



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE DESIGN
MESTRADO ACADÊMICO EM DESIGN**

WEDSCLEY OLIVEIRA DE MELO

BIOMIMÉTICA NO SEMIÁRIDO

Análise dos princípios funcionais das plantas xerófilas para aplicação
conceitual no design de sistema de armazenamento de água

CAMPINA GRANDE - PB

2019

WEDSCLEY OLIVEIRA DE MELO

BIOMIMÉTICA NO SEMIÁRIDO

Análise dos princípios funcionais das plantas xerófilas para aplicação conceitual no design de sistema de armazenamento de água

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Design na Universidade Federal de Campina Grande.
Área de concentração: Ergonomia, ambiente e processos.

Orientador: Prof. Dr. Itamar Ferreira da Silva

Linha de pesquisa: Ergonomia, Ambiente e Processos.

CAMPINA GRANDE - PB

2019

M528b

Melo, Wedsley Oliveira de.

Biomimética no Semiárido : análise dos princípios funcionais das plantas xerófilas para aplicação conceitual no design de sistema de armazenamento de água / Wedsley Oliveira de Melo. - Campina Grande, 2019.

105 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Itamar Ferreira da Silva.

Referências.

1. Biomimética. 2. Plantas Xerófilas. 3. Armazenamento de Água. 4. Design. I. Silva, Itamar Ferreira da. II. Título.

CDU 006:581.526.5 (043)

WEDSCLEY OLIVEIRA DE MELO

BIOMIMÉTICA NO SEMIÁRIDO

Análise dos princípios funcionais das plantas xerófilas para aplicação conceitual no design de sistema de armazenamento de água

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Design na Universidade Federal de Campina Grande. Área de concentração: Ergonomia, ambiente e processos.

Aprovado em 09, de Agosto, de 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Itamar Ferreira da Silva, Dr. – Orientador
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Pablo Marcel de Arruda Torres, Dr. – Examinador interno
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Manoel Guedes Alcoforado, Dr. – Examinador externo
Universidade Federal de Pernambuco

"O homem que tem ideias novas é um louco, até que essas ideias triunfem."

Marcelo Bielsa

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram nesta loucura): meus pais, irmãos, esposa, filhas, amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Primeiramente a Deus, por ter abençoado todo o caminho já percorrido e iluminar as próximas estradas a seguir.

A minha família, principalmente a meus pais, Péricles e Lucimery, pela inspiração constante em buscar o novo, e o apoio imediato nas decisões tomadas.

A minha esposa Suzana Kelisa, pelo amor, cuidado, atenção e orientação, direcionando sempre as melhores escolhas de minha vida e fazendo parte de descobertas maravilhosas ao longo de nossa caminhada.

Às filhas, Alice e Brenda, pelo carinho, afeto e por serem o motivo da minha inquietude e desejo de realizar sonhos e metas, sempre alcançadas.

A meu amigo e orientador, Dr. Itamar Ferreira da Silva, por acreditar e incentivar projetos desafiadores como o meu, e por ser um exemplo de pessoa por quem tenho admiração eterna.

Aos amigos da turma do mestrado 2016, que desde o início foram parte da criação do projeto, com ideias, sugestões e correções sempre que precisei de ajuda.

Aos docentes do PPGDesign / UFCG e a toda a equipe da UAD, que sempre foram solícitos e cordiais quando precisei resolver alguma pendência.

Às professoras, Dra. Ana Paula Lachia e Dra. Elimar Alves de Lima, pelo apoio técnico e orientação na área de anatomia vegetal, além da paciência em tirar as dúvidas relacionadas aos sistemas funcionais das espécies xerófilas.

Ao CNPq pelo apoio e incentivo à pesquisa, ao INSA/MCTIC por ceder toda a estrutura para que o projeto fosse desenvolvido e acompanhado por especialistas sempre colaborando quando necessário, a UEPB pela utilização do Laboratório de Pesquisa em Botânica, e a Unicamp-SP, por realizar as análises microscópicas do estudo.

MELO, Wedscley Oliveira de. **Biomimética no Semiárido: Análise dos princípios funcionais das plantas xerófilas para aplicação conceitual no design de sistema de armazenamento de água.** 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

RESUMO

A referida dissertação de mestrado apresenta uma investigação biomimética dos sistemas naturais das plantas xerófilas do Semiárido nordestino (Mandacaru, Palma forrageira e Coroa de frade), visando compreender as estratégias evolutivas que permitiram a sobrevivência das espécies aos longos períodos de estiagem, característicos da região, possibilitando, por analogia, aplicar o princípio adaptativo em um sistema conceitual de armazenamento de água. A metodologia empregada foi dividida em 3 fases: a primeira, composta pelo levantamento bibliográfico referente às características fisiológicas das plantas em relação a sua hidratação e desidratação, e pela visita ao cactário do INSA para a classificação, seleção e coleta das amostras das espécies; a segunda consistiu na preparação das amostras no CCBS (Centro de Ciências Biológicas e da Saúde) - UEPB e envio a UNICAMP-SP para obtenção de imagens ampliadas dos padrões visuais das células das plantas, e por fim, por analogia, o uso dos padrões na apresentação conceitual de um sistema de armazenamento de água. Como resultado final, verifica-se que as plantas xerófilas do Semiárido possuem características funcionais que podem servir como referências para a utilização em sistema de reserva de água.

Palavras-chave: Biomimética. Plantas Xerófilas. Armazenamento de água. Analogias. Design.

ABSTRACT

This present dissertation show a biomimetic investigation of the natural systems of xerophilous plants (Mandacaru, Palma forrageira and Coroa de frade), from northeastern semi-arid region, aiming to understand the evolutionary strategies that allowed the survival of the species to long periods of drought, which commonly occur in the region. Making it possible, by analogy, to apply the adaptive principle in a water storage system. The methodology used was divided into three phases: the first one, composed by a bibliographical survey on the physiological characteristics of the plants in relation to their hydration and dehydration, and the visit to the INSA cactario for the classification, selection and collection of the species; The second one consisted of the samples preparation in the Center of Biological Sciences and Health - CCBS - UEPB and sent to UNICAMP-SP to obtain expanded images of the visual patterns of the plants cells, and finally, by analogy, the use of these patterns to the conceptual presentation of a water storage system. As result, the semi-arid xerophilic plants have functional characteristics that can serve as references for use in water reserve system.

Keywords: Biomimetics. Xerophilous plants. Water storage. Analogies. Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. O primeiro registro do uso de um sonar na história	16
Figura 2. Desenho técnico da patente do Velcron®	17
Figura 3. Algumas espécies de cactos do Semiárido brasileiro.	18
Figura 4. Etapas da metodologia proposta pelo Biomimicry 3.8.....	26
Figura 5. Partindo do desafio para a natureza e da natureza para a solução	27
Figura 6. Modelo de analogias entre funções do produto e da natureza.....	28
Figura 7. Metodologia proposta por Kindlein (2002).....	29
Figura 8. Efeito lótus	30
Figura 9. Exemplo (a) de produto inspirado no besouro	31
Figura 10. Exemplo (b) de produto inspirado no besouro	32
Figura 11. Exemplo de funcionamento do Aquaweb	33
Figura 12. Lagarto de chifres, que inspirou a criação do biocultivador.....	34
Figura 13. Rede armada em funcionamento captando neblina	34
Figura 14. Ilustração do funcionamento	35
Figura 15. Exemplo de paisagem semiárida	36
Figura 16. Nova delimitação do Semiárido.....	37
Figura 17. Cisterna calçada.....	39
Figura 18. (A) cisterna de placas, (B) de tela de alambrado e de Polietileno (C)	40
Figura 19. Vala com lona (A); barragem com sangradouro (B); barragem subterrânea (C)	41
Figura 20. Ilustração de algumas espécies que habitam o Semiárido	43
Figura 21. Cactos em afloramento granítico.....	43
Figura 22. Cladódios suculentos da espécie Tacinga	44
Figura 23. Algumas espécies cactáceas e suas estruturas radiculares	45
Figura 24. Cladódios suculentos de uma jovem Tacinga	45
Figura 25. Detalhamento da abertura estomática	46
Figura 26. Variedade de suculentas da família Crassulaceae.....	47
Figura 27. Ilustração mostrando o processo da abertura estomática	48
Figura 28. Estômatos, funcionamento aberto e fechado	48
Figura 29. Caracterização da pesquisa.....	52
Figura 30. Etapas da pesquisa	53
Figura 31. Visão externa do Cactário Guimarães Duque (Sede do INSA)	54

Figura 32. Visão interna do Cactário Guimarães Duque (Sede do INSA)	54
Figura 33. Sede do INSA, Campina Grande, Paraíba	55
Figura 34. Espécies escolhidas para amostragem	56
Figura 35. Distribuição geográfica do Mandacaru no Nordeste do Brasil.....	59
Figura 36. Distribuição geográfica da Palma Forrageira no Nordeste do Brasil.....	60
Figura 37. Distribuição geográfica da Coroa de Frade no Nordeste do Brasil.	61
Figura 38. Transporte das seivas nas plantas.....	61
Figura 39. Trajetória da água percorrendo todo o interior da planta	63
Figura 40. Espécies separadas para envio ao laboratório da UEPB.....	64
Figura 41. Cortes longitudinais e transversais das espécies para extração.....	64
Figura 42. Fatiamento da amostra de palma, realizada no laboratório da UEPB.....	65
Figura 43. Amostras sendo submetidas ao vácuo.....	66
Figura 44. Desidratação em série etílica	67
Figura 45. Preparação para o emblocamento	67
Figura 46. Emblocamento nas formas de polietileno.....	68
Figura 47. Blocos montados prontos para análise microscópica.....	68
Figura 48. Micrótomo rotativo modelo Leica®.....	69
Figura 49. Ilustração do procedimento técnico para fatiamento	69
Figura 50. Fatiamento executado pelo micrótomo	70
Figura 51. Cortes sendo transferidos para a lâmina.....	70
Figura 52. Amostras sendo coradas para facilitar a observação no microscópio.....	71
Figura 53. Amostras sendo cobertas com a lamínula para ser fotografada	71
Figura 54. Fotografias das estruturas celulares internas do Mandacaru	72
Figura 55. Fotografias das estruturas celulares internas da Palma Forrageira	73
Figura 56. Fotografias das estruturas celulares internas da Coroa de Frade.....	74
Figura 57. Repetições de formas e agrupamentos celulares	75
Figura 58. Estudos baseados na composição celular do Mandacaru	76
Figura 59. Estudos baseados na composição celular da Palma Forrageira.....	77
Figura 60. Estudos baseados na composição celular da Coroa de Frade	78
Figura 61. Detalhe do funcionamento do sistema	79
Figura 62. Sequência do módulo em funcionamento.	80
Figura 63. Dimensionamento do módulo.....	80
Figura 64. Volume do módulo	81
Figura 65. Alguns exemplos de aplicação do ETFE	81

Figura 66. Bobinas sendo enroladas na máquina extrusora	83
Figura 67. Processo de encaixe do sistema.....	83
Figura 68. Módulos sanfonados acoplados a um sistema de irrigação	85
Figura 69. Funcionamento do sistema quando chove.....	86
Figura 70. Detalhamento de funcionamento do sistema	87

LISTA DE SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

ASA BRASIL – Articulação Semiárido Brasileiro

INSA – Instituto Nacional do Semiárido

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

CCBS – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

P1MC – Programa Um Milhão de Cisternas

IUCN – União Internacional para Conservação da Natureza

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

ETFE – Etileno Tetra Fluor Etileno

PVC – Policloreto de Vinila

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SUMÁRIO

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização	15
1.2 Problema da pesquisa	19
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo geral	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 JUSTIFICATIVA	20
1.5 Delimitação da pesquisa	20
1.6 Estrutura da dissertação	21
CAPÍTULO II REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 Biomimética	22
2.1.1 Métodos biomiméticos	24
2.1.2 Sistemas biomiméticos de captação e armazenamento de água	29
2.2 O Semiárido	35
2.3 Sistemas de captação e armazenamento de água	38
2.3.1 Cisternas	38
2.3.2 Barragem subterrânea	40
2.4 A vegetação xerófila do Semiárido	42
2.4.1 Adaptações das plantas para evitar transpiração excessiva	47
2.4.2 Mecanismos de Abertura e Fechamento Estomático	47
2.5 Analogias	49
2.6 Considerações finais do capítulo	50
CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS DA PESQUISA	52
3.1 Caracterização da pesquisa	52
3.2 Etapas da pesquisa	53
3.3 Detalhamento das fases e etapas	57

3.3.1 Fase A - Etapa 1 - Classificação das amostras	58
3.3.2 Fase A - Etapa 2 - Coleta e caracterização das amostras	58
3.3.3 Transporte de água	61
3.3.4 Fluxo de água e sais minerais	62
3.3.5 Fase B - Etapa 3 - Preparação das amostras	63
3.3.6. Fase B - Etapa 4 - Análise laboratorial: Obtenção das imagens das estruturas celulares	72
CAPÍTULO IV - RESULTADOS	75
4.1 Fase C - Etapa 5 - Identificação dos padrões visuais	75
4.2 Fase C - Etapa 6 - Aplicação em um conceito de sistema de armazenamento de água	79
a) Melhoramento técnico	80
b) Dimensionamento / Desenho Técnico	80
c) Capacidade	80
d) Material / Especificação Técnica	81
e) Compactação	82
f) Manutenção	82
g) Sistema de fabricação	82
h) Sistema de conexão	83
4.3 Aplicações biomiméticas	84
4.4 Simulação do conceito em uso	85
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	88
CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS	90
ANEXOS	96

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é apresentada uma explanação sobre como, através da observação da natureza, o homem, por analogias, vem desenvolvendo produtos inovadores a partir da aplicação das características estruturais, formais e funcionais presentes nos seres vivos. Este processo criativo é chamado de biomimética, que para alguns estudiosos consiste em uma nova ciência que irá revolucionar o modo como concebemos nossos artefatos.

1.1 Contextualização

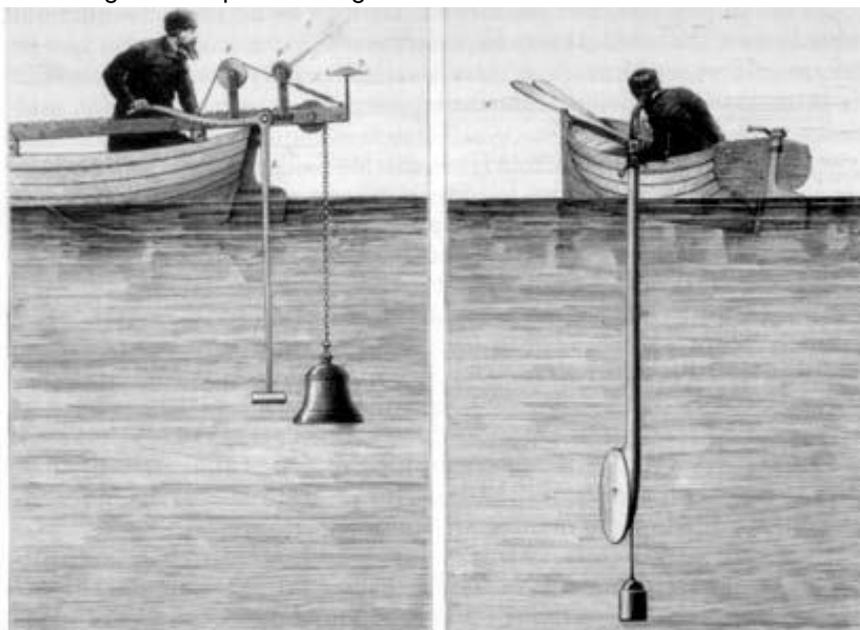
Quando se observa o planeta Terra e toda a sua complexidade, percebe-se que nele tudo funciona de forma equilibrada, coerente e sem desperdícios. Todos os sistemas e relações são coordenados harmonicamente para a coexistência das espécies. Uma fonte de inspiração que há bilhões de anos mostra como as coisas devem ser construídas de forma econômica e durável. A natureza é abundante em recursos e inspirações, e a partir da observação do seu funcionamento surgiu a “biomimética”, uma ciência que busca solucionar problemáticas do cotidiano do ser humano de forma sustentável e respeitosa, representando uma convivência equilibrada com o meio ambiente (ARRUDA, 2012). O seu objetivo é o estudo das estruturas biológicas e das suas funções, para replicar suas estratégias e soluções em diversas áreas como engenharia, biologia, *design*, administração, medicina e tecnologia.

É uma ciência que busca auxiliar o desenvolvimento de novos produtos e/ou tecnologias ao transpor num projeto características e funcionalidades presentes na natureza, com o intuito de solucionar um problema humano (LACERDA, 2015, p.13).

A natureza tem sido motivo de inspiração para o homem desde o período pré-histórico, quando ele se viu forçado a criar lanças a partir dos dentes dos animais para caçar suas presas, imitando a técnica eficaz de caça dos predadores de grande porte. Vincent (2006) descreve que o ser humano observa e imita a natureza há mais de três mil anos. Através dessa imitação profunda e consciente da vida, surge a possibilidade de criar novas tecnologias nas áreas de serviços, produtos, processos e sistemas. Desde então, são muitos os exemplos de pessoas que se guiaram pela natureza para

solucionar problemas, destacando-se Leonardo da Vinci¹ que, no século XV, por meio da observação do voo das aves, percebeu que os pássaros não dependiam tanto do bater das asas para voar, mas sim da forma como exploravam as correntes de ar e o vento. Com base nisso e no estudo da anatomia, propôs diversos modelos de máquinas voadoras e, apesar de não ter obtido sucesso em colocar essas invenções para funcionar, trouxe conceitos rudimentares de aerodinâmica que teriam papel importante no desenvolvimento do avião, séculos depois. Outra descoberta de Da Vinci inspirada na observação de animais foi o sonar (Figura 1), em 1490, baseando-se no comportamento de morcegos e golfinhos. Ele usou um tubo inserido em água para detectar a movimentação de navios, posicionando seu ouvido no tubo, técnica que seria posteriormente estudada após o desastre do Titanic em 1912, para encontrar objetos no fundo do mar e aperfeiçoada durante a Primeira Guerra Mundial em 1915, devido à necessidade de detectar submarinos.

Figura 1. O primeiro registro do uso de um sonar na história



Fonte: <http://sonarfisica.blogspot.com.br/2015/12/historia-do-sonar.html>

Talvez o exemplo mais conhecido relacionado ao biomimetismo seja a invenção do Velcron[®], a partir do funcionamento dos carrapichos. Em 1941, o engenheiro suíço George de Mestral percebeu que essas sementes ficavam sempre

¹ Foi um polímata nascido na Itália, uma das figuras mais importantes do Renascimento, que se destacou como cientista, matemático, engenheiro, inventor, anatomista, pintor, escultor, arquiteto, botânico, poeta e músico. É ainda conhecido como o precursor da aviação e da balística.

Fonte: <https://www.cultseraridades.com.br/leonardo-da-vinci/>

presas ao pelo do seu cão ao retornar das caçadas que faziam pelas florestas. Quando as observou no microscópio, ele notou a estrutura das garras que aderiam no pelo do cachorro e a imitou na criação do Velcron®.

