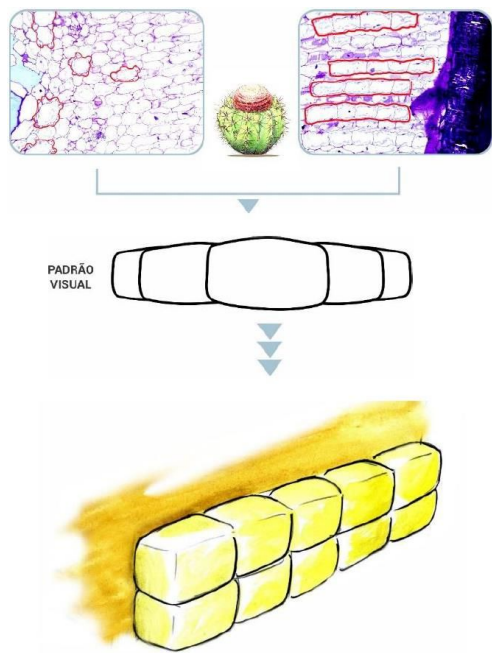


Fig. 6 - Design studies based on the cellular composition of coroa-de-frade.

Results

Based on the analogies of the microscopical internal structures of the plants, it was defined that the visual pattern of the coroa-de-frade plant would be used because it presents a repetitive and sequential structure that can be replicated without any formal changes. From the definition of this module concept, we started the creation and design of the system to collect and storage water. With natural inspiration based on semiarid plant principles and using formal and analog studies to create models for water storage, we believe it is feasible to create a simple system that can meet the water demands of the region's inhabitants. System viability depends on three factors: precipitation, collection area, and demand. The rainwater reservoir, being the main component of the system, must be

designed according to user needs and local rainfall availability. The system consists of flexible plastic modules, connecting pipes and the collection system using gutters.

the use of laboratory equipment and chemical components. The result was the application of the formal and functional characteristics of semiarid

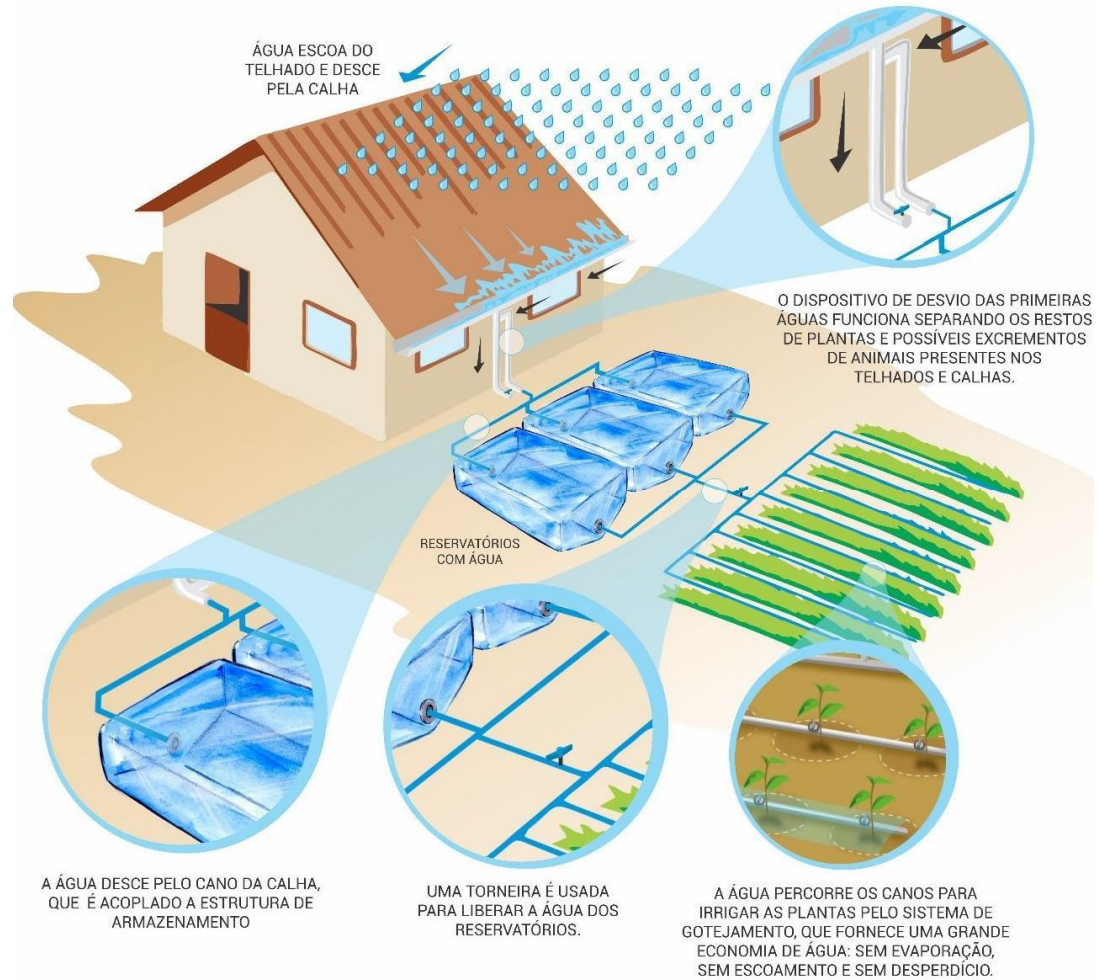


Fig. 7 - System running on a rainy day, receiving water through the gutter, which drains into the reservoirs and irrigates the planting.

The idea is that rainwater can be drained from the roof of a house to a filter through the gutters, where it is then directed to the empty modules on the floor, making them fill. Water flows out of the modules through a tap and is piped to irrigate plants in a drip system, resulting in great water savings, avoiding evaporation and waste, and helping to manage available reserves. This system is inspired by the exchange of water between the cells of the xerophilous plant coroa-de-frade by osmosis. The complete system can be applied to rural homes to assist small farmers in planting and maintaining their crops.

Conclusions

This paper was based on a study to investigate if the functional characteristics of semiarid xerophilous plants could be applied in a water storage system, looking for conceptual alternatives to make life sustainable in rural areas. The study describes how species of xerophilous plants can develop natural life-sustaining strategies in such extreme climatic conditions, using the roots to absorb little of the water that shallow, sandy soil receives from rain, regulating the flow of water inland and avoiding waste. It was possible to identify the correct age for the collection of samples; establish the laboratory analyzes to be performed; know the sample preparation procedures that follow a detailed protocol; and

xerophilous plants to the concept of a rainwater storage system for irrigation purposes. The main issue of that research was discovering the riches of the Brazilian semiarid region, showing that even in the most difficult situations it is possible to use creativity and inspiration to solve local problems.

REFERENCE

- ALCOFORADO, M. G., NASCIMENTO A.D., NEVES, A.F. (2013), *A geometria da natureza: Um estudo da funcionalidade das formas biológicas para aplicação no design*, in: "Revista Graphica" (13).
- BENNYUS, J.M. (1997), *Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza*, Pensamento-Cultrix Ltda, São Paulo.
- CAVALCANTE, A. (2015), *Cactos do Semiárido do Brasil: (ler e colorir)*, in: INSA, Campina Grande, [online] available at http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf_bib.php?%20COD_ARQUIVO=17908, accessed: 15.09.2017.
- DUQUE, J.G. (2014), *O Nordeste e as lavouras xerófilas*, Fortaleza, p. 330.
- FORNIÉS, I.L., BERGES-MURO, L. (2011), *Approach to biomimetic design. Learning and application*, in: "Dyna", v. 81, n. 188, pp. 181-190.
- GUO, Z., LIU, W., SU, B.L. (2011), *Superhydrophobic surfaces: from natural to biomimetic to functional*, in: "Journal of Colloid and Interface Science", vol. 353, pp. 335-355.
- LACERDA, C. (2015), *Design de superfície biomimética para aplicação em atividades desportivas*, Universidade do Minho (Portugal), DSc. Thesis, Escola de Engenharia, p. 254.
- RÜTHSCHILLING, E.A. (2008), *Design de Superfície*,

Editora da UFRGS, Porto Alegre. VATTAM, S.S., HELMS, M.E., GOEL, A.K. (2010), *A content account of creative analogies in biologically inspired design*, in: "Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing", vol. 24 (04), pp. 467-481.