Figura 2. Desenho técnico da patente do Velcron®



Fonte: <http://ip-patents.blogspot.com.br/2007/05/patentes-famosas-velcro.html>

Apesar destas descobertas, somente no início dos anos 70 o termo biomimetismo ficou em evidência como sinônimo de imitação de modelos naturais. Já em 1997, ganhou nova visibilidade com a publicação do artigo científico “*Nature Inspired Innovation*” por Benyus², no qual a autora mostrou que a biomimética envolve a aprendizagem e a imitação de formas, processos e ecossistemas testados pelo ambiente e aperfeiçoados através da evolução. Ela pode ser aplicada para resolver desafios técnicos e sociais de qualquer escala, e ao considerar esta perspectiva, a imitação biológica torna-se uma estratégia benéfica não só para o ser humano, como também para a natureza.

Tomando como exemplo o Velcron® e o voo dos pássaros, tem-se uma ideia da abrangência da biomimética, que pode ser utilizada para imitar sistemas naturais complexos, transformando-os em produtos, através do processo de analogia. Pela analogia, é possível verificar relações frequentes com a natureza e encontrar soluções de concepção. Para Forniés (2014), analogia é a relação de semelhança entre elementos de dois eventos ou objetos, permitindo deduzir mentalmente o grau de conexão entre esses eventos ou objetos. O processo criativo por analogia biológica

² Janine M. Benyus é uma escritora americana de ciências naturais, consultora de inovação e autora de seis livros sobre biomimética, incluindo “*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*”. Neste livro, ela desenvolve a tese básica de que os seres humanos devem imitar conscientemente o gênio da natureza em seus projetos.

está estabelecido na busca da relação de similaridade, onde uma imagem mental é gerada para resolução de problemas que interligam seres vivos que já resolveram este problema. Para Vattam, Helms & Goel (2010), o crescimento do design de inspiração biológica é atribuído à necessidade cada vez mais crítica de desenvolvimento sustentável e ao reconhecimento de que a natureza pode ser excelente fonte de inovação.

Andrade (2014) afirma que, ao longo da evolução, organismos vivos enfrentam desafios para sobreviver, e, por isso, são forçados a se adaptar em decorrência de fatores climáticos e ambientais. Essa disputa pela sobrevivência e seleção natural também acontece com as plantas cactáceas (xerófilas), presentes no Semiárido brasileiro³. Por estarem em uma região árida, com deficiência hídrica e imprevisibilidade de chuvas, evoluíram e adaptaram-se, destacando-se por resistirem à seca e possuírem capacidade de armazenar água de forma eficiente, características que influenciam diretamente sua fisiologia e metabolismo (DUQUE, 2004). Essas espécies constituem um grupo extremamente diversificado, com um impressionante conjunto de estratégias evolutivas e ecológicas que lhes conferem uma grande capacidade de adaptação ao clima Semiárido (DUQUE, 2004).

Figura 3. Algumas espécies de cactos do Semiárido brasileiro. (A) Mandacaru adulto (B) Frutos do Mandacaru, (C) Coroa de Frade e (D) Facheiro



Fonte: www.insa.gov.br

Segundo as conclusões de Alcoforado (2015), a natureza biológica das cactáceas (Figura 3) apresenta diversos princípios, formas e mecanismos que podem ser aplicados à solução de problemas projetuais e concepção de novos produtos e

³ Região que ocupa 18,2% (982.566 Km²) do território nacional, abrangendo mais de 20% dos municípios brasileiros (1.135) e abrigando cerca de 11,84% da população do país. Mais de 23,8 milhões de brasileiros/as vivem na região, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014).

tecnologias. Seu maior objeto de análise é a capacidade de desenvolver estratégias naturais para manutenção da vida em condições climáticas tão extremas de calor e insolação como as do clima do sertão nordestino, desenvolvendo um sistema completo de captação, armazenamento e manutenção / gerenciamento da água, complementado por um sistema estrutural de defesa contra predadores e intempéries naturais.

1.2 Problema da pesquisa

Atualmente, o homem do campo se utiliza de diversos sistemas de armazenamento de água para poder sobrepujar as adversidades dos períodos de estiagem. Todavia, as estruturas são concebidas sem levar em consideração os princípios evolutivos das plantas da região que se colapsaram à escassez de água.

Assim, esta pesquisa se propõe a investigar as características funcionais das plantas xerófilas do Semiárido e verificar possibilidades de aplicação dessas descobertas na melhoria da eficiência dos sistemas de armazenamento de água, por analogia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar os princípios funcionais das plantas xerófilas do Semiárido nordestino em relação ao comportamento fisiológico de uso e retenção de água, e, através da identificação dessas características, transpor os resultados para aplicações em sistema de armazenamento hídrico.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Classificar as espécies de plantas xerófilas do Semiárido nordestino, quanto às suas características funcionais relacionadas ao uso e retenção de água;
- b) Analisar as formas de armazenamento de água pelas espécies estudadas;
- c) Identificar suas estruturas internas de distribuição de água;
- d) Elaborar analogias funcionais para aplicações em sistema de armazenamento de água;

1.4 JUSTIFICATIVA

O aumento da preocupação ambiental tem feito os setores da economia e produção industrial pensarem sobre o enorme impacto gerado por suas atividades ao meio ambiente. Essas mudanças se expressam de diversas formas, porém existe uma convergência global quanto aos problemas relativos aos recursos hídricos que falam da necessidade de construir, coletivamente, instrumentos de gestão para minimizar os impactos e elaborar estratégias de adaptação frente às incertezas climáticas que caracterizam este mundo em mudança. Profissionais que trabalham no desenvolvimento de produtos buscam, cada vez mais, aprimorar seus resultados através de soluções inovadoras que reduzam custos, tragam satisfação aos clientes e proporcionem experiências sustentáveis.

Os estudos biomiméticos possibilitam encontrar na natureza uma infinidade de princípios que podem ser utilizados para o desenvolvimento de produtos inovadores, a partir da identificação dos seus sistemas funcionais. Esta pesquisa se justifica pela falta de estudos biomiméticos como um todo, principalmente em se tratando das características fisiológicas das plantas cactáceas e sua capacidade de reter água nos períodos de escassez hídrica das regiões onde se localizam. Outro ponto em questão consiste no potencial evolutivo dos seres vivos em ambientes de clima extremo, apresentando-se como referencial para pesquisas voltadas à biomimética.

Também se verifica a necessidade de fortalecimento de pesquisas que promovam a multidisciplinaridade através da integração de áreas distintas de conhecimento que possam convergir para um objetivo comum, a partir do estudo biomimético.

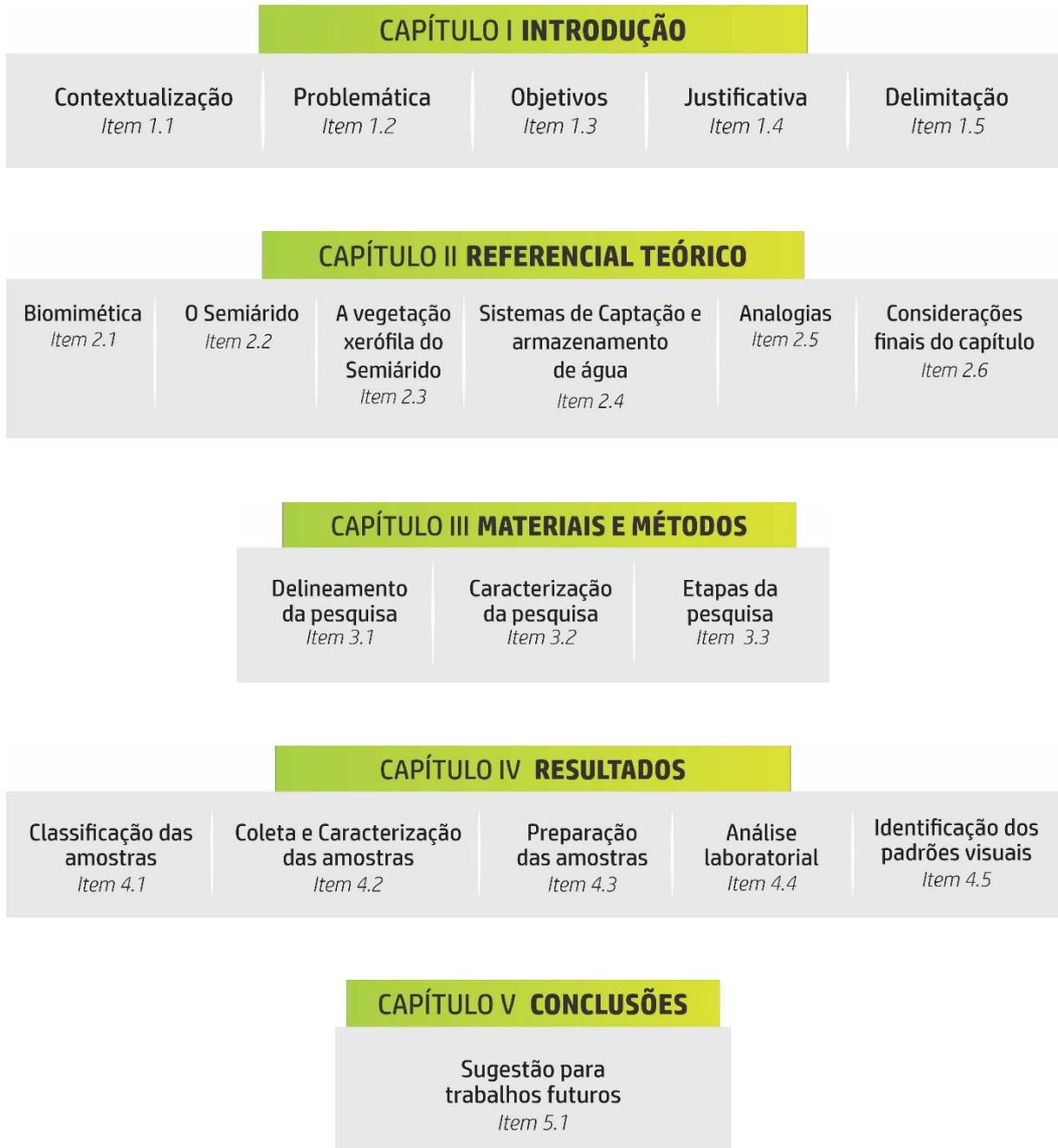
Por fim, tem-se a necessidade de fomentar pesquisas com impacto social, criando a possibilidade de disseminar os resultados para as camadas menos favorecidas da sociedade.

1.5 Delimitação da pesquisa

- Área: Biomimética;
- Local: Campina Grande, Paraíba, Brasil;

- Objeto do estudo: Espécies de plantas xerófilas do Semiárido brasileiro, selecionadas pela forma como captam e reservam água.

1.6 Estrutura da dissertação



CAPÍTULO II REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os temas relacionados à revisão de literatura para a pesquisa: como surgiram, como se desenvolveram, como se transformaram ao longo do tempo e como estão no contexto atual, a biomimética e seus métodos, o Semiárido, e as plantas xerófilas, e ainda, cases de sucesso relacionados à captação e armazenamento de água.

2.1 Biomimética

O termo biomimética deriva da combinação das palavras gregas “*bíos*”, que significa vida, e “*mímesis*”, imitação. É uma área da ciência que estuda as estruturas biológicas e suas funções, procurando aprender com a natureza e utilizar esse conhecimento em diferentes campos para o desenvolvimento de soluções para os problemas humanos. Antes do surgimento e expansão da biomimética, os estudos relacionados às ciências naturais e suas inspirações eram realizados pela biônica, uma disciplina que originou as aplicações de conceitos baseados em características, sistemas e padrões da natureza no desenvolvimento de produtos inovadores (KINDLEIN JÚNIOR; GUANABARA, 2005).

Segundo Arruda (2018), esse termo foi oficialmente apresentado em 1960 em um Simpósio nos Estados Unidos, promovido pelas Forças Aéreas, quando foi utilizado pelo engenheiro e major *Jack. E. Stelle*, que o definiu como: “ciência dos sistemas cujo funcionamento se baseia em sistemas naturais, ou que apresentam analogias com estes”.

Tanto a biônica como a biomimética estudam os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos, formais etc.) para aplicação em soluções das mais diversas áreas como: ciência, tecnologia, arquitetura, arte, design, engenharia, medicina, e etc. A sua aplicação propõe soluções simples e econômicas, com base nas concepções naturalistas e na elaboração de produtos funcionalmente viáveis e adequados estruturalmente.

A biomimética é a ciência que utiliza a natureza como medida, como modelo, e como mentora, valorizando e observando a natureza de um novo ponto de vista, elucidando não o que se pode extrair dela, mas o que se pode aprender com ela (BENYUS, 1997, p.105)

A biomimética se baseia na ideia de que a natureza, imaginativa por necessidade, já solucionou muitos dos problemas que surgiram desde o início dos tempos, e o que não conseguiu transformou em fóssil. A natureza, há milhões de anos, nos oferece inúmeros modelos de sistemas naturais que, se aplicados de forma eficiente, podem proporcionar enormes melhorias aos processos de concepção de produtos, como também ao bem-estar humano. Assim como a evolução é constante nos sistemas naturais, existe uma tendência atual de que o mundo está passando por mudanças em vários setores, e o homem, como criador, está buscando se conectar com as raízes do passado para gerar soluções inovadoras.

Detanico (2011) sugere que a inspiração natural tem gerado muitas invenções ao longo do tempo e possibilitado uma enorme variedade de resultados, mas os designers que procuram usar a biomimética para criar projetos mais sustentáveis devem se esforçar para emular lições biológicas em três níveis – forma, processo e ecossistema. Para isto, é preciso não somente um banco de dados de investigação básica, mas também um conhecimento prévio da área que será explorada, dos princípios que determinam as formas na natureza e de uma metodologia de aproximação do fenômeno natural. Dessa forma, é mais eficaz atingir as soluções esperadas em termos de desempenho sustentável.

a) Forma – O primeiro nível está em analisar a forma.

b) Processo – O segundo nível de biomimética centra-se em avaliar processos biológicos; mais especificamente, como a natureza fabrica.

c) Ecossistema – Mesmo emulando tanto a forma como o processo, o resultado do desenvolvimento de um produto pode não ter o impacto esperado. O projeto às vezes pode não ter eficácia em termos de como ele se encaixa dentro do ecossistema maior. Na Terra, todos os organismos fazem parte de um bioma, parte da biosfera, e para que todos funcionem em prosperidade, é necessário que a biosfera esteja em harmonia.

Se o objetivo é estudar organismos vivos, compará-los e gerar informações e conceitos baseados nesses estudos, Lacerda (2015) afirma que, em alguns projetos de design biomimético, as inspirações surgem de diferentes mimetismos, de um mesmo organismo ou de um diferente. No desenvolvimento de novos produtos em design, com base no mimetismo natural, tem-se normalmente em conta as necessidades de resolver um problema de acordo com a sua funcionalidade, o que se

traduz na procura da resolução para um problema de acordo com a imitação, quer de um único ser, mais de um ser ou sistema.

Para Benyus (1997), o objetivo da biomimética não é criar uma réplica exata de uma forma, processo ou ecossistema, mas, sim, derivar princípios de design da biologia e usar esses princípios como estímulo à criação.

2.1.1 Métodos biomiméticos

Com relação às analogias pela natureza, esse é um processo metodológico que pode ser observado através das funcionalidades ou estética das espécies. Em um projeto de design biomimético, pode se levar em consideração a forma como o projeto foi idealizado através do mimetismo de um sistema ou ser. Deste modo, consideramos um modelo biomimético (SORANSO, 2012). Já para Detanico et al (2010), na capacidade humana de criar coisas novas, pode-se encontrar soluções orientadas para o projeto de produtos, soluções estas consideradas satisfatórias e aplicáveis a partir de uma analogia direta daquilo que a natureza tem a oferecer ao homem.

Huang (2016) reconhece que os projetos de inspiração biológica geram produtos finais em sintonia com as leis naturais, ou seja, se a inspiração vem dos sistemas biológicos, os produtos resultantes dessa investigação são geralmente desenvolvidos para funcionarem semelhantes aos sistemas naturais, sem excessos nem desperdícios de energia. No entanto, ao projetar produtos com design biologicamente inspirado, os designers devem entender como usar princípios biológicos complexos em seus projetos. A maioria das pesquisas em biologia inspirada emula mecanismos desejados encontrados na natureza e os mapeia para a engenharia. Porém, em alguns exemplos, mostram claramente que a biomimética não é simplesmente uma questão de copiar ou duplicar estruturas biológicas (GUO et al., 2011).

Para Vincent (2006), em seu artigo "*Biomimetics: Sua Prática e Teoria*", nenhuma abordagem geral foi ainda desenvolvida para a biomimética. Segundo o autor, esse é um processo em que designers e engenheiros necessitam de muitos experimentos, testando vários sistemas biológicos como potenciais protótipos e tentando fazer versões adaptadas dos dispositivos biomiméticos que se pretende criar. Além disso, a transferência de um conceito ou mecanismo de vida para sistemas

não-vivos não é trivial. Uma réplica simples e direta do protótipo biológico raramente é bem-sucedida, mesmo que seja possível com a tecnologia atual.

O autor aborda que estudos relacionados a processos metodológicos da biônica começaram a partir da década de 50. Até então, a transferência de idéias e analogias da biologia para a tecnologia acontecia baseada apenas por métodos empíricos. A inspiração que a natureza providenciava no passado era simplesmente utilizada no *design* decorativo da arquitetura, diferindo da atualidade, cuja inspiração é utilizada em novos sistemas estruturais. Hoje em dia, já é possível aproximar as estruturas de engenharia às estruturas biológicas, mas, para isso, foi necessário um *start* inicial relacionado à metodologia.

Assim surgiu, na Rússia, um sistema de resolução de problemas particularmente bem sucedido, chamado TRIZ, o acrônimo de *Teorija Reshenija Izobretatel'skih Zadach* (traduzido como "Teoria da Solução de Problemas Inventivos"). O TRIZ é uma coleção de ferramentas e técnicas, desenvolvidas por Genrich Altshuller⁴, que estabelece uma aprofundada definição de um problema em nível funcional para, em seguida, fornecer indicadores precisos para soluções bem sucedidas e, muitas vezes, altamente inovadoras inclusive em outros campos de conhecimento. É um método importante por identificar e transferir funções, mecanismos e princípios da natureza para a engenharia. O método serviu como ponto de partida para possíveis analogias funcionais.

Segundo Camargo (2014), este método foi criado com intenção de transferir analogias para campos tecnológicos semelhantes, no caso (engenharia– engenharia). Então, Vincent (2006) propôs um ajuste no método para utilização biomimética (biologia - engenharia), criando assim uma matriz chamada BioTRIZ, derivada da matriz original. Lacerda (2015) caracteriza o BioTRIZ como sendo um conjunto de informações similares ao sistema original TRIZ, o qual se baseia na economia energética, através de simulações, para validação dos dados do projeto de design. Neste mesmo contexto, Gruber (2013) destaca que a biomimética é um método de trabalho que envolve abordagens transdisciplinares. Para que se obtenham resultados

⁴ Inventor e autor de ficção científica soviético, jornalista e escritor. Ele é mais notável pela criação da Teoria da Solução de Problemas Inventiva, mais conhecida pelo acrônimo TRIZ da Rússia, 1946 (Uhlmann, Günter Wilhelm. O Sistemismo a emergência de uma Teoria Geral dos Sistemas. Teoria Geral dos Sistemas. São Paulo, 2002. 21p)

concretos, deve se assegurar uma comunicação adequada entre as diversas áreas envolvidas.