Biomimética das plantas xerófilas no Design de sistemas de armazenamento de água.

Análise e aplicação dos princípios funcionais.

Resumo

O artigo tem como objetivo apresentar como a aplicação de princípios inspirados na natureza das plantas xerófilas da região semiárida brasileira pode influenciar a criação e o desenvolvimento de projetos para sistemas de armazenamento de água. O estudo analisa como as espécies escolhidas (mandacaru, coroa-de-frade e palma forrageira) sobreviveram e evoluíram ao longo do tempo, adaptando-se a uma das condições e regiões climáticas mais difíceis do planeta, o bioma Caatinga brasileiro.

Considerada uma importante ferramenta de inovação, a biomimética transforma a maneira de pensar e cria novas soluções: fazendo as coisas como a natureza, podemos mudar a maneira como cultivamos alimentos, produzimos materiais, geramos energia, curamos, armazenamos informações e fazemos negócios, mesmo sabendo que a biomimética não é simplesmente uma questão de copiar ou duplicar estruturas biológicas. É com base nesses princípios que imaginamos a possibilidade de buscar inspiração para reduzir problemas relacionados à escassez de água. Por estarem em uma região caracterizada por aridez climática, deficiência hídrica e imprevisibilidade das chuvas, as plantas xerófilas (cactos) evoluíram e se adaptaram, destacando-se por tolerar a escassez de água, resistir à seca e armazenar água de maneira eficiente.

A natureza biológica dos cactos nos mostra vários princípios, formas e mecanismos que podem ser aplicados para resolver problemas e pensar em novos produtos e tecnologias. É imprescindível a capacidade dessas plantas de desenvolver estratégias naturais para manter a vida em condições climáticas tão extremas como o calor e a insolação do semiárido nordestino, resultando em estratégias de coleta, armazenamento e manejo da água complementado por uma sistema de defesa estrutural contra predadores e clima natural.

Keyword: Biomimética. Semi-árido. Plantas Xerófilas. Armazenamento de água. Design de produto.

Introdução

Ao longo da história da humanidade, a natureza sempre foi uma grande fonte de inspiração para a criação de novas ferramentas. Os seres humanos observam e emulam a natureza há mais de três mil anos (Vincent, 2006). Através dessa imitação profunda e consciente da vida, surge a possibilidade de criar novas tecnologias, serviços, produtos, processos e sistemas.

Para sobreviver, nossos ancestrais foram forçados a criar lanças a partir de dentes de animais para caçar suas presas, imitando a técnica de caça eficaz de grandes predadores. Desde então, há muitos exemplos de pessoas que foram inspiradas pela natureza para resolver problemas, especialmente Leonardo Da Vinci no século XV. Ao observar o voo dos pássaros, percebeu que eles não dependiam tanto de bater as asas para voar, mas sim de como exploravam as correntes de ar e o vento. Com base em estudos de anatomia, Da Vinci propôs vários modelos de máquinas voadoras e, apesar de não ter conseguido construir e fazer essas invenções funcionarem, trouxe conceitos rudimentares de aerodinâmica que teriam um papel importante no desenvolvimento de aviões séculos depois.

Apesar desses achados, foi apenas no início dos anos 70 que o termo biomimética veio à tona como sinônimo de imitar modelos naturais. Esse termo ganhou nova visibilidade com a publicação do artigo *Nature Inspired Innovation*, no qual Benyus (1997) mostrou que a biomimética envolve aprender e imitar formas,

processos e ecossistemas testados em ambientes aperfeiçoados através da evolução, podendo ser aplicado para solucionar desafios técnicos e sociais de qualquer escala. Considerando essa perspectiva, a imitação biológica se torna uma estratégia interessante não apenas para os seres humanos mas também para a natureza.

A biomimética pode ser usada para imitar sistemas naturais complexos e transformá-los em produtos através do processo de analogia. Segundo Forniés & Berges-Muro (2014), uma analogia é a relação de similaridade entre elementos de dois eventos ou objetos, permitindo deduzir mentalmente o grau de conexão entre eles. O processo criativo por analogia biológica é estabelecido em relações de similaridade, onde é gerada uma imagem mental para conectar seres vivos que já resolveram esse problema. Para Vattam, Helms & Goel (2010), o crescimento do design com inspiração biológica é atribuído à necessidade cada vez mais crítica de desenvolvimento sustentável e ao reconhecimento de que a natureza pode ser uma excelente fonte de inovação.

Considerada uma importante ferramenta de design, a biomimética transforma a maneira de pensar e criar novas soluções: fazendo as coisas como a natureza, podemos mudar a maneira como cultivamos alimentos, produzimos materiais, geramos energia, curamos, armazenamos informações e fazemos negócios, mesmo sabendo que a biomimética não é simplesmente uma questão de copiar ou duplicar estruturas biológicas (Guo et al., 2011). É com base nesses princípios que imaginamos a possibilidade de buscar inspiração para reduzir problemas relacionados à escassez de água. Andrade (2014) afirma que ao longo da evolução os organismos vivos enfrentam desafios para sobreviver e, por esse motivo, são forçados a desenvolver evoluções adaptativas devido a fatores climáticos e ambientais. Essa luta pela sobrevivência e seleção natural também ocorre com os cactos (xerófilas) presentes no semiárido brasileiro.

Por estarem numa região caracterizada por aridez climática, deficiência de água e imprevisibilidade de precipitação, as plantas xerófilas (cactos) têm passado por evolução e adaptação para tolerar a escassez de água, resistir à seca e armazenar água eficientemente, influenciando sua fisiologia e aspectos metabólicos. Essas espécies são um grupo extremamente diverso, com um impressionante conjunto de estratégias adaptativas, evolutivas e ecológicas que lhes conferem uma grande capacidade de desenvolvimento e adaptação ao clima semiárido (Duque, 2004). De acordo com as conclusões de Alcoforado (2013), a natureza biológica dos cactos nos mostra vários princípios, formas e mecanismos que podem ser aplicados para resolver problemas e pensar em novos produtos e tecnologias. É imperativa a capacidade dessas plantas para desenvolver estratégias naturais para a manutenção da vida em condições climáticas tão extremas, como o calor e a insolação da região semiárida do Nordeste brasileiro, resultando em estratégias de coleta, armazenamento e gestão da água complementados por um sistema de defesa estrutural contra predadores e o clima natural. Existe atualmente uma convergência global em questões de recursos hídricos que visam a necessidade de construir alternativas para minimizar os impactos e desenvolver estratégias de adaptação diante das incertezas climáticas que caracterizam o mundo em constante mutação em que vivemos atualmente.

O semiárido brasileiro é o maior do mundo e possui uma área de 982.566 km², o que corresponde a 18, 2% do território nacional, 53% da região Nordeste e abrange 1.133 municípios. A população do semiárido é de cerca de 22 milhões de habitantes e faz parte da maior concentração da população rural no Brasil. Nos últimos anos, o país enfrentou inúmeros problemas relacionados à escassez de água, embora possua 12% da reserva mundial deste recurso. O região Nordeste do Brasil particularmente tem vindo a sofrer severamente com este problema, sendo o ano de 2013 um dos mais graves em termos de seca nos últimos 50 anos. Essa situação mostra como a população que vive nesta região valoriza esse recurso precioso e busca medidas adaptativas para conviver com essa realidade sem

causar danos aos recursos naturais. Mesmo com a falta de projectos relacionados à coleta e armazenamento de água, as pessoas que vivem nessa região precisam se reinventar todos os dias para sobreviver, aprendendo com as plantas a se adaptarem às condições climáticas e à seca (fig01).

O artigo tem como objetivo apresentar como a aplicação de princípios inspirados na natureza das plantas xerófilas da região semiárida brasileira pode influenciar a criação e o desenvolvimento de projetos para sistemas de armazenamento de água. O estudo analisa a forma biológica de como as espécies escolhidas (mandacaru, coroa-de-frade e palma forrageira) sobreviveram e evoluíram, adaptando-se a uma das condições climáticas mais difíceis do planeta, o bioma da Caatinga brasileira.