Alcoforado (2015) explica que um dos aspectos mais difíceis nesse processo é criar uma analogia entre o que está se descobrindo na natureza com a possibilidade de associação para a solução de problemas de projetos existentes. Nesse sentido, Mak & Shu (2004) buscam, na sua investigação sobre abstrações da natureza e analogia com o design, apresentar um método para sua efetiva utilização. As categorias de abstrações descritas por eles são:

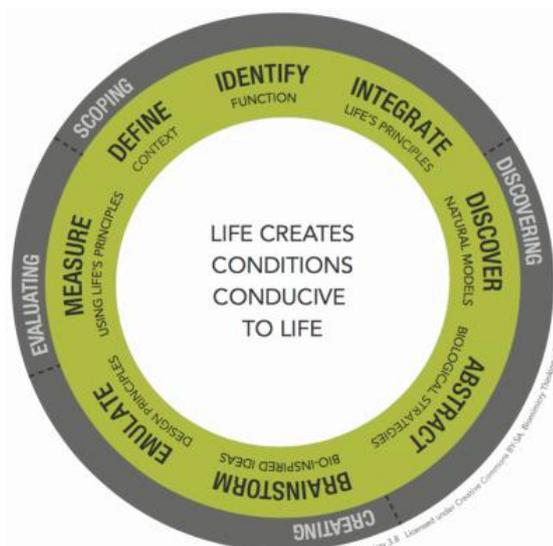
a) Formais: investiga as formas da natureza, porque elas existem e como elas funcionam;

b) Comportamentais: Descrevem as formas biológicas e seus processos correspondentes, o que desperta atenção, o modo como acontecem as ações e como elas são realizadas;

c) Princípios: Essa, a principal categoria, descreve os fenômenos que apresentam os princípios e as reações por trás de um fenômeno particular da natureza.

Praticamente a maioria das formas de analogias se empenha em traduzir o mundo natural e contribuir na decodificação de geometrias, funcionamentos e busca, dentre outros aspectos, por um melhor aproveitamento energético e de material, conservando assim os princípios da Biomimética (Figura 4).

Figura 4. Etapas da metodologia proposta pelo Biomimicry 3.8.



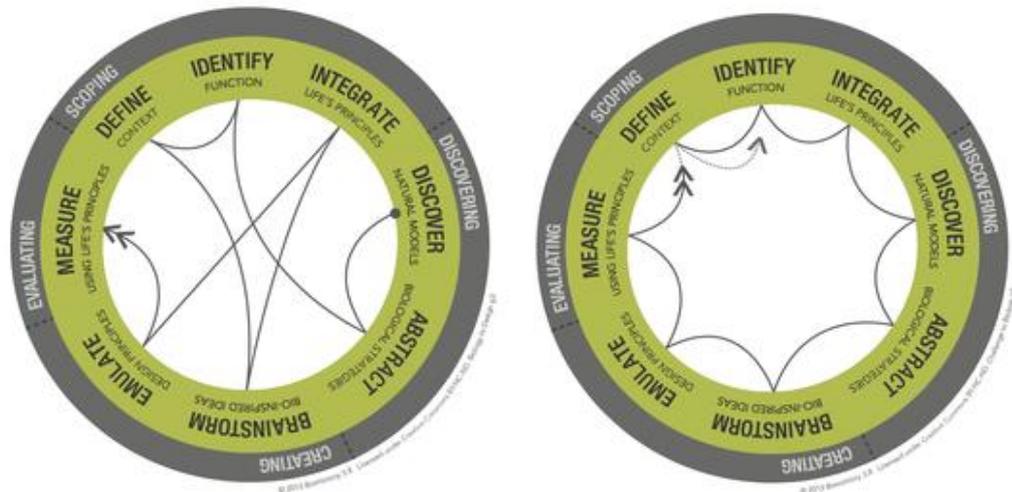
Fonte: <http://www.biomimetica.com.br/metodologia--ferramentas.html>

Segundo o Biomimicry 3.8 (BIOMIMICRY, 2019), que funciona como uma rede de consultoria de inspiração biológica para treinamento profissional e solução de problemas inspirados na natureza, a metodologia que a biomimética propõe para acessar o "*open-source innovation*" que a natureza nos oferece consiste em 4 etapas:

- a) Escopo: Onde será definida a função que se pretende que o design execute, o contexto onde essa função será executada;
- b) Descoberta: Onde se buscam modelos naturais que executam essa função e se abstraem os princípios de design encontrados para adequá-los aos desafios;
- c) Criação: Onde engenheiros e designers partem dos princípios de design encontrados para gerar protótipos;
- d) Avaliação: onde se aplicam os Princípios da Vida para identificar oportunidades de melhoria nas soluções encontradas.

Essa mesma metodologia pode ser utilizada alterando a sequência das suas etapas, caso o ponto de partida seja buscar soluções na natureza, ou se ocorrer o inverso, partindo das descobertas feitas antes na natureza para em seguida gerar soluções aplicadas.

Figura 5. Partindo do desafio para a natureza e da natureza para a solução



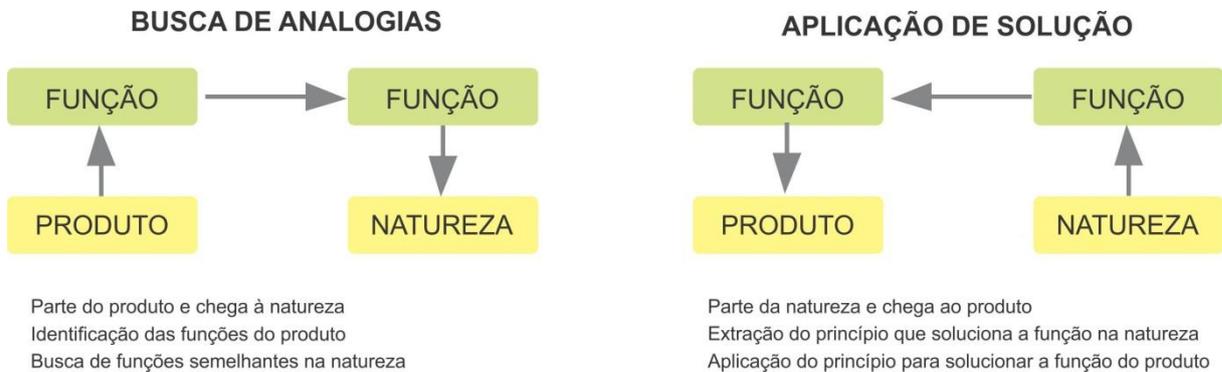
Fonte: <http://www.biomimetica.com.br/metodologia--ferramentas.html>

Com relação aos "Princípios da Vida" citados, esses se referem às lições de design que a natureza oferece. Tratam-se dos padrões que se podem observar ao examinar as espécies que sobreviveram e prosperaram no planeta.

Detanico (2011) apresenta alguns caminhos possíveis para desenvolver soluções baseadas na natureza procurando facilitar o trabalho de equipes

multidisciplinares, já que o processo envolve participação de várias expertises para que os resultados sejam satisfatórios (Figura 6).

Figura 6. Modelo de analogias entre funções do produto e da natureza



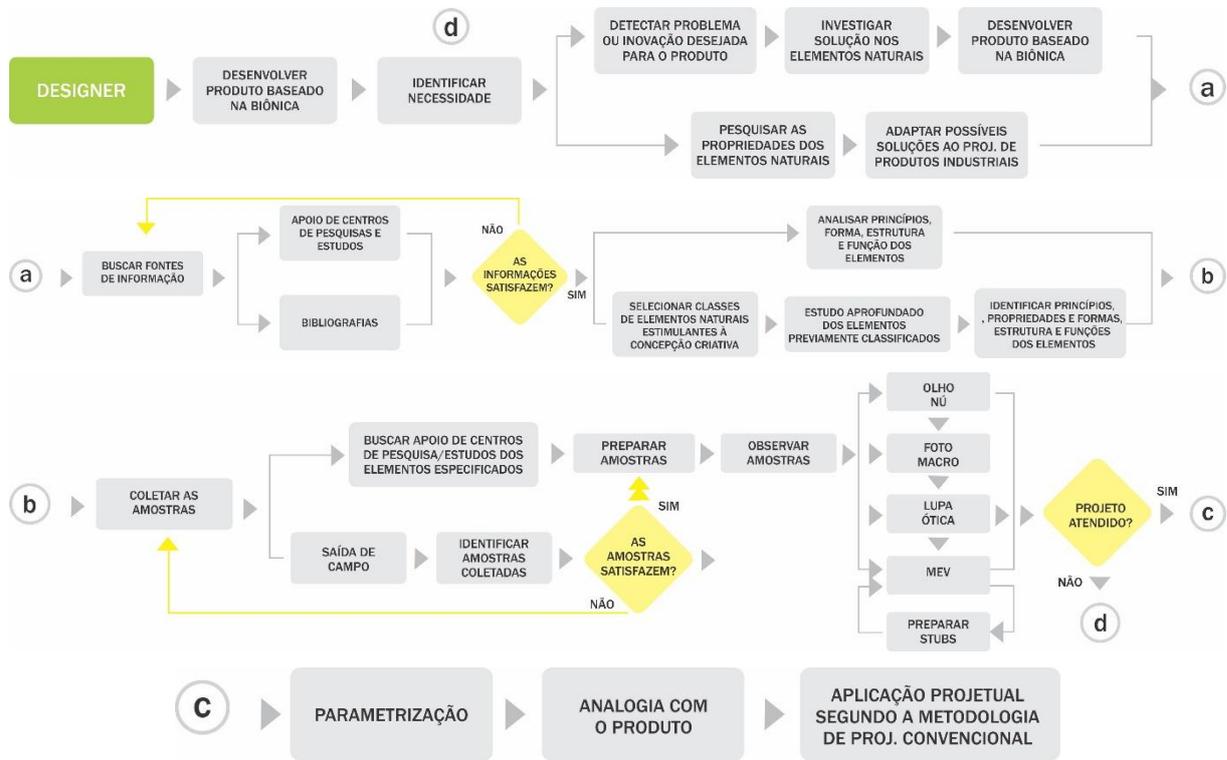
Fonte: DETANICO (2011).

Kindlein et al. (2002), em seu estudo para o NdSM (*Núcleo de Design e Solução de Materiais*) intitulado “*Proposta de uma metodologia para o desenvolvimento de produtos baseados no estudo da biônica*”, desenvolveu uma metodologia onde indica que, para que os estudos biomiméticos obtenham resultados eficientes, o designer precisa seguir um método para orientar e capacitar esse estudo (Figura 7).

Desta forma, a inserção desta metodologia permite a organização de etapas fundamentais que facilitam o andamento do estudo, proporcionando uma maneira lógica de agir. Conseqüentemente, os autores sugerem que etapas sejam adotadas para estudos, tendo como as principais: a seleção de amostra, identificação da necessidade, preparação do problema e o selecionamento de amostras e das fontes de informação.

Com a ajuda de um microscópio, as amostras podem ser ampliadas para a visualização de detalhes que não seriam visíveis a olho nu. Em seguida, seriam realizadas analogias com o produto e a amostra coletada onde será preciso entender a função, a morfologia e a estrutura do elemento como também a viabilidade de aplicação de seu produto. Concluindo essas etapas, o produto poderá ser projetado.

Figura 7. Metodologia proposta por Kindlein (2002)



Fonte: Adaptado de Kindlein (2002)

Detanico (2010), em seu artigo “*Biomimética como Método Criativo para o Projeto de Produto*”, conclui que a indústria atual busca um constante aprimoramento dos produtos para concorrer com a competitividade do mercado, e, para que esse objetivo seja alcançado, faz-se cada vez mais necessário a integração de conceitos como: funcionalidade, estética e economia (sustentabilidade). A autora afirma que não é suficiente apenas conhecê-los, há que aplicá-los, de forma que se tornem de fato uma ferramenta de auxílio ao designer durante o processo de geração de alternativas para o projeto de produto. Wahl (2006) também indica que soluções sustentáveis requerem integração transdisciplinar de múltiplas bases de conhecimento, e o designer deve desempenhar o papel de integrador e facilitador neste processo.

2.1.2 Sistemas biomiméticos de captação e armazenamento de água

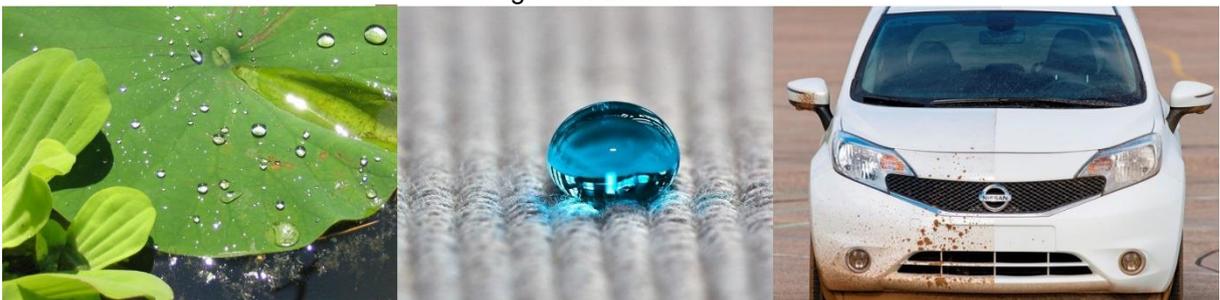
Com base na imitação natural e no uso de analogias como forma de gerar sistemas, produtos ou processos, diversos exemplos e casos de sucesso já foram

apresentados por pesquisadores e empresas que visam sempre o melhor aproveitamento energético e de material, mantendo os princípios da Biomimética.

a) Efeito Lótus – Superfícies autolimpantes

O Efeito Lótus, ou efeito de autolimpeza, é o mais estudado, o mais aplicado, e aquele com maior importância na publicação científica. A pesquisa teve início na década de 70, quando o botânico alemão Wilhelm Barthlott, da Universidade de Bonn, percebeu que, mesmo localizada em lagos bastante poluídos e com as outras plantas ao redor, somente a flor de lótus se mantinha com sua superfície sempre limpa. O botânico então analisou a planta e descobriu que o segredo estava nas micro e nanoestruturas cerosas de sua superfície, que devido à disposição e ao ângulo de contato entre elas, os líquidos que eram depositados formavam gotas que rolavam, levando consigo toda a sujeira encontrada na sua superfície. Anos mais tarde, além da cosmetologia, a patente de Barthlott seria aplicada por uma pequena empresa de tintas de Atlanta, onde foram recriadas as microssaliências da flor de lótus, e o produto resultante da pesquisa repele a água e resiste a manchas durante décadas. Este desenvolvimento e consequente midiáticação garantiram à biomimética uma maior validação dos seus conceitos e o seu conhecimento público (LACERDA, 2015).

Figura 8. Efeito lótus



Fonte: <https://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/>

Baseados nesses princípios, diversas soluções estão sendo desenvolvidas pela indústria para a aplicação em tecidos, carenagens metálicas, para-brisas de aviões e faróis de automóveis.

b) Dew Bank Bottle - Colhendo Nevoeiro do Deserto

Outro caso relacionado a uso da água e seus princípios físicos é o do besouro da Namíbia. Ele se inclina contra o vento e, enquanto a neblina se condensa em sua superfície, ranhuras em sua carapaça absorvem gotículas de água, que então correm para baixo das calhas em direção à sua boca. Assim foi criado o "*Dew Bank Bottle*", imitando o sistema de coleta de água do besouro. O orvalho da manhã se condensa e o transmite para uma garrafa, que possui um bico para beber (BESOURO..., 2012).

Figura 9. Exemplo (a) de produto inspirado no besouro



Fonte: <https://www.bloomberg.com>

c) Water Factory – Captação de água de chuva

A *Water Factory* imita o método de captação usado pelo besouro do deserto da Namíbia. Um filme plástico transparente na parte superior do equipamento tem dois tipos diferentes de texturas hidrofílicas em sua superfície para aumentar a área de contato entre o ar e o filme. Com a combinação de dois tipos de texturas e convecção de ar gerada por um ventilador solar, a umidade do ar se condensa em gotas no ponto final hidrofílico convexo e é finalmente reunida nas paredes internas e externas dos coletores de água através do sulco hidrofóbico. O sistema não apenas reúne água da chuva e fornece água potável através do dispositivo de filtragem no meio; também pode coletar a água que se evapora da areia do deserto, usando o filme plástico transparente em sua parte inferior. O mecanismo tem uma estrutura dobrável e os dois dispositivos de coleta de água (superior e inferior) são compostos de arame altamente elástico e filme plástico (BEATLE BIOMIMICRY, 2017).