Metodologia

A técnica utilizada foi a pesquisa exploratória, que possui planejamento flexível, mas permite analisar o objeto de estudo sob vários ângulos e aspectos, geralmente envolvendo pesquisas bibliográfica (Cavalcante, 2012; Conti, 2017), conversas sobre experiências práticas com o problema e análise de exemplos que nos ajudem a entender o contexto estudado.

A partir daí, a pesquisa prosseguiu com as seguintes etapas:

1. **Classificação das amostras**
A coleta de dados sobre espécies de plantas xerófilas foi realizada no Insitudo do Semi-Árido (Brasil). Mais de 130 espécies de cactos e suculentas foram catalogados de maneira técnica e detalhada, mostrando desde sua origem (família e subfamílias), status de conservação, localização geográfica e formas de captação e reserva de água.
2. **Coleta e Caracterização de Amostras**
As espécies selecionadas para o estudo foram definidas a partir de suas características de armazenamento de água e características formais que variam enquanto estão hidratadas e desidratadas. As amostras de plantas xerófilas mais adequadas para a pesquisa devem ser plantas pequenas, jovens (com menos de 6 meses), pois possuem as mesmas estruturas das plantas adultas, mas têm vantagem de serem mais maleáveis quando cortadas. Com base nestes critérios as espécies escolhidas foram: (A) Mandacaru (*Cereus jamacaru*), (B) Palma forrageira (*Opuntia ficus*) e (C) Coroa-de-frade (*Melocactus*) (fig02).
3. **Preparação das amostras**
Após a coleta das plantas, foram feitos cortes longitudinais e transversais para extrair um bloco interno das plantas para análise. As amostras selecionadas foram colocadas em ambiente refrigerado para manter suas propriedades orgânicas (armazenadas em saco plástico e mantidas em geladeira comum, entre 5 e 6°C), onde permaneceram por dois dias até serem levadas ao Laboratório de Pesquisa em Botânica da Universidade Estadual da Paraíba (Brasil) (fig03).
4. **Testes de laboratório**
As amostras coletadas foram fatiadas usando um micrótomo, equipamento que permite obter cortes de espessura definida a partir de um material rígido. O micrótomo de deslizamento corta o material em cortes individuais, enquanto o rotativo possibilita formar uma "fita" com cortes sequenciais. Cada bloco de cada espécie selecionada foi fatiado com seções de 1 x 1,5 cm e 7 µm de espessura; as fatias foram coradas com azul de toluidina a 0,05% em citrato. As seções são aderidas às lâminas histológicas e, em seguida, colocadas em uma placa de aquecimento até que as seções sejam distendidas (translúcidas) e depois levadas ao forno para secar. Em seguida, foram tiradas fotografias microscópicas das estruturas internas das amostras.

5. **Identificando padrões visuais**
Na última etapa da pesquisa, as imagens obtidas pelo microscópio foram utilizadas para identificar padrões visuais que poderiam ser utilizados para projetar soluções estruturais e visuais. Para identificar estes padrões, procurou-se verificar a utilização de repetições formais onde grupos de células tinham formas aproximadas, sendo agrupadas ou formados módulos, que unidos, transformaram-se em um grupo independente.
6. **Analogias dos Padrões Visuais**
Rüthschilling (2008) relata que antes de definir um padrão visual, designers precisam se apropriar dos conceitos relacionados aos módulos e seus sistemas de repetição. Assim, chegamos a esboços estruturais com base em cada conjunto de imagens das espécies analisadas.

O Mandacaru gerou uma sequência de elementos em blocos de 3 módulos, com um elemento central retangular e lados angulares (fig04)

Na Palma Forrageira, os elementos repetitivos são agrupados em módulos de 5x5, com tamanho aproximadamente igual e em uma sequência repetitiva (fig05).

Na Coroa-de-frade é possível ver que existem duas formações repetitivas de elementos, uma com blocos em uma sequência retangular de 3 x 3 e, na outra, o arranjo de células em formato circular, semelhante à forma de um flor (fig 06).