Figura 10. Exemplo (b) de produto inspirado no besouro

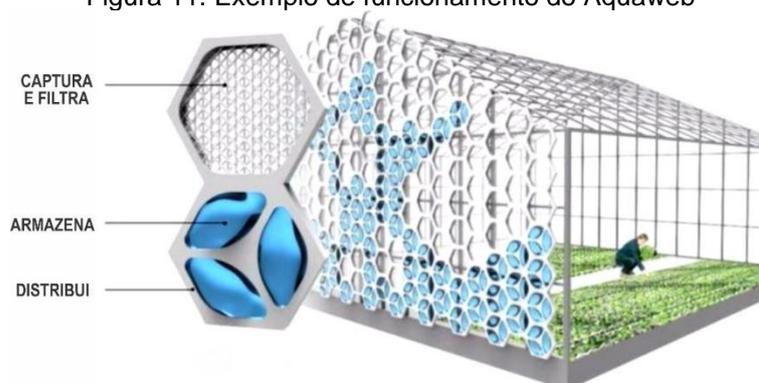


Fonte: <http://www.yankodesign.com/2015/09/09/beetle-biomimicry/>

d) Aquaweb – Captação e armazenamento de água

O *AquaWeb* incorpora lições sobre como a natureza captura, armazena e distribui água em um design inovador que permite que as fazendas urbanas alimentem populações crescentes. Seu design combina várias ideias agrupadas. Os mecanismos de captação de água são inspirados em teias de aranha de tecelagem, que são "projetadas" para coletar neblina do ar; os conceitos de armazenamento imitam as abordagens utilizadas por plantas suculentas tolerantes à seca (como a planta de gelo cristalino) para manter a água; os pesquisadores estudaram as formas como alguns fungos de micorrizas, como o cogumelo de vaca *Jersey*, que distribuem água para toda a estrutura da planta (Figura 11). Eles também usaram abelhas como inspiração: cada módulo do sistema é moldado como um hexágono, como uma estrutura de colmeia, podendo ser empilhados juntos, dependendo da aplicação necessária. O resultado, além de funcional e esteticamente atraente, é resiliente e um excelente exemplo de design biomimético regenerativo (NEXTLOOP..., 2017)

Figura 11. Exemplo de funcionamento do Aquaweb

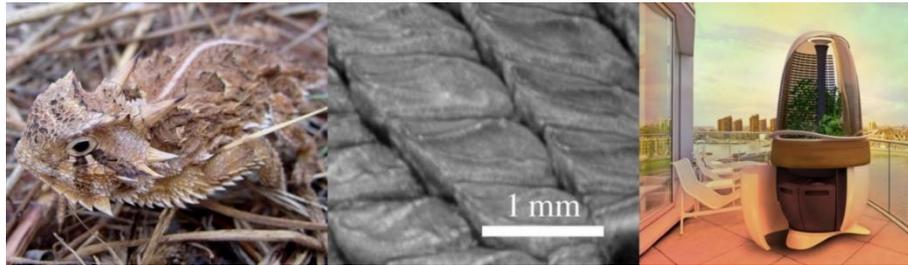


Fonte: <https://www.designindaba.com/articles/creative-work/nexloop-looks-nature-create-remarkable-water-generator>

e) Biocultivador para apartamentos

Uma equipe de designers e engenheiros da Universidade de Zvolen, na Eslováquia, criou um conceito de biocultivador para sacadas de apartamentos, capaz de coletar chuva e umidade do ar. O usuário pode manter verduras orgânicas ou temperos no biocultivador, sem perder as plantas quando viajar ou caso esqueça de regar. O equipamento tem uma cúpula dotada da mesma estrutura das escamas de lagarto, que conduz a água coletada no ar para o substrato onde crescem as plantas. A inspiração surgiu a partir da observação de lagartos que vivem em regiões áridas ao redor do mundo, e um tipo especialmente chamou atenção da equipe, o lagarto-espinhoso-do-texas (*Phrynosoma cornutum*). Eles possuem um design exclusivo para sobreviver e se alimentar, suas escamas têm uma rede de micro canais direcionados para a boca, altamente eficientes no transporte de água, mesmo em quantidades mínimas. Assim, toda gota d'água, sereno e qualquer outro tipo de névoa, neblina e vapor ao alcance da pele do animal, incluindo umidade do solo que caem nele, são imediatamente direcionados para a boca (ESCAMAS..., 2017).

Figura 12. Lagarto de chifres, que inspirou a criação do biocultivador

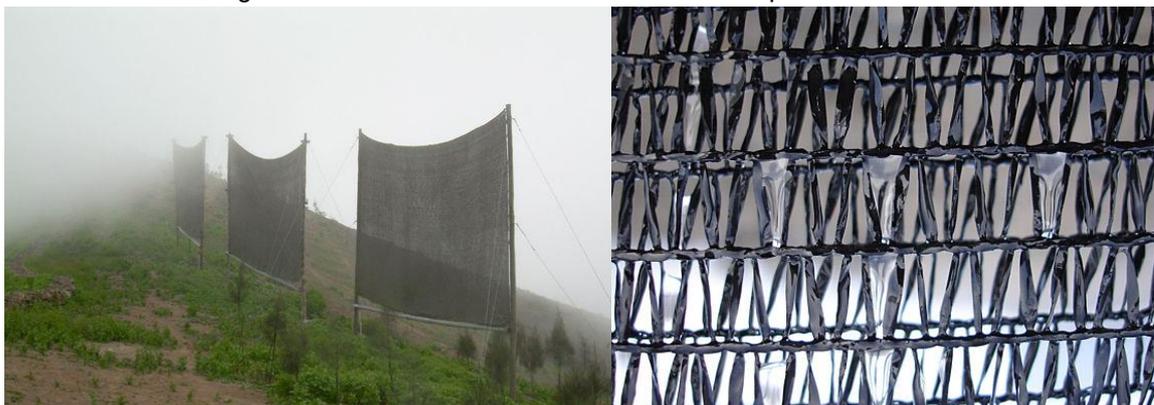


Fonte: <http://conexaoplaneta.com.br/blog/escamas-de-lagarto-inspiram-biocultivador-para-apartamentos/>

f) Fog harvest – Coleta e captação de água

Outro exemplo relacionado à coleta e captação de água é o *fog harvest*, que funciona como uma rede de malha de camada única ou dupla suportada por dois postes presos ao solo. O projeto foi criado depois de estudos feitos na costa oeste da África do Sul que apresenta uma grave escassez de água ao longo do ano. Apesar das escassas chuvas na região, a sua localização montanhosa está sujeita a uma alta incidência de neblina, e foi usando esse conhecimento que pesquisadores desenvolveram a solução que pode fornecer água para comunidades da área. (FOG HARVESTING, 2017).

Figura 13. Rede armada em funcionamento captando neblina

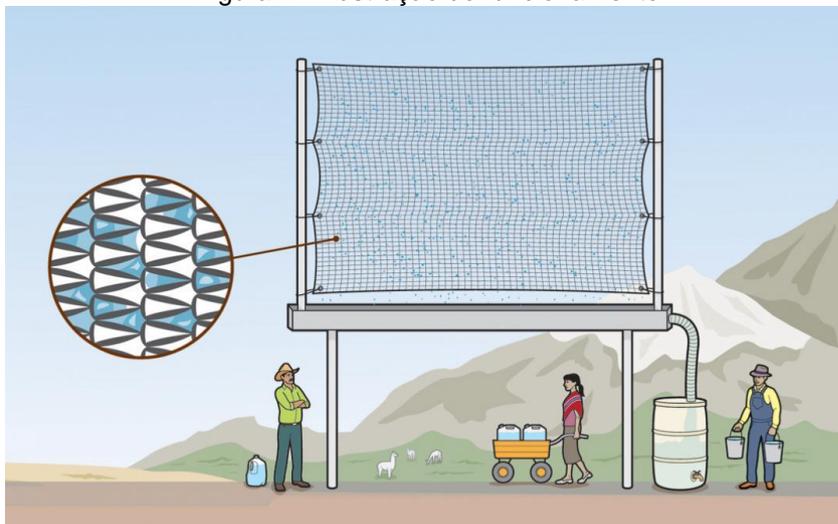


Fonte: [http:// https://www.climatetechwiki.org/content/fog-harvesting](http://https://www.climatetechwiki.org/content/fog-harvesting)

A seca decorrente das mudanças climáticas está levando a reduções na disponibilidade de abastecimento de água doce em algumas regiões do planeta, causando um impacto na produção agrícola, limitando as oportunidades de plantio e irrigação. A coleta de nevoeiro fornece uma maneira de capturar recursos de água vital para auxiliar a agricultura nessas áreas, além de, quando usado para irrigação,

pode aumentar áreas florestais ou cobertura vegetal. O abastecimento de água da colheita de nevoeiro também ajuda a neutralizar o processo de desertificação.

Figura 14. Ilustração do funcionamento



Fonte: <http://www.climateprep.org/stories/2017/6/8/head-in-the-clouds-the-dream-of-harvesting-water-from-fog/>

2.2 O Semiárido

Como visto anteriormente, a biomimética vem sendo aplicada no desenvolvimento de produtos, processos e sistemas referentes ao manejo de água em diversas regiões do mundo. No Brasil, a região semiárida é a que mais sofre com chuvas escassas e dissipadas ao longo de sua extensão territorial. O clima semiárido, também conhecido como clima de estepe, é um clima típico de regiões que recebem precipitação abaixo da evapotranspiração⁵ potencial, assemelhando-se, assim, a um deserto. Existem diferentes tipos de climas semiáridos, variando de acordo com a temperatura e umidade do solo. Na classificação mundial do clima, é o que apresenta precipitação de chuvas média entre 200 e 400 mm (ASA, 2017).

Este tipo de clima está presente em todo o mundo, abrangendo partes da América do Norte (Estados Unidos, Canadá e México), América do Sul (Venezuela, Equador, Argentina e Brasil), África (norte, central e sul), Europa (Espanha, Ucrânia, Rússia, Turquia), Ásia (Arábia Saudita, Iêmen, Cazaquistão, Mongólia, China, Geórgia, Armênia, Azerbaijão, Quirquistão, Uzbequistão, Turcomenistão, Tadjiquistão, Paquistão, Afeganistão, Índia, Irã, Iraque) e Oceania (Austrália). As

⁵ Perda de água de uma comunidade ou ecossistema para a atmosfera, causada pela evaporação a partir do solo e pela transpiração das plantas.

regiões que apresentam esse tipo de clima sofrem com problemas sociais e econômicos, gerados pela escassez de água e dificuldade de desenvolver a agricultura, o que gera pobreza e más condições de vida.

No Brasil, o clima semiárido ou tropical semiárido é encontrado na região brasileira denominada de “Polígono das Secas”, que abrange cerca de 11% do território nacional e fica localizado nos estados da região nordeste: Bahia, Ceará, Alagoas, Piauí, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Rio Grande do Norte; e ainda, parte do sudeste do país, o norte de Minas Gerais. O bioma predominante desse clima é a caatinga, com vegetação xerófila, adaptada aos climas secos.

Figura 15. Exemplo de paisagem semiárida



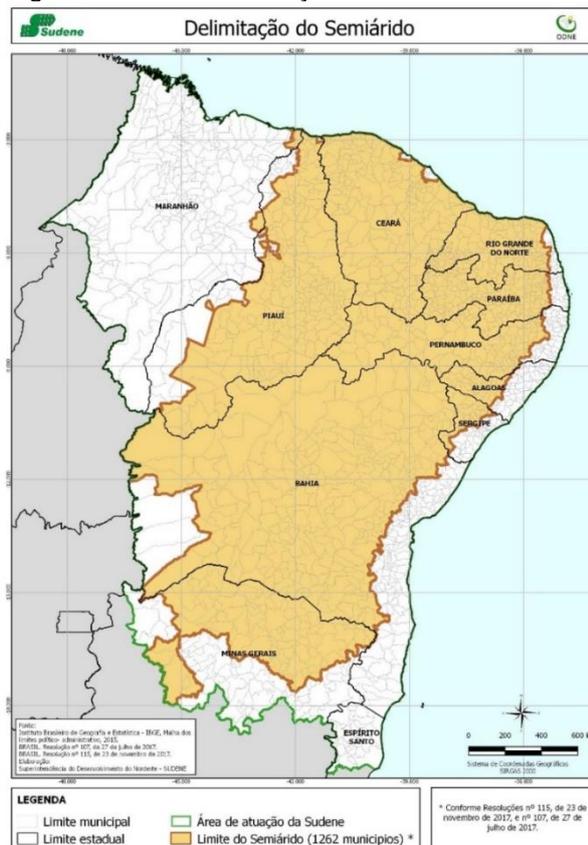
Fonte: Acervo do Insa/MCTIC

Um dos principais problemas ambientais que afeta essa região é a desertificação, processo pelo qual ocorre a intensificação da formação de desertos, pelas mudanças climáticas (aquecimento global, efeito estufa, etc.) e a seca extrema. Além disso, a salinização do solo, gerada pelo desmatamento, manejo indevido do solo e a prática de uma agricultura inadequada, tem sido um dos problemas ambientais presentes na região do Semiárido.

Com a base da economia composta por atividades relacionadas à pecuária e agricultura familiar, as longas estiagens prejudicam a vida dos produtores e comunidades rurais. Com isso, a necessidade de se adaptar às condições adversas faz com que a população experimente e desenvolva as mais variadas técnicas de convivência com seus escassos recursos, de forma semelhante ao processo

adaptativo evolutivo que acontece com as espécies xerófilas da região. Essa problemática da disponibilidade de água preocupa toda a população mundial. Sua limitação é cada vez mais estudada e soluções têm sido investigadas para aliviar essa iminente falta do recurso, em especial para os produtores rurais e habitantes de regiões tropicais. O Nordeste brasileiro possui uma das maiores regiões de clima semiárido do mundo, com aproximadamente 900.000 km² (GNADLINGER, 2012).

Figura 16. Nova delimitação do Semiárido



Fonte: SUDENE, 2018

Trata-se de uma das maiores e mais populosas áreas semiáridas do mundo, que, apesar de vivenciarem alguns avanços econômicos e sociais nas últimas décadas, ainda é caracterizado por um baixo dinamismo econômico, com indicadores sociais abaixo das médias nacional e regional e pela degradação ambiental que incide sobre seus frágeis ecossistemas (SANTOS, 2011). Tais características impõem certos limites ao sistema produtivo da região, além de provocar sérios danos sociais, uma vez que a economia da maioria dos municípios está relacionada às atividades do setor primário, principalmente à pecuária caprina e à produção de milho, feijão e algumas frutíferas.

O atual clima do Semiárido se instalou entre 8 e 10.000 anos atrás e o comportamento das chuvas é documentado pelos viajantes desde a época do Império. Comparado com outras regiões semiáridas do mundo, onde chove entre 80 a 250mm por ano, o Semiárido brasileiro é considerado o mais chuvoso do planeta, com uma média, de 200 a 800 mm anuais. Uma precipitação pluviométrica concentrada em poucos meses do ano e distribuída de forma irregular em todo Semiárido (ASA BRASIL, 2017). Como é natural das regiões semiáridas, esse volume de chuva é menor do que o índice de evaporação que, no Semiárido brasileiro, é de 3.000mm por ano. Isso provoca um déficit hídrico desafiador para quem vive da agricultura e da criação de animais na região. Esse desafio tem sido enfrentado pelas famílias agricultoras através do armazenamento de água da chuva em tecnologias sociais diversas. A água acumulada serve tanto para consumo humano, como para uso na agricultura e criação animal. Por isso, a primeira tecnologia implantada na região – a cisterna de placa de cimento - representa um marco na busca da soberania hídrica e alimentar no Semiárido brasileiro (SANTOS, 2015).

2.3 Sistemas de captação e armazenamento de água

Uma das estratégias de convivência com o Semiárido sempre defendida e valorizada por técnicos, sociedade civil e estudiosos é os sistemas de captação e armazenamento de água da chuva. Eles funcionam como única alternativa que atende adequadamente às necessidades de uma população dispersa por um imenso espaço, criando reservas. Essas soluções foram propostas de forma emergencial, pois ainda não existem outras maneiras que reduzam o déficit hídrico na região de forma mais constante e duradoura.

2.3.1 Cisternas

A cisterna para a captação e armazenamento de água de chuva para o consumo humano é utilizada há séculos, em várias partes do mundo. As pesquisas iniciadas por Silva & Porto (1982) partiram de duas limitações para o uso da cisterna como reservatório de água: custos elevados para construção da cisterna em alvenaria e área das instalações rurais, insuficientes para captar o volume de água necessário. No primeiro caso, foram avaliados diversos materiais alternativos na construção do tanque, como lona de PVC, polietileno, tijolo a galga e tela-cimento. No que concerne

ao tamanho da área de captação – componente essencial para o sucesso da cisterna dada à irregularidade climática – a limitação foi superada utilizando-se o próprio solo revestido ou não como área para captar a água da chuva. Atualmente, a cisterna com área de captação no solo é conhecida como “cisterna calçadão”.

Figura 17. Cisterna calçadão



Fonte: <https://portal.insa.gov.br>

Nesses estudos, foram definidos parâmetros essenciais ao dimensionamento do volume de água necessário às famílias, tais como das áreas de captação considerando-se o número de pessoas por família, o consumo médio diário de água por pessoa, a precipitação pluviométrica da região e o período sem chuvas, com base na média dos anos de menor precipitação de uma série histórica. A partir desses estudos, surgiram novos modelos de cisterna que fomentam, atualmente, o Programa Um Milhão de Cisterna (P1MC), como pode ser destacada a cisterna de placas pré-moldadas a qual, devido à facilidade de construção, baixos custos e a maior participação da família no processo construtivo, é o modelo padrão adotado (Figura 18 A). Em algumas comunidades, a cisterna de alambrado também tem sido uma alternativa utilizada, em virtude de apresentar maior resistência (Figura 18 B). A partir de 2012, novo modelo de cisterna de polietileno começou a ser adotado no Semiárido brasileiro com objetivo semelhante ao das cisternas de placas, isto é, consumo humano, animal e produção de alimentos.

Este tipo de cisterna inserido na política do governo federal, por meio do Ministério da Integração Nacional (MIN), tem como principal vantagem a velocidade de instalação (Figura 18 C).

Figura 18. (A) cisterna de placas, (B) de tela de alambrado e de Polietileno (C)



Fonte: <https://portal.insa.gov.br>

2.3.2 Barragem subterrânea

A barragem subterrânea é uma tecnologia que tem proporcionado à família agricultora o aproveitamento das águas da chuva para produção de alimentos contribuindo com a redução dos efeitos negativos dos longos períodos de estiagem e, conseqüentemente, com a diminuição da pobreza. Consiste em uma parede construída dentro da terra cuja função é barrar as águas das chuvas que escorrem no interior e acima do solo formando uma vazante artificial na qual o terreno permanece molhado até quase o fim do período de estiagem, geralmente de três a oito meses após as chuvas (Ferreira, 2012). Esse tempo de permanência da umidade na área de acumulação da barragem subterrânea depende da quantidade de chuva ocorrida e, sobretudo, do manejo adotado em sua área de plantio. A barragem subterrânea pode ser instalada em leitos de rios e riachos de vazão média ou em locais onde escorre o maior volume de água no momento da chuva (linhas de drenagem/caminho da água). Sua construção é feita escavando-se uma vala com retroescavadeira ou manualmente, no sentido transversal ao escoamento das águas, até a profundidade onde se encontra a camada mais endurecida do solo, conhecida por camada impermeável ou rocha. Dentro da vala, se estende uma lona plástica de polietileno com espessura de 200 micra por toda a sua extensão. Após o plástico estendido (Figura 19 A), a vala é fechada com pá mecânica ou manualmente com a terra que foi retirada na abertura. O plástico dentro da vala se constitui na parede na qual, por outro

lado, é construído um sangradouro (Figuras 19 B e 19 C) com a função de escoar o excedente da água em anos de chuvas torrenciais.

Figura 19. Vala com lona (A), barragem com sangradouro (B) e barragem subterrânea (C)



Fonte: <https://portal.insa.gov.br>

O uso das cisternas, mesmo solucionando parte dos problemas de abastecimento das comunidades do Semiárido, ainda apresenta diversos problemas que precisam ser avaliados e revistos, tais como: o grande espaço que ocupam, por serem estruturas construídas com materiais pesados; o seu sistema de montagem exige uma área extensa tanto para a construção quanto para a instalação, sendo possível apenas nas comunidades e casas que tenham uma vasta área disponível; e um outro ponto é que, mesmo quando não estão sendo usadas (principalmente a cisterna de calçadão), o terreno fica grande parte do ano ocioso, ou sendo usado para outros fins. Um outro fator é a limitação em ampliação da capacidade de armazenamento, pois a partir do momento que as cisternas são montadas ou construídas, sua área de captação e reserva de água tem um volume limitado, ou seja, mesmo que chova em excesso por vários dias seguidamente, a quantidade de água continuará sendo a mesma já captada em seu total limite, e o restante será desperdiçado.

Uma pesquisa do Projeto Cisternas “Melhoramentos Tecnológicos e Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Projetos de Armazenamento de Águas de Chuva em Cisternas no Nordeste Semiárido”(2009) foi um projeto de pesquisa aplicada em escala real, financiado pela FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, do Ministério da Ciência e Tecnologia do Governo Brasileiro, por iniciativa e com recursos do CT-HIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos, e executado com a participação de cinco universidades brasileiras. Tal projeto apresentou muitos dados, informações e conclusões ao conhecimento sobre a água de cisternas no Semiárido nordestino. As pesquisas desse projeto mostraram que a água de cisternas apresenta, geralmente, boas características químicas e físicas, mas, com frequência, contém

microrganismos, inclusive indicadores de contaminação fecal, sobretudo quando a cisterna recebe, também, água de procedência duvidosa, transportada por carro-tanque. Porém, quando a cisterna acumula somente água de chuva e tem manejo cuidadoso, incluindo o uso de bomba para retirada da água e o descarte do primeiro milímetro de cada chuva, a qualidade é muito melhor e pode atender ao padrão de potabilidade (GNADLINGER, 2012).

Melo & Andrade Neto (2007) observaram que para que a água de chuva seja melhor aproveitada, captada imediatamente em cisternas para consumo, seja como água potável ou não, é ainda necessário adequar tecnologia, mas, principalmente, há que se perceber dois aspectos fundamentais do uso racional da água de chuva. O primeiro é que nem sempre o mais adequado, do ponto de vista econômico e energético (conservação de energia), é reservar água em grandes reservatórios para consumo nos períodos secos, mas, sim, em alguns casos, utilizar reservatórios menores para captação e regularização em períodos chuvosos, para economizar energia e outras fontes de água disponíveis, mas de custo mais alto nesses períodos. O segundo se refere ao fato de que as primeiras águas da chuva (geralmente, apenas o primeiro milímetro) são as de pior qualidade, mas após o início da precipitação a qualidade da água melhora muito, e, portanto, as primeiras águas de cada chuva não devem ser direcionadas para a cisterna, mas, sim, desviadas para descarte ou outros usos.

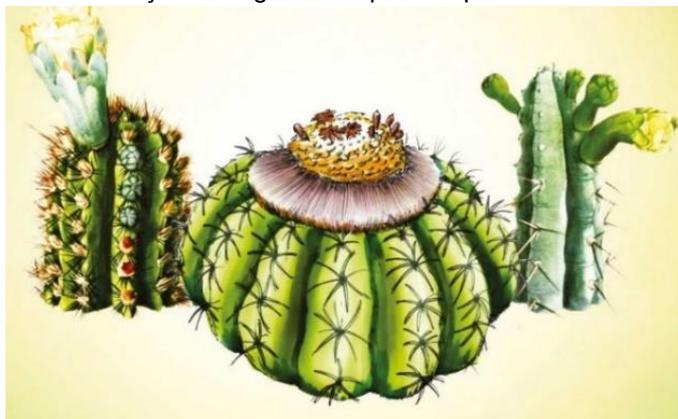
No meio rural se utilizam, há muito tempo, cisternas para captar e armazenar a “água de beber”, mas somente há décadas é que a população mais pobre teve acesso a esta forma de abastecimento de água difusa e socialmente justa. No passado, não havia ação de governo para ampliar a construção de cisternas para uso da água de chuva, ficando as poucas existentes limitadas ao acesso de pessoas com capacidade financeira para suportar o investimento privado individual.

2.4 A vegetação xerófila do Semiárido

Devido aos longos períodos de estiagem na região semiárida, causados pela evaporação intensa, a vegetação xerófila – formação vegetal seca – acabou tornando-se dominante, principalmente por conta dos seus mecanismos de sobrevivência à falta de água. A história relata que espécies da família *Cactaceae* foram introduzidas no Brasil ainda na época do Império, pelos portugueses, provavelmente das Ilhas

Canárias, para ser iniciado o cultivo da *cochonilha* (*Coccus cati*) que produz o corante carmim, que naquela época era de grande valor comercial (LUCENA, 2012).

Figura 20. Ilustração de algumas espécies que habitam o Semiárido

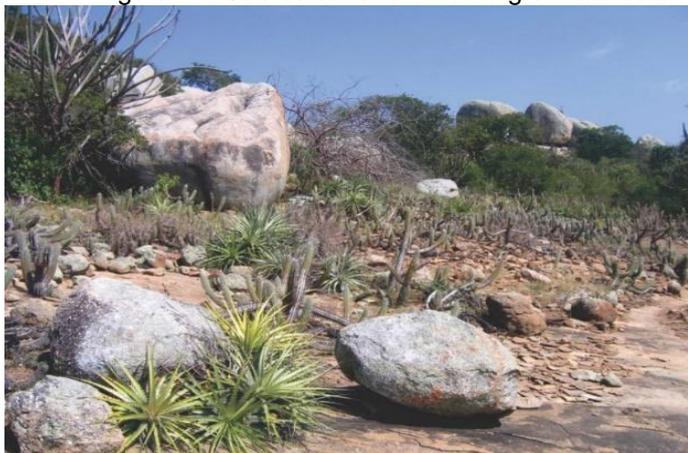


Fonte: CAVALCANTE (2015).

A família *Cactaceae* é composta por aproximadamente 125 gêneros e 1.900 espécies, com ocorrência nas regiões tropicais e temperadas do continente americano e se encontra distribuída em uma ampla variedade de habitats, desde regiões áridas até florestas úmidas (ARECES, 2004).

Dentre as adaptações florísticas ao Semiárido destacam-se as folhas pequenas; sua queda nos períodos mais secos, no caso das caducifólias, ou a sua substituição por espinhos, no caso das espinhosas; e maneiras de evitar a perda de água por transpiração em excesso (Figura 18).

Figura 21. Cactos em afloramento granítico



Fonte: CAVALCANTE (2015).

No Brasil, estão registradas 160 espécies pertencentes a 32 gêneros, dentre as quais 80 espécies ocorrem na região Nordeste. As espécies mais comumente

encontradas são *Cereus jamacaru* DC. (mandacaru), *Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles e G.D. Rowley (xique-xique), *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter (facheiro) e *Melocactus bahiensis* (BRITTON & ROSE, 1983) Luetzelb. (coroa de frade) (CAVALCANTI & RESENDE, 2007).

As plantas cactáceas possuem particularidades ecofisiológicas bastante específicas, uma ampla variação anatômica e capacidade fisiológica de conservar água, garantindo a sua adaptação a ambientes quentes ou áridos (Figura 19). O caule é modificado, expandido em estruturas suculentas verdes, denominadas cladódios, onde se localizam as clorofilas, com folhas transformadas em espinhos; tais modificações visam economizar água devido a sua superfície transpirante ser muito reduzida (SILVA, 2014).

Figura 22. Cladódios suculentos da espécie Tacinga

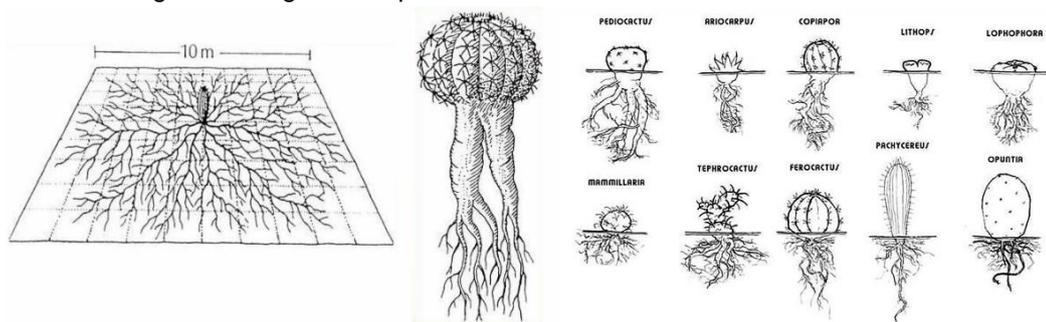


Fonte: Acervo do Insa/MCTIC

As raízes são finas e dispostas horizontalmente, na camada superficial do solo, formando uma verdadeira esponja, até 30-40cm de profundidade e se estendendo por alguns metros em torno do tronco; em geral, as raízes compõem apenas uma pequena porcentagem da fitomassa total das plantas chegando, por exemplo, em espécies do gênero *Opuntia*, a apenas 12% (NOBEL, 1988).

Essa estrutura radicular é mais uma forma de adaptação, considerando ser mais importante garantir o aproveitamento da água nas poucas chuvas e serenos, além de aproveitar a água que se condensa na superfície de pedras existentes no terreno durante as noites frias, fato muito comum em regiões áridas.

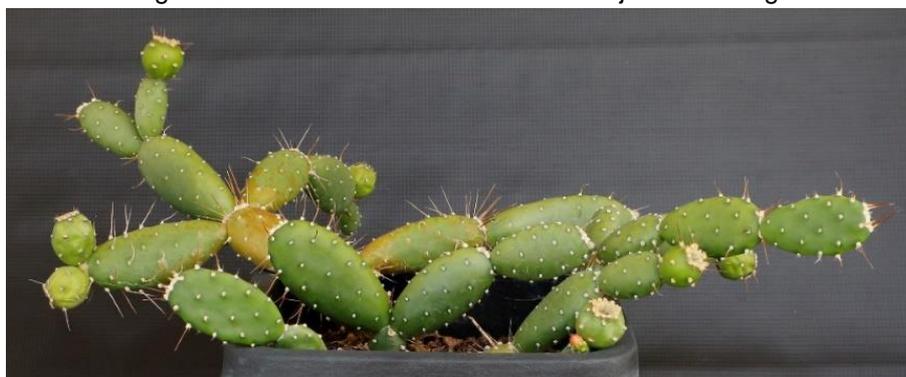
Figura 23. Algumas espécies cactáceas e suas estruturas radiculares



Fonte: www.google.com

Segundo Silva (2014), as espécies desta família são plantas arbustivas, suculentas, ramificadas, compostas de artículos ou segmentos carnosos (palmas) superpostos uns aos outros (Figura 21), com uma altura média de 3-6m, coroa larga, glabra, caule (talo ou tronco) com 60-150cm de largura, formado a partir do envelhecimento das palmas primárias que assumem uma consistência lenhosa, suportando as demais (conhecidas como cladódios, raquetes ou folhas).

Figura 24. Cladódios suculentos de uma jovem Tacinga



Fonte: Acervo do Insa/MCTIC

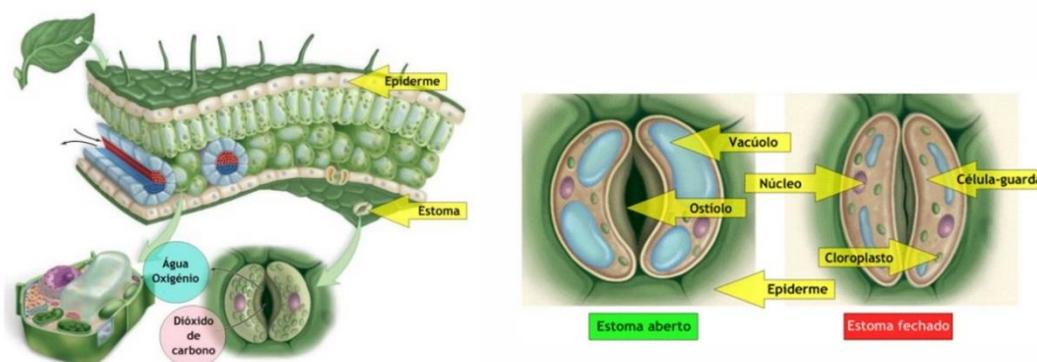
Constituem um grupo extremamente diversificado, com um impressionante conjunto de estratégias adaptativas, evolutivas e ecológicas que lhes conferem uma grande capacidade de desenvolvimento nos diferentes habitats (ALVES, 2008).

Para Barbosa (2015), outro mecanismo utilizado pelas xerófilas é a capacidade de manter o potencial de água elevado nos tecidos, o qual é conseguido pela absorção de água ou diminuindo a perda de água por transpiração. Para a manutenção dessa absorção, a planta pode apresentar um aprofundamento ou abrangência do sistema

radicular, aumento da condutividade hidráulica e osmorregulação⁶ nas raízes. E para a redução das perdas de água (menor transpiração), redução da condutância da epiderme (espessamento de cutícula), redução da quantidade de radiação absorvida (pelos e cera), e redução da área foliar e estômatos. As cactáceas, como a palma forrageira (*Opuntia ficus* e *Nopalea cochenilifera*), o mandacaru (*Cereus jamacaru*) e o xiquexique (*Pilocereus gounellei*) apresentam o mecanismo de potencial de água elevado nos tecidos, pela abertura noturna dos estômatos. Esse mecanismo de controle estomático é considerado o mais importante, porque as principais perdas de água pelas plantas são feitas pelos estômatos (90%).

Com relação ao estômato, as adaptações das plantas estão relacionadas variando em número e tamanho (redução); localização predominantemente ou exclusivamente na face dorsal, abaxial ou inferior e o mecanismo de regulação que está ligado à sensibilidade da planta (Figura 22).

Figura 25. Detalhamento da abertura estomática



Fonte: www.agrolink.com.br

a) Adaptações ao nível de folha: transformação de folhas em espinhos; redução do tamanho da folha; eficiente controle estomático; queda das folhas (abscisão foliar); redução no número de folhas; maior espessura da parede celular; maior presença de cera.

b) Adaptações ao nível de caule: Diminuição da altura; engrossamento do caule; retorsimento do caule; caule chamado de cladódio (cactáceas); alto teor de hidrofóbicos; metabolismo ácido das crassuláceas (MAC); armazenamento no caule ou raiz (xilopódio).

⁶ Controle das concentrações de sais nos tecidos ou células vivas a fim de manter as condições adequadas à atividade metabólica.

c) Adaptações ao nível de raiz: aprofundamento; engrossamento das raízes (inteiramente e parcialmente).

2.4.1 Adaptações das plantas para evitar transpiração excessiva

Diversas espécies xerófilas possuem folhas pequenas e espessas (Figura 23), com uma camada de cera, dando-lhes uma consistência coreácea (em botânica, diz-se que uma folha é coreácea quando a sua textura é semelhante a couro e se quebra facilmente). Os estômatos são encontrados basicamente na parte inferior da folha localizados em micro cavidades que protegem os poros dos ventos secos.

Figura 26. Variedade de suculentas da família Crassulaceae



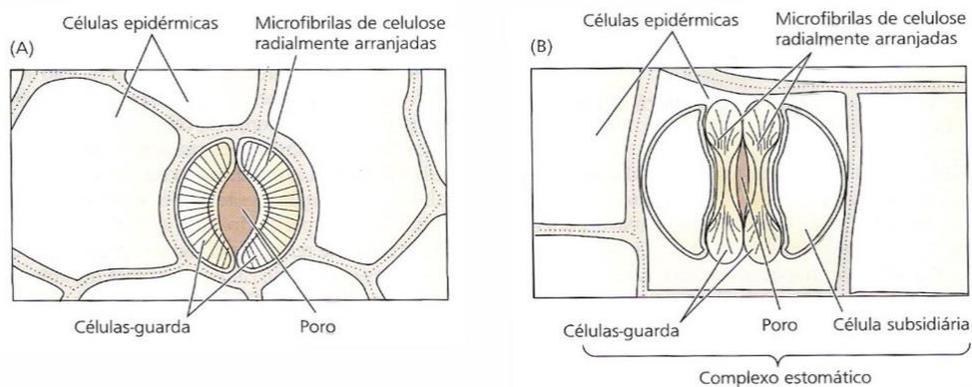
Fonte: Acervo do Insa/MCTIC

Durante os meses mais secos, algumas plantas de regiões áridas e semiáridas deixam cair suas folhas. Uma das adaptações mais interessantes de plantas dessas regiões é encontrada na família *Crassulaceae*. Estas plantas assimilam CO_2 , por uma via fotossintética alternativa (CAM = metabolismo do ácido crassulaceano). Outras, como os cactos, armazenam água durante a estação chuvosa em ramos suculentos, sendo estes órgãos modificados (ramos) responsáveis pela fotossíntese (BARBOSA, 2015). Uma vez que as folhas das plantas CAM podem obter CO_2 durante a noite, os estômatos podem fechar durante o dia, evitando uma transpiração intensa, ao mesmo tempo em que permite o aproveitamento mais eficiente do CO_2 liberado no interior da célula.

2.4.2 Mecanismos de Abertura e Fechamento Estomático

Segundo Taiz (2004), as células-guarda, as células subsidiárias e o poro (ostíolo) formam o complexo estomático. As células-guarda são células epidérmicas que mostram organização especializada da estrutura da parede celular, as quais são importantes no mecanismo de abertura e fechamento estomático (Figura 24). Estas células são menores e, também, são mais ricas em organelas (cloroplastos, retículo endoplasmático, mitocôndrias, etc.), do que as demais células da epiderme. Todas estas características parecem contribuir para o movimento estomático.

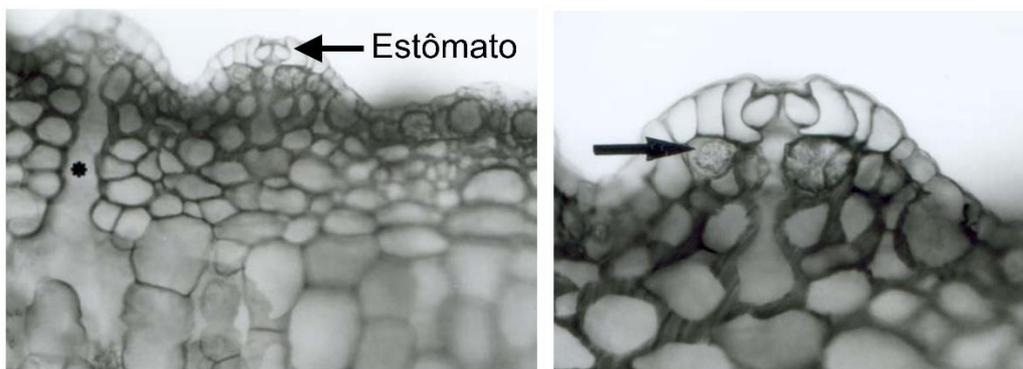
Figura 27. Ilustração mostrando o processo da abertura estomática



Fonte: Adaptado de TAIZ & ZEIGER (1998)

As células-guarda funcionam como uma válvula hidráulica multissensorial. Fatores ambientais como intensidade e qualidade de luz, temperatura, velocidade do vento, umidade do solo, umidade relativa do ar e concentração interna de CO_2 são sentidos por estas células e estes sinais são integrados em uma resposta estomática bem definida (Figura 25).

Figura 28. Estômatos, funcionamento aberto e fechado



Fonte: E. ARRUDA et al. (2005)

2.5 Analogias

A analogia é descrita como um método comum utilizado nas áreas de Biônica, Biomimética, Biodesign ou qualquer Biotécnica. Arruda (2018) define que, na Antiguidade Clássica, ela foi abordada pelos filósofos Aristóteles e Platão como uma abstração compartilhada, em que os objetos análogos compartilhavam algo em comum, seja uma ideia, um padrão, uma regularidade, um atributo ou uma função. Abaixo, alguns dos tipos de analogias mais frequentes relacionados a projetos de design.