Resultados

Com base na analogias das estruturas internas microscópicas das plantas, definiu-se que o padrão visual da coroa-de-frade seria utilizada por apresentar uma estrutura repetitiva e sequencial que pode ser replicada sem quaisquer alterações na sua forma. A partir da definição desse conceito de módulo, iniciamos a criação e o design das partes do sistema para coletar e armazenar água.

Com inspiração natural baseada nos princípios das plantas semiáridas e usando estudos formais e analógicos para criar modelos para armazenamento de água, acreditamos que é viável criar um sistema

simples que possa atender às demandas de água dos habitantes da região do semiárido brasileiro. A viabilidade do sistema depende exclusivamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda. O reservatório de água da chuva, sendo o principal componente do sistema, deve ser projetado de acordo com as necessidades do usuário e a disponibilidade local de chuva.

O sistema proposto consiste em módulos de plástico flexível, tubos de conexão e sistema de coleta usando calhas. A idéia é que a água da chuva possa ser drenada do telhado de uma casa para um filtro através das calhas, onde é direcionada para os módulos vazios no chão, fazendo-os encher. A água sai dos módulos através de uma torneira e é canalizada para irrigar as plantas em um sistema de gotejamento, resultando em grande economia de água, evitando a evaporação e o desperdício e ajudando a gerenciar as reservas disponíveis. O sistema é inspirado na troca de água por osmose entre as células da planta xerófila da espécie coroa -de- frade.

O sistema completo pode ser aplicado em casas rurais para ajudar pequenos agricultores a plantar e manter suas colheitas (fig07).

Conclusões

Este trabalho baseou-se em um estudo para investigar se as características funcionais das plantas xerófilas do semiárido poderiam ser aplicadas em um sistema de armazenamento de água, buscando alternativas conceituais para tornar sustentável a vida de quem vive na região rural. O estudo descreve como as espécies de plantas xerófilas podem desenvolver estratégias naturais de manutenção da vida em condições climáticas extremas, usando as raízes para absorver um pouco da água que o solo superficial e arenoso recebe da chuva, regulando o fluxo da água para o seu interior e evitando o desperdício.

Foi possível identificar a idade correta para a coleta das amostras; estabelecer as análises laboratoriais a serem realizadas; entender os procedimentos de preparação das amostras seguindo um protocolo detalhado; e o uso de equipamentos de laboratório e componentes químicos.

Como resultados, as características formais e funcionais das plantas xerófilas semiáridas foram aplicadas no conceito de um sistema de armazenamento de águas pluviais para fins de irrigação. O importante deste trabalho foi descobrir as riquezas da região semiárida, mostrando que mesmo nas situações mais difíceis é possível usar a criatividade e a inspiração para resolver problemas locais.

Referências

- ALCOFORADO, M. G., NASCIMENTO A.D., NEVES, A.F. (2013), A geometria da natureza: Um estudo da funcionalidade das formas biológicas para aplicação no design, in: "Revista Graphica" (13).
- BENNYUS, J.M. (1997), Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza, Pensamento-Cultrix Ltda, São Paulo.
- CAVALCANTE, A. (2015), Cactos do Semiárido do Brasil: (ler e colorir), in: INSA, Campina Grande, [online] available at http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf_bib.php?%20COD_ARQUIVO=17908, accessed: 15.09.2017.
- DUQUE, J.G. (2014), O Nordeste e as lavouras xerófilas, Fortaleza, p. 330.
- FORNIÉS, I.L., BERGES-MURO, L. (2011), Approach to biomimetic design. Learning and application, in: "Dyna", v. 81, n. 188, pp. 181-190.
- GUO, Z., LIU, W., SU, B.L. (2011), Superhydrophobic surfaces: from natural to biomimetic to functional, in: "Journal of Colloid and Interface Science", vol. 353, pp. 335-355.
- LACERDA, C. (2015), Design de superfície biomimética para aplicação em atividades desportivas, Universidade do Minho (Portugal), DSc. Thesis, Escola de Engenharia, p. 254.
- RÜTHSCHILLING, E.A. (2008), Design de Superfície, Editora da UFRGS, Porto Alegre.
- VATTAM, S.S., HELMS, M.E., GOEL, A.K. (2010), A content account of creative analogies in biologically inspired design, in: "Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing", vol. 24 (04), pp. 467-481.