2.5.1 Analogia Morfológica

Bonsiepe (1982) define a Analogia Morfológica como a busca experimental de modelos elaborados da tradução das características estruturais e formais para transpor em projetos. Sendo assim, este tipo de analogia procura estudar e analisar o porquê da forma natural, as inter-relações da sua geometria, observando e compreendendo suas texturas, atentando para as características do *shape* (forma externa), das partes e componentes, dos detalhes de alguma parte a nível macro ou microscópico, assim como para as suas formas estruturais (SOARES, 2016).

Segundo Wilson *et al.* (2010), a análise de fenômenos morfológicos da natureza facilita e estimula a capacidade de percepção de detalhes e princípios presentes em sua estrutura. Ideias inovadoras vêm surgindo de pesquisas sobre sistemas e propriedades naturais que nem sempre se traduzem apenas na estética, mas que a forma natural favorece também o ganho em eficiência.

2.5.2 Analogia funcional

É um processo que busca estudar sobre o funcionamento do sistema físico e mecânico natural. Busca compreender quais funções desempenham tanto no todo, como em suas partes e componentes, ou seja, são evidenciados os atributos funcionais, qualidades específicas (não morfológicas) que se podem mimetizar da estrutura natural analisada. Uma vez que os organismos naturais desenvolveram habilidades complexas e altamente adaptáveis, pode-se transpor essas aptidões

funcionais para aplicá-las em artefatos artificiais. Enquanto morfológicamente as analogias são limitadas, funcionalmente podem ser múltiplas. (SOARES, 2016).

Utilizando os princípios teóricos dessas duas analogias descritas acima, concluiu-se que elas se adequam perfeitamente ao objetivo do estudo, tanto na parte morfológica, onde as espécies possuem variação de forma quando acontece escassez ou absorção de água, como na parte funcional, devido ao fluxo interno que ocorre na relação de captação e armazenamento.

2.6 Considerações finais do capítulo

De acordo com o que foi exposto neste capítulo, a biomimética é uma ciência nova, que teve sua origem baseada no mesmo ponto de partida da biônica, ou seja, a inspiração surgindo das formas e mecanismos naturais visando o mesmo fim, que é solucionar problemas humanos. Os termos biônica e biomimética vêm sendo entendidos como sinônimos, mas são ciências complementares. Enquanto a biônica relaciona a biologia e a técnica, com os resultados voltados para aplicações industriais, mecânicas e robóticas, a biomimética relaciona mais disciplinas de forma a ter uma visão mais ampla das potencialidades da natureza e sua aplicação no desenvolvimento de produtos ou sistemas, buscando aprender não só com a parte funcional e estética, mas também entendendo o comportamento e os processos que acontecem no entorno do objeto estudado.

Por essas razões, os designers que têm buscado inspiração na biomimética para criar projetos precisam estar sempre atentos a utilizar as lições biológicas – forma, processo e ecossistema. Para a criação de novos produtos inspirados no mimetismo natural, é preciso trabalhar com os métodos biomiméticos. Os autores citados orientam o uso de analogias para o desenvolvimento de novos produtos, mas citam que a própria pesquisa norteará o uso dos princípios, ou seja, dependendo de cada caso, a emulação biológica muitas vezes pode ser aplicada com eficácia (efeito lótus – o caso do besouro da namíbia – coleta do nevoeiro); já em outros, é preciso ter cuidado quando se busca solucionar problemas em outras áreas, pois as réplicas simples e diretas raramente são bem sucedidas se não ocorrerem infundáveis testes e o auxílio de cooperação de outras áreas de conhecimento, sendo o designer integrador dessas múltiplas expertises.

Como o trabalho é voltado para a região semiárida, continuamente castigada pela estiagem, fazendo com que a sua população experimente e desenvolva formas de se adaptar às condições adversas, a utilização da vegetação nativa como inspiração para o estudo é um desafio que deve ser explorado com o auxílio dos conhecimentos adquiridos pelos estudos biomiméticos.

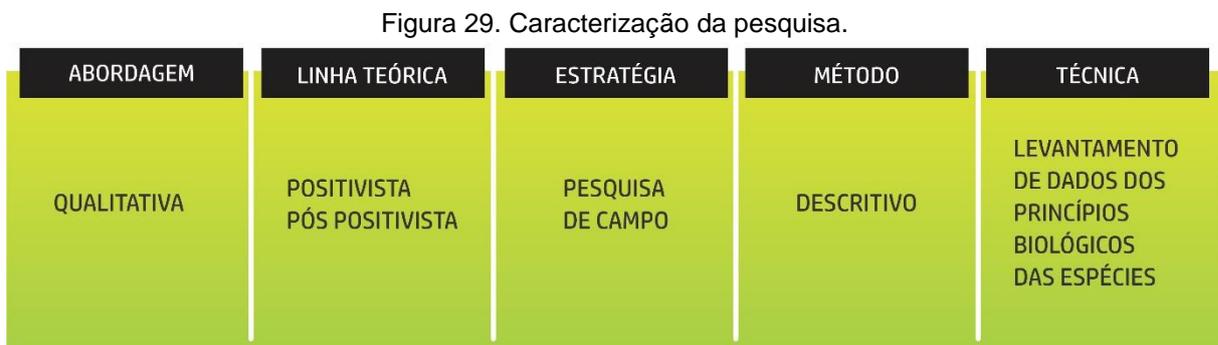
Justamente por esta disciplina ter surgido na fronteira de disciplinas como agricultura, ecologia, medicina, engenharia dos materiais e informática, as características da região como o clima e a própria vegetação serão objetos de estudo para o desenvolvimento de soluções relacionadas ao armazenamento de água. A sua aplicação acaba sendo o resultado de ações interdisciplinares que podem contribuir para a criação de uma nova metodologia com a linguagem e necessidade do design.

CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS DA PESQUISA

Este capítulo descreve todo o processo metodológico utilizado na pesquisa e detalha os procedimentos que serão discutidos ao longo deste capítulo.

3.1 Caracterização da pesquisa

A figura 29 demonstra a caracterização da pesquisa abordada.



Fonte: Autoria própria (2018).

O enfoque da abordagem qualitativa caracteriza-se pelo fato do pesquisador ser o instrumento-chave e o ambiente ser considerado fonte direta dos dados, além de não requerer o uso de técnicas e métodos estatísticos. Nesta pesquisa, também foi utilizado o método descritivo, onde registros e descrição de fatos foram realizados sem haver interferência nos objetos de pesquisa, visando descrever características, relações ou fenômenos entre variáveis. Como a pesquisa é relacionada a plantas, geralmente alocadas em ambiente externo, o processo foi de descrição e observação das características estruturais de cada espécie. Prodanov (2013) conclui que na pesquisa qualitativa faz-se uso de levantamentos para descrever minuciosamente experiências, processos, situações e fenômenos. O objetivo é conseguir informações e / ou conhecimentos acerca de um problema para o qual procuramos uma resposta, ou de uma hipótese que queiramos comprovar, ou, ainda, descobrir novos fenômenos ou as relações entre eles.

Quanto ao método utilizado, o descritivo foi o mais adequado, pois através dele foi possível identificar correlações entre variáveis não somente na descoberta, mas também nas análises dos fatos envolvendo as plantas, descrevendo-os, classificando-os e interpretando-os, o que foi realizado quando houve o detalhamento do

funcionamento das espécies analisadas, mostrando assim uma análise aprofundada da realidade pesquisada.

Também foi realizada a pesquisa bibliográfica que, segundo Lakatos (2003), permite compreender que, se de um lado a resolução de um problema pode ser obtida através dela, por outro, tanto a pesquisa de laboratório quanto a de campo (documentação direta) exigem, como premissa, o levantamento do estudo da questão que se propõe analisar e solucionar. Foram usadas palavras chave relacionadas às temáticas do projeto: biomimética, biomimicry, estudos de casos, plantas xerófilas, semiárido brasileiro, captação e armazenamento de água, design biomimético, etc.

A técnica empregada foi a pesquisa exploratória, que possui um planejamento flexível e permite estudar o tema sob diversos ângulos e aspectos, em geral, envolvendo: levantamento bibliográfico, conversas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que auxiliam a compreensão (PRODANOV, 2013). Assim, o trabalho envolveu e relacionou pessoas que tinham conhecimento aprofundado sobre as plantas, desde a fase de plantio e coleta, experiências de manejo como cultivo e formas de propagação, e por fim, manipulação e uso de equipamentos técnicos e laboratoriais.

3.2 Etapas da pesquisa

Abaixo, segue um fluxograma com as etapas da pesquisa, descrevendo todo o passo a passo do processo e os locais onde os procedimentos foram realizados.

Figura 30. Etapas da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2018).

Etapa 1 - Classificação das espécies

Foi realizado um levantamento de todas as espécies de plantas xerófilas existentes no Cactário Guimarães Duque (Figura 30), localizado na sede do Insa/MCTIC.

Figura 31. Visão externa do Cactário Guimarães Duque (Sede do INSA)



Fonte: Autoria própria (ano)

O estudo serviu para catalogar as mais de 130 espécies de cactáceas e suculentas. O trabalho, intitulado Levantamento das espécies cactáceas do Cactário Guimarães Duque, demonstra como as plantas foram descritas e catalogadas de forma técnica e detalhada, mostrando desde a sua origem (família e subfamílias), a status de conservação, localização geográfica e formas de captação e reserva de água (conforme apêndice).

Figura 32. Visão interna do Cactário Guimarães Duque (Sede do INSA)



Fonte: Autoria própria (ano)

Etapa 2 - Coleta e caracterização das amostras

Para a realização da coleta das amostras, foram realizadas visitas ao INSA/MCTIC, que possui uma estação experimental de estudos, onde diversas espécies da caatinga são cultivadas e pesquisas são desenvolvidas visando gerar soluções e tecnologias para o Semiárido (Figura 33).

Em agosto de 2018, foram realizadas a coleta e seleção das espécies, fase que foi executada na Estação Experimental do INSA e no Cactário Guimarães Duque. Para facilitar a busca e separação, seguiu-se a recomendação da especialista em botânica e anatomia vegetal Elimar Alves de Lima (Graduada em Ciências Biológicas pela UFPB, mestra em Ecologia e Conservação pela UEPB e doutoranda em Biologia Vegetal - Área de concentração: Anatomia Vegetal), que recomendou plantas de pequeno porte, com idade jovem (menos de 6 meses), pois, segundo a pesquisadora, possuem as mesmas estruturas das plantas adultas, porém com a vantagem de serem mais maleáveis ao serem seccionadas. Nas plantas adultas, o procedimento fica mais difícil, pois já ocorreu a lignificação (processo necessário para que as árvores desenvolvam uma casca dura).

Figura 33. Sede do INSA, Campina Grande, Paraíba



Fonte: www.insa.gov.br

O material para análise foi obtido a partir de coleta *in loco* das espécies a serem estudadas e analisadas junto a profissionais relacionados às áreas específicas referentes a cada fase.

Com o auxílio das pesquisadoras Fabiane Rabelo da Costa Batista (Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Estadual do Norte

Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, Brasil) e Jucilene Silva Araújo (Doutora em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, Brasil), exploramos esses locais e, através dos seus conhecimentos, foram feitas as coletas e recomendações sobre as espécies mais indicadas para a pesquisa.

Etapa 3 – Preparação das amostras

Ainda de acordo com a recomendação das profissionais técnicas envolvidas e com base no projeto Levantamento das espécies cactáceas do Cactário Guimarães Duque), em que as plantas xerófilas foram descritas e catalogadas de forma técnica e detalhada, mostrando desde a sua origem (família e subfamílias), status de conservação, localização geográfica e formas de captação e reserva de água, foram escolhidas as seguintes espécies para análise: (A) mandacaru (*Cereus jamacaru*), (B) palma forrageira (*Opuntia ficus* e *Nopalea cochenilifera*) e (C) coroa-de-frade (*Melocactus*).

Figura 34. Espécies escolhidas para amostragem



Fonte: Autoria própria (2018).

A escolha por essas espécies foi definida pelos pesquisadores seguindo os critérios de: distribuição espacial em várias regiões do Semiárido, características formais diferenciadas e formas de armazenamento de água.

Etapa 4 – Análises laboratoriais

As espécies coletadas na sede do INSA/MCTIC foram levadas para o CCBS/UEPB onde foram preparadas e montadas em blocos. Em seguida, os blocos foram enviados para ser fatiados pelo micrótomo, na UNICAMP, equipamento no qual

as amostras foram inseridas e cortadas em lâminas. E, para finalizar, foram feitas as fotografias internas das suas estruturas.

Etapa 5 – Identificação dos padrões visuais

As imagens obtidas pelo microscópio foram utilizadas para a criação dos padrões visuais.

Etapa 6 – Aplicação em um conceito de sistema de armazenamento de água

A partir do formato definido, foi criado um módulo e aplicado em um conceito de sistema de armazenamento de água, baseado no funcionamento das plantas xerófilas do Semiárido.

3.3 Detalhamento das fases e etapas

Este capítulo apresenta os primeiros resultados obtidos nesta pesquisa, e para uma melhor compreensão de todo o processo, as atividades foram divididas em 3 fases.

	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	QUEM REALIZOU?	ONDE?	MÉTODO	PERÍODO	
FASE A	ETAPA 1	Classificar as espécies quanto às suas características funcionais relacionadas ao uso e retenção de água	O autor, junto com a o pessoal de campo que cuida do cactário	Sede e Estação Experimental do Insa/MCTIC	As amostras foram extraídas e levadas para a sala da pesquisadora	Junho 2018
	ETAPA 2	Coletar e caracterizar as amostras selecionadas a partir da classificação do estudo do Cactário	O autor, junto com a pesquisadora Dra. Fabiane Rabelo Insa/MCTIC	Sede e Estação Experimental do Insa/MCTIC	Pesquisa bibliográfica	Junho e Julho 2018
FASE B	ETAPA 3	a) Preparação para o fatiamento em micrótomo	Dra. Ana Paula Lacchia (UEPB/CCBS) Dra. Elimar Alves (UFPB)	Laboratório de Pesquisa em Botânica Departamento de Biologia, CCBS, UEPB.	As amostras ficaram guardadas na geladeira, em saco plástico, entre 4 e 5 graus Celsius	Julho 2018
		b) Preparação para microscopia das amostras	Dr. Edimar F. M. Lopes (UFPR/UNICAMP)	Laboratório de Anatomia Vegetal, Departamento de Botânica (UNICAMP).	Uso do micrótomo para fatiar as lâminas com as amostras.	Agosto a novembro 2018*
	ETAPA 4	Análises laboratoriais, obtenção das imagens das estruturas celulares	Dr. Edimar F. M. Lopes (UFPR/UNICAMP)	Laboratório de Anatomia Vegetal, Departamento de Botânica (UNICAMP).	Câmera digital Olympus DP71 acoplada a um microscópio Olympus BX51	Abril 2019

FASE C	ETAPA 5	Identificação de padrões visuais	O autor, junto com o orientador Dr. Itamar Ferreira da Silva	Universidade Federal de Campina Grande - UFCG/DDI	Através de analogias visuais	Junho 2019
	ETAPA 6	Aplicação em um conceito de sistema de armazenamento de água.	O autor, junto com o orientador Dr. Itamar Ferreira da Silva	Universidade Federal de Campina Grande - UFCG/DDI	Ilustrações e sketches	Julho 2019

*Entre agosto e novembro de 2018, os servidores técnicos administrativos da Universidade Estadual da Paraíba estavam em greve, impossibilitando o uso dos laboratórios para análise das plantas, o que atrasou nosso planejamento.

3.3.1 Fase A - Etapa 1 - Classificação das amostras

O Instituto Nacional do Semiárido (INSA) deu um grande passo para fortalecer os estudos com cactáceas, inaugurando em sua sede o Cactário Guimarães Duque (CAVALCANTE et al., 2017). Desde então, a diversificação e ampliação da coleção tem ocorrido por meio de coletas, intercâmbios ou doações. Em 2015 e 2016, foram realizadas coletas em diversos estados que compõem o Semiárido e, hoje, o Cactário possui em seu acervo, 133 espécies de cactos e outras suculentas.

Toda essa variedade de espécies serviu como base para o projeto (Levantamento das espécies cactáceas do Cactário Guimarães Duque), um material criado com o objetivo de aprofundar detalhadamente cada espécie armazenada no cactário. No estudo, também foi possível determinar o status de conservação, sua origem (família e subfamílias), localização geográfica e a forma de captação e armazenamento de água das espécies.

3.3.2 Fase A - Etapa 2 - Coleta e caracterização das amostras

Após a separação e definição das plantas a serem analisadas, abaixo tem-se a descrição detalhada conforme o levantamento das espécies cactáceas quanto aos seu status de conservação e armazenamento de água.

a) Mandacaru

Cereus é o nome mais recorrente na nomenclatura das cactáceas colunares. Cereus jamacaru, “mandacaru”, é o representante mais difundido para o Nordeste

brasileiro, e culturalmente importante na cultura local, tendo sido destaque em cordéis e canções do Nordeste do Brasil. Árvore terrícola (que habita na terra), ereta atinge até 18m de altura, possui aréolas densas com espinhos de tamanhos variados, flores brancas com antese noturna e frutos oblongos, quando maduros avermelhados, que no ápice da maturação abrem-se expondo a polpa branca e sementes negras.

Nome vulgar: Mandacaru, Cardeiro ou Jamacaru.

Status de conservação: Considerada pouco preocupante (LC) quanto ao risco de extinção (IUCN-2018⁷).

Origem: Nativa (Endêmica do Semiárido brasileiro)

Distribuição: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe (Taylor & Zappi, 2004; Zappi et al., 2018).

Captação e armazenamento de água: Através de suas raízes superficiais.

Figura 35. Distribuição geográfica do Mandacaru no Nordeste do Brasil.
Exemplos de mandacarus hidratados e desidratados



Fonte: Insa/MCTI



A) Água penetra através das raízes e se acumula na coluna central e epiderme.



B) As colunas se estreitam, contraindo o seu volume.

Fonte: Autoria própria, 2018.

b) Palma Forrageira

Devido à suculência dos cladódios, coloração e sabor dos frutos, algumas espécies têm sido introduzidas na dieta humana por serem fontes alternativas de fibras, minerais e vitaminas. Seus frutos são usados para fabricação de geleias e sucos (*T. inamoena*), além de serem ricas fontes nutricionais na alimentação animal (SOUZA et al., 2007). Plantas subarborescentes, eretas ou prostradas, terrícolas ou

⁷ Lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e a International Union for Conservation of Nature (IUCN-2018).

saxícolas⁸ (plantas que crescem nos solos pétreos ou nas fendas dos rochedos), cladódios aplanados com aréolas inermes, porém com presença de gloquídeos⁹, flores vermelho alaranjadas partindo do ápice dos cladódios, frutos globosos com polpa esverdeada.

Figura 36. Distribuição geográfica da Palma Forrageira no Nordeste do Brasil.
Exemplos de palmas forrageiras, hidratadas e desidratadas



Fonte: Insa/MCTI

Fonte: Autoria própria, 2018.

Nome vulgar: Palmatória, Palmatória-de-espinho e Gogóia.

Status de conservação: Considerada pouco preocupante (LC) quanto ao risco de extinção (IUCN-2018).

Origem: Nativa (Endêmica do Semiárido brasileiro).

Distribuição: Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Taylor & Zappi, 2004; Zappi et al., 2018).

Captação e armazenamento de água: Através de suas raízes superficiais.

c) Coroa-de-Frade

São comumente chamados de “coroa-de-frade” ou “cabeça-de-frade” em virtude da presença do cefálio localizado no ápice da planta (semelhante à tonsura dos padres franciscanos). Subarbusto saxícola, espinhos vermelho-amarronzados, dourados ou acinzentados. Táxon proveniente do cruzamento natural entre *Melocactus zehntneri* e *Melocactus ernestii* subsp. *ernestii* (ver Taylor & Zappi, 2004).

Status de conservação: Espécie não avaliada.

⁸ Tipo de organismo que cresce em cima das rochas.

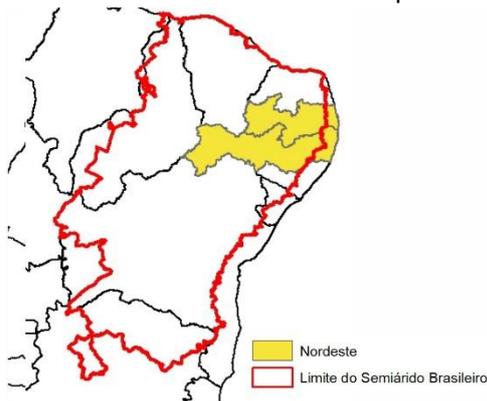
⁹ Espinhos semelhantes a pelos ou espinhos curtos, geralmente farpados, encontrados nas aréolas de cactos da subfamília *Opuntioideae*. Fonte: <https://brainly.com.br/tarefa/22036347#readmore>

Origem: Nativa (Endêmica do Semiárido brasileiro).

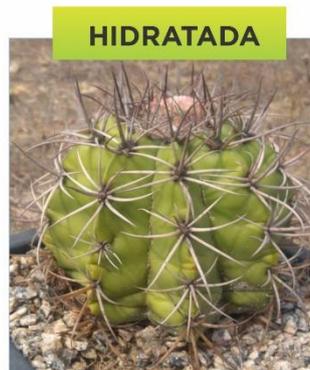
Distribuição: Paraíba e Pernambuco (Taylor & Zappi, 2004; Zappi et al., 2018).

Captção e armazenamento de água: Através de suas raízes superficiais e dos espinhos, acumulando sua água na polpa do caule.

Figura 37. Distribuição geográfica da Coroa de Frade no Nordeste do Brasil.
Exemplos de coroas de frade, hidratadas e desidratadas



Fonte: Insa/MCTI



Com água, a planta adquire uma forma globosa, mas devido a escassez, ela perde volume pois utiliza toda a sua reserva calórica e diminui de tamanho, como uma esponja seca.

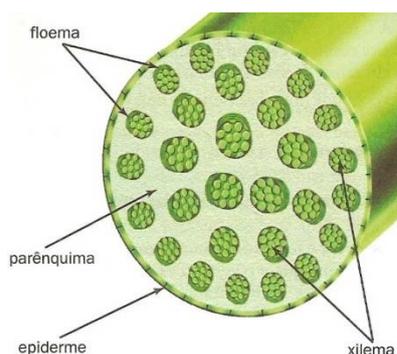


Fonte: Autoria própria, 2018.

3.3.3 Transporte de água

A figura 38 mostra como ocorre o fluxo e o transporte da água e seiva bruta no interior das plantas estudadas. Os tecidos vasculares (xilema e floema) são os responsáveis por essa atividade no (A) Mandacaru, (B) Coroa de frade e (C) Palma forrageira.

Figura 38. Transporte das seivas nas plantas.

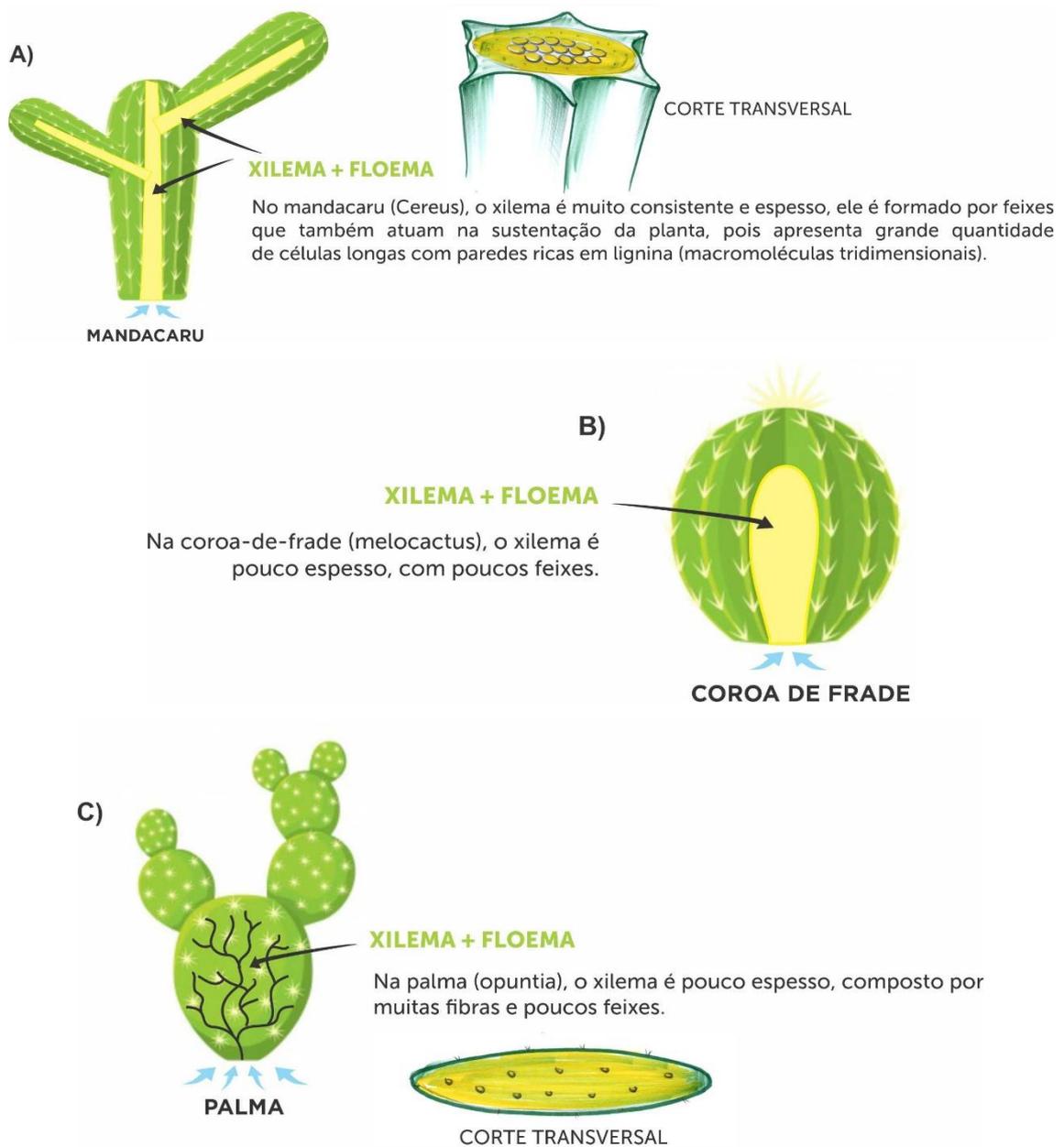


TECIDOS VASCULARES

XILEMA + FLOEMA

O xilema, também conhecido como lenho, possui a função de transportar a seiva bruta dos vegetais, ou seja, os sais minerais e a água.

O floema, também conhecido como líber, é responsável pelo transporte da seiva elaborada (substância aquosa rica em substâncias orgânicas) nos vegetais.



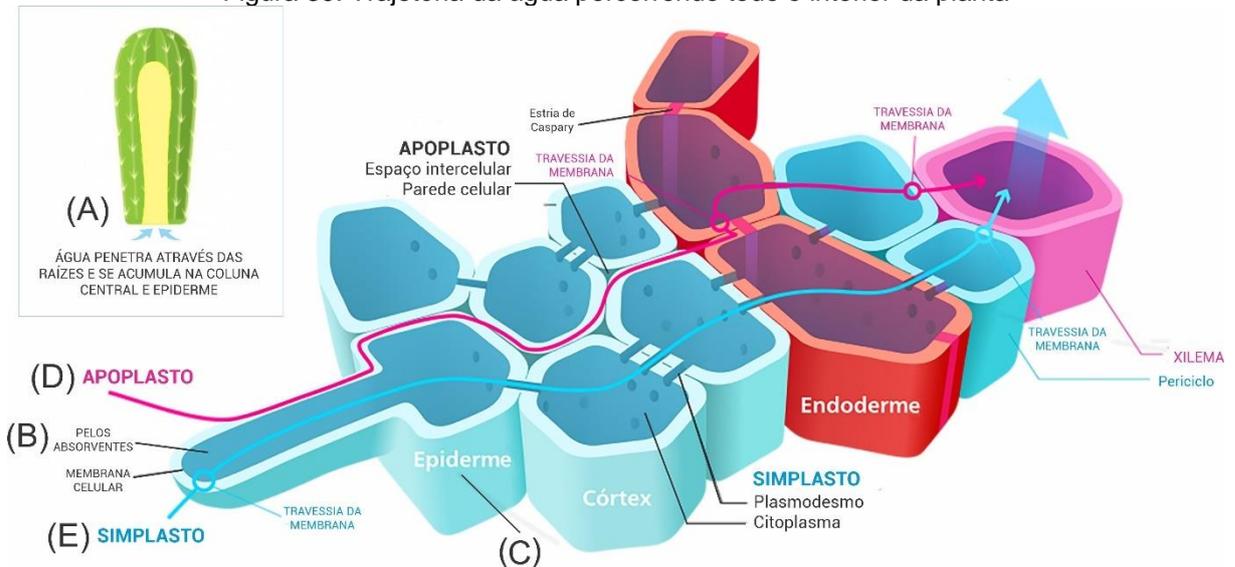
Fonte: Autoria própria, 2019.

3.3.4 Fluxo de água e sais minerais

Com base nas imagens das estruturas internas das amostras analisadas, consultaram-se especialistas em botânica e fisiologia vegetal para buscar orientações sobre como funciona o processo de absorção e armazenamento de água no interior das células (Figura 38). No reino vegetal, a solução de água e sais minerais constitui a seiva bruta. Transportada pelo xilema, essa solução penetra pelas extremidades das raízes (A), especialmente na região dos pelos absorventes (B), onde as paredes das

células apresentam uma ampla permeabilidade. Após a passagem pela epiderme (C), a seiva bruta desloca-se para o centro da raiz e esse deslocamento pode ocorrer por meio de espaços externos às membranas celulares, que formam o Apoplasto (D), ou pelo citoplasma das células da epiderme e do córtex, que constituem o Simplasto (E).

Figura 39. Trajetória da água percorrendo todo o interior da planta



Fonte: Adaptado de <https://www.visualavi.com/informacion-sobre-las-plantas/>

A partir desse detalhamento sobre o fluxo da água e sais minerais e todo o funcionamento do sistema no exterior e interior das plantas, o estudo pretende interpretar de forma funcional, utilizando as analogias, para transpor esse mecanismo para a conceituação projetual, transferindo padrões, geometrias e funcionamentos, visando um melhor aproveitamento energético e de material, mantendo os princípios da biomimética.

3.3.5 Fase B - Etapa 3 - Preparação das amostras

Após a coleta das plantas, realizada na sede do INSA, as amostras selecionadas foram colocadas em ambiente refrigerado para manter suas propriedades orgânicas (acondicionadas em saco plástico e mantidas na geladeira comum, entre 5 e 6 °C). Ficaram durante dois dias até serem levadas ao laboratório de Pesquisa em Botânica, do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, UEPB. A transferência foi realizada em caixa de isopor simples.

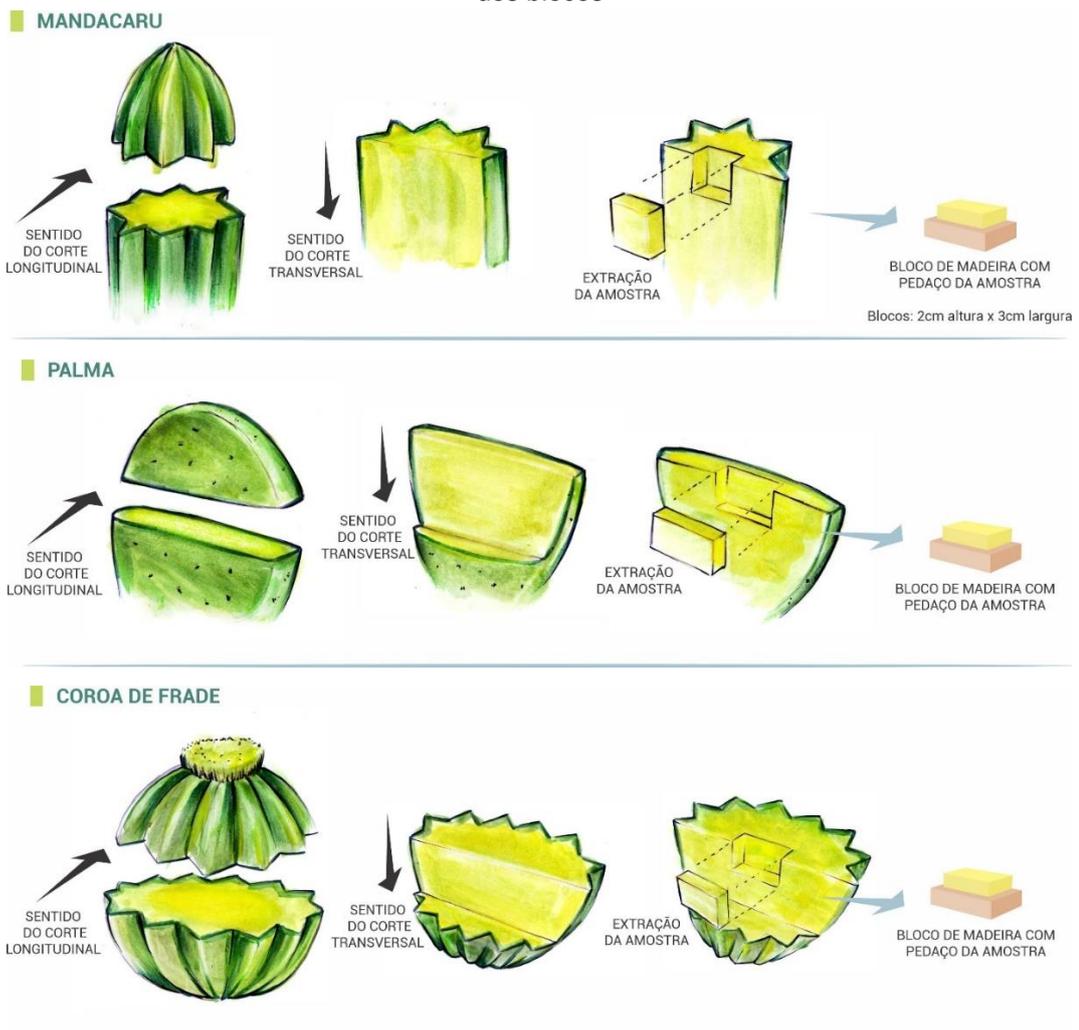
Figura 40. Espécies separadas para envio ao laboratório da UEPB



Fonte: A autoria própria, 2018.

As etapas de preparação, fixação e emblocamento das amostras foram realizadas no laboratório de Pesquisa em Botânica, do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, UEPB em Campina Grande, Paraíba.

Figura 41. Cortes longitudinais e transversais das espécies para extração dos blocos



Fonte: A autoria própria, 2019.

Toda a técnica foi acompanhada seguindo o protocolo de *inclusão de material vegetal em historesina*¹⁰, pela técnica em anatomia vegetal Elimar Alves de Lima. Segundo a norma técnica, os procedimentos são os seguintes:

A) Separação e cortes das amostras para fixação em FAA¹¹ (900 ml de Etanol 50%, 50 ml de ácido acético, 50 ml formol (37% comercial)).

B) Cortes à mão livre: É uma técnica simples e rápida, que requer certa habilidade manual para obtenção de cortes finos, executando-se como se segue:

- selecionar parte adequada do vegetal e apará-la segundo o sentido do corte (transversal ou longitudinal);
- quando material muito rígido, reidratá-lo ou fervê-lo em água;
- segurar o material com uma das mãos e com a outra seccioná-lo com navalha ou lâmina cortante nova;
- receber os cortes em vidro-de-relógio contendo água;
- selecionar os mais delgados, transportando-os com pincel ou estilete.

Figura 42. Fatiamento da amostra de palma, realizada no laboratório da UEPB



Fonte: Elimar Alves de Lima, 2018.

¹⁰ O protocolo com a descrição técnica encontra-se nos anexos do trabalho, com o título Técnicas Básicas de Morfologia Vegetal.

¹¹ FAA 50 ou 70 - compõe-se de formalina, ácido acético e álcool etílico. O etanol produz retração do protoplasma, no entanto o ácido acético o expande; o álcool e a formalina endurecem os tecidos, enquanto o ácido os amacia;

A. Preparação das amostras para fatiamento em micrótomo¹²

O preparo das amostras para seccionamento geralmente envolve os seguintes passos: fixação, desidratação, infiltração e emblocamento.

a1. Fixação

O processo de fixação procura preservar a estrutura celular, sem alterar a química da célula. Os fixadores são agentes físicos (calor, frio, dessecamento) ou químicos, sendo que estes últimos coagulam ou precipitam proteínas celulares e endurecem os tecidos.

Figura 43. Amostras sendo submetidas ao vácuo



Fonte: Elimar Alves de Lima, 2018.

a2. Desidratação

As amostras foram submetidas ao vácuo, para ajudar na substituição do ar e água nos tecidos pelo fixador. Em seguida, foram reduzidas de tamanho para acelerar o processo e desidratadas em série etílica, onde permaneceram por uma hora em cada concentração de álcool etílico: 70%, 90%, 96% e 100%

¹² É o aparelho que faz cortes microscópicos, variando geralmente de 1 a 10 μm (micrómetros) de espessura, em pequenas amostras de material biológico (tecidos vegetais e animais, bem como cultura de células) emblocadas em resinas específicas (parafina, paraplast, historresina, metacrilato) para análise em microscópio óptico. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3tomo>

Figura 44. Desidratação em série etílica



Fonte: Elimar Alves de Lima, 2018.

a3. Infiltração

Em seguida, as amostras foram embebidas em historesina¹³ sintética para serem emblocadas¹⁴.

Figura 45. Preparação para o emblocamento



Fonte: Elimar Alves de Lima, 2018.

a4. Emblocamento

O emblocamento foi realizado em formas de polietileno, material devidamente infiltrado e colocado em um molde (caixinha de papel ou de plástico), que é preenchido

¹³ Encontrada a venda no mercado kits de hidroxietilmetacrilato (historesina) com as substâncias e instruções de procedimento de uso.

¹⁴ Inclusão ou emblocamento é quando a parafina é colocada em moldes metálicos ou plásticos, os quais são aquecidos na estufa, em seguida a amostra é mergulhada na solução onde passa cerca de um dia, garantindo que a parafina fique totalmente sólida. Fonte: <http://lameb.ccb.ufsc.br/protocolo-padrao-de-tecnicas-histologicas-vegetal-para-microscopia-de-luz/>

pela matriz, de modo a formar um pequeno bloco. Este é o tipo de aparado que pode ser encaixado no micrótomo para ser seccionado.

Figura 46. Emblocamento nas formas de polietileno



Fonte: Elimar Alves de Lima, 2018.

Ao final, os blocos foram retirados das formas, e em seguida colados em madeira com tamanho aproximado de 3 x 2 x 2 cm, depois identificados com etiquetas e preparados para o fatiamento, que foi realizado pelo micrótomo.

Figura 47. Blocos montados prontos para análise microscópica.



Fonte: Elimar Alves de Lima, 2018.

O micrótomo permite que se obtenham cortes com espessura definida a partir de material rígido ou, quando frágil, infiltrado em suporte adequado. O micrótomo de deslize secciona o material em cortes individuais, enquanto que o rotatório possibilita a formação de uma “fita”, com cortes sequenciais.

Para que houvesse a análise da estrutura interna das espécies, buscou-se o auxílio de profissionais específicos na área de anatomia vegetal, neste caso, o biólogo Edimar F. M. Lopes, Mestre em Botânica pela Universidade Federal do Paraná (Curitiba) e Doutorando em Biologia Vegetal pelo Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal do Instituto de Biologia (UNICAMP).

A sua função foi a obtenção das lâminas e a utilização do micrótopo rotativo (Figura 46) para realizar os cortes transversais e longitudinais nas amostras. Cada bloco foi fatiado com cortes de 1 x 1,5 cm, e 7 µm de espessura, e, em seguida, as fatias foram coradas com azul de toluidina a 0,05% em tampão citrato.

Figura 48. Micrótopo rotativo modelo Leica®



Fonte: www.lupetec.com.br

Na imagem (A), a amostra é inserida na resina líquida e espera-se a secagem do material na temperatura ambiente para em seguida leva-lo para ser cortado.

Figura 49. Ilustração do procedimento técnico para fatiamento

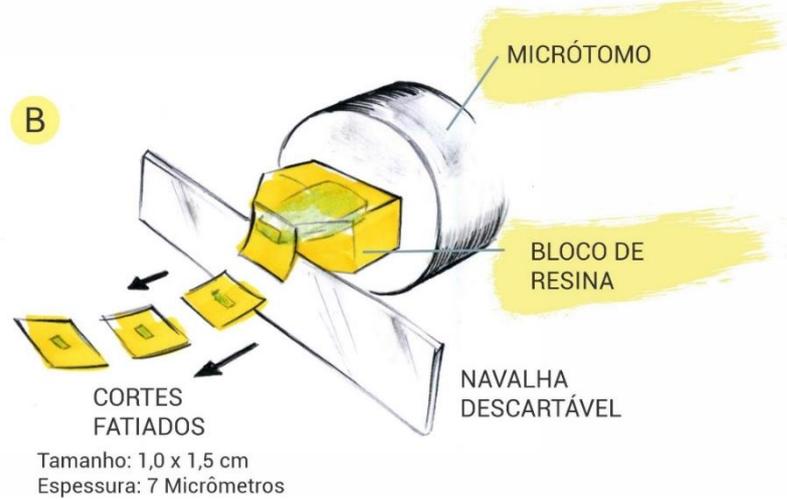


Fonte: Autoria própria, 2019.

a.5. Seccionamento em micrótopo

Após a secagem da resina, a peça se solidifica, sendo fixada e cortada no micrótopo rotativo. Os cortes fatiados são colocados em fundo escuro para facilitar a visualização (B).

Figura 50. Fatiamento executado pelo micrótomo



Fonte: Autoria própria, 2019.

B. Preparação das amostras para microscopia

O preparo das amostras para serem observadas, analisadas e fotografadas através das lentes do microscópio passa pelas seguintes etapas:

b1. Distensão dos cortes

Os cortes são aderidos a lâminas histológicas (as lâminas são fabricadas em vidro neutro, com espessura de 1,0 - 1,2 mm e dimensões de 26 x 76 mm) (C), possuem bordas lisas com arestas lapidadas. Essas lâminas são colocadas em uma placa aquecedora até a distensão dos cortes (ficam translúcidos) e depois levadas à estufa para secar.

Figura 51. Cortes sendo transferidos para a lâmina



Fonte: Autoria própria, 2019.

b2. Desparafinização e diafanização

As lâminas são retiradas da estufa e imersas em xilol para retirada da parafina (matriz). São coradas, usualmente por meio de reidratação, solução de corante e desidratação. O xilol favorece a transparência dos cortes (D).

Figura 52. Amostras sendo coradas para facilitar a observação no microscópio



Fonte: Autoria própria, 2019.

b3. Montagem

Para finalizar, pingam-se gotas de Entellan sobre os cortes, cobrindo-os com uma lamínula (E). A coloração é feita para facilitar a visualização das imagens fotografadas em seguida.

Figura 53. Amostras sendo cobertas com a lamínula para ser fotografada



Fonte: Autoria própria, 2019.

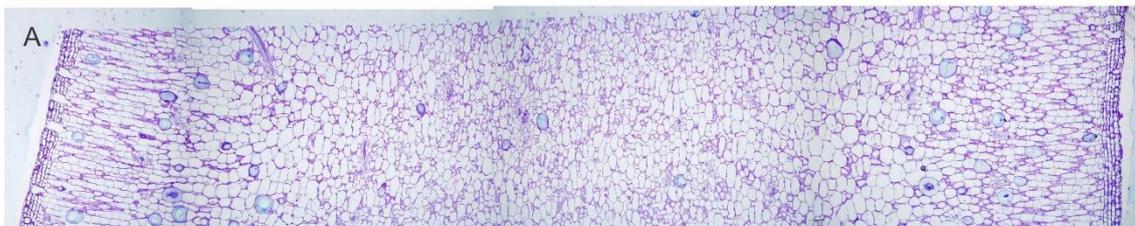
Por fim, as lâminas foram montadas em resina sintética “Entellan®” (Merck®), e as imagens obtidas através de uma câmera digital Olympus DP71 acoplada a um microscópio Olympus BX51.

3.3.6. Fase B - Etapa 4 - Análise laboratorial: Obtenção das imagens das estruturas celulares

As imagens foram capturadas em três níveis de ampliação no Laboratório de Anatomia Vegetal, Departamento de Botânica do Instituto de Biologia - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), localizado em Campinas, São Paulo, no período entre novembro de 2018 até abril de 2019.

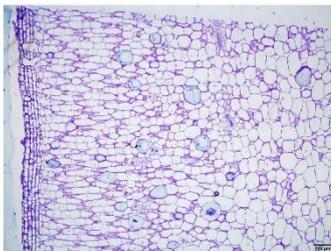
Figura 54. Fotografias das estruturas celulares internas do Mandacaru

MANDACARU

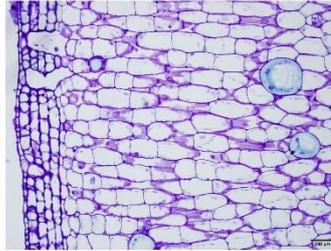


CORTE LONGITUDINAL

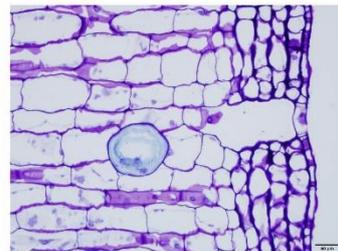
4X



10X

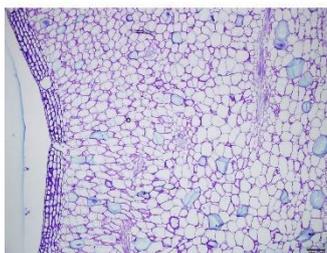


20X

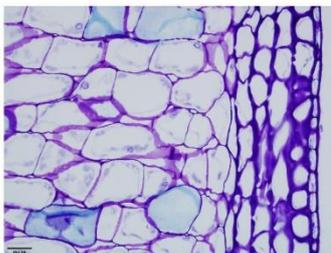


CORTE TRANSVERSAL

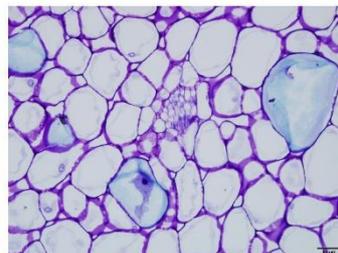
4X



10X



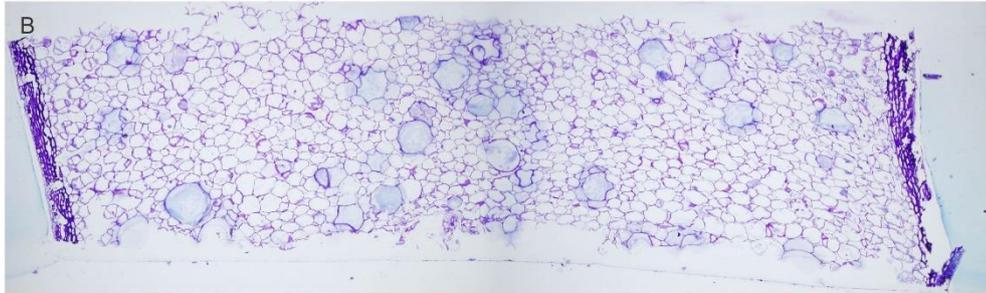
20X



Fonte: Autoria própria, 2019.

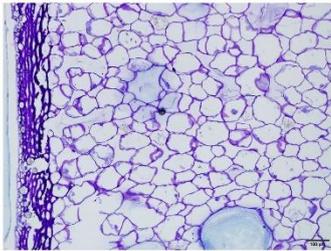
Figura 55. Fotografias das estruturas celulares internas da Palma Forrageira

PALMA FORRAGEIRA

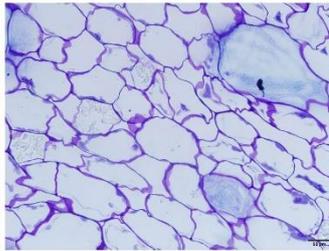


CORTE LONGITUDINAL

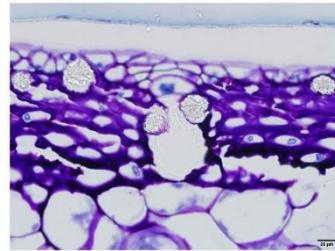
4X



10X

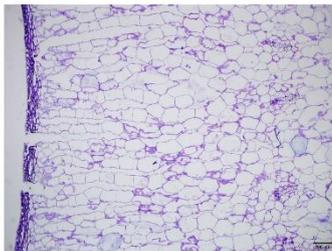


20X

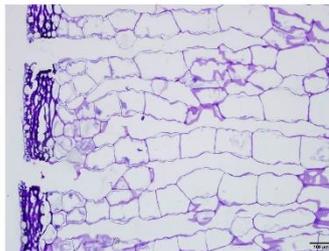


CORTE TRANSVERSAL

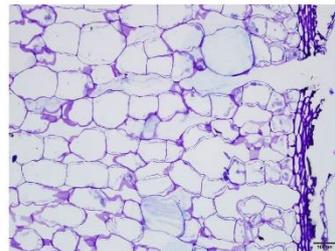
4X



10X



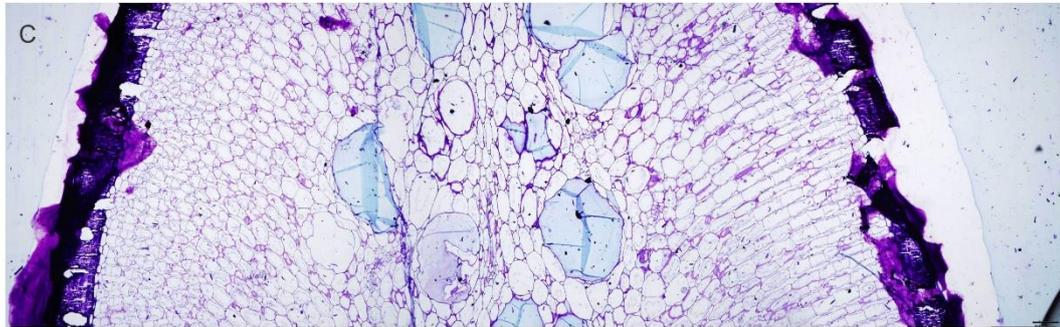
20X



Fonte: Autoria própria, 2019.

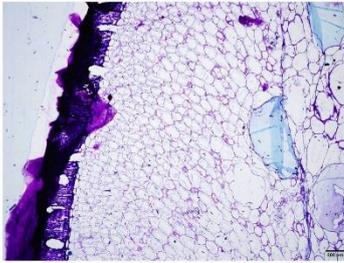
Figura 56. Fotografias das estruturas celulares internas da Coroa de Frade

COROA DE FRADE

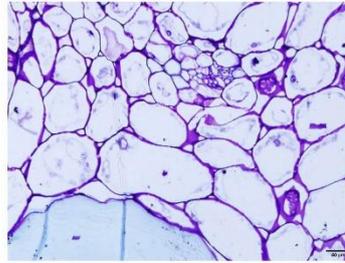


CORTE LONGITUDINAL

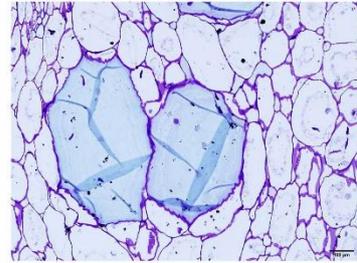
4X



10X

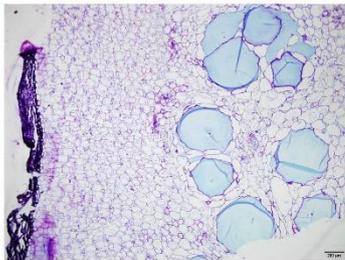


20X

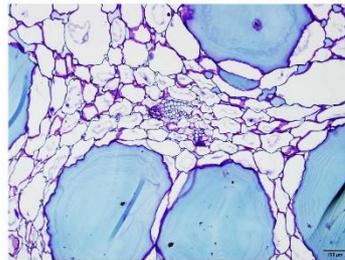


CORTE TRANSVERSAL

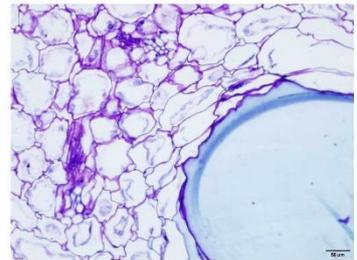
4X



10X



20X



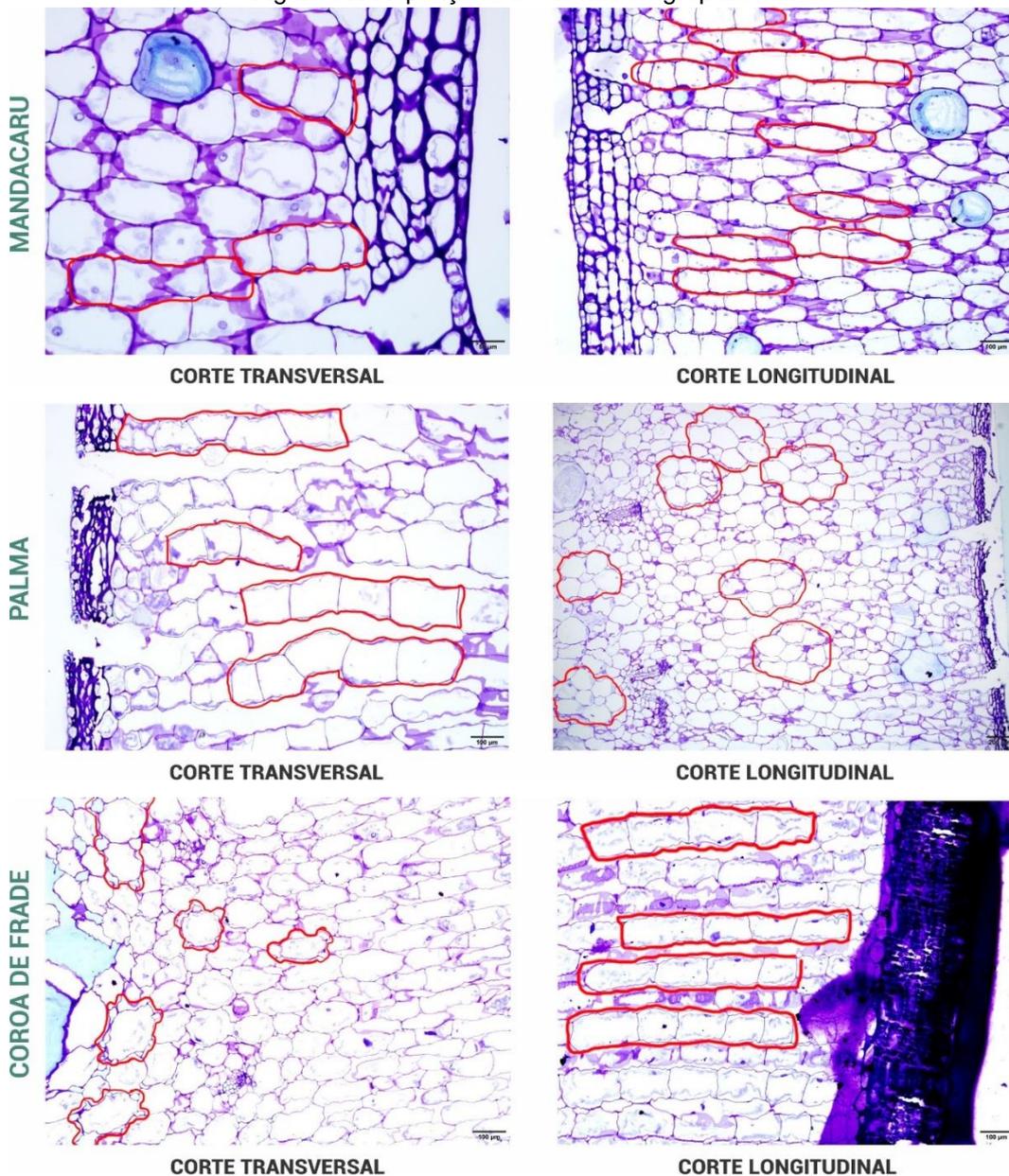
Fonte: Autoria própria, 2019.

CAPÍTULO IV - RESULTADOS

4.1 Fase C - Etapa 5 - Identificação dos padrões visuais

O processo analógico teve início com as informações coletadas sobre a estrutura vegetal e o funcionamento das partes das plantas. Buscou-se também novas fontes de dados sobre formas, funções, organização, princípios e processos. A partir da composição natural, pode-se imitar características e atributos para o desenvolvimento de produtos análogos desde que a analogia seja definida anteriormente, como será mostrado a seguir.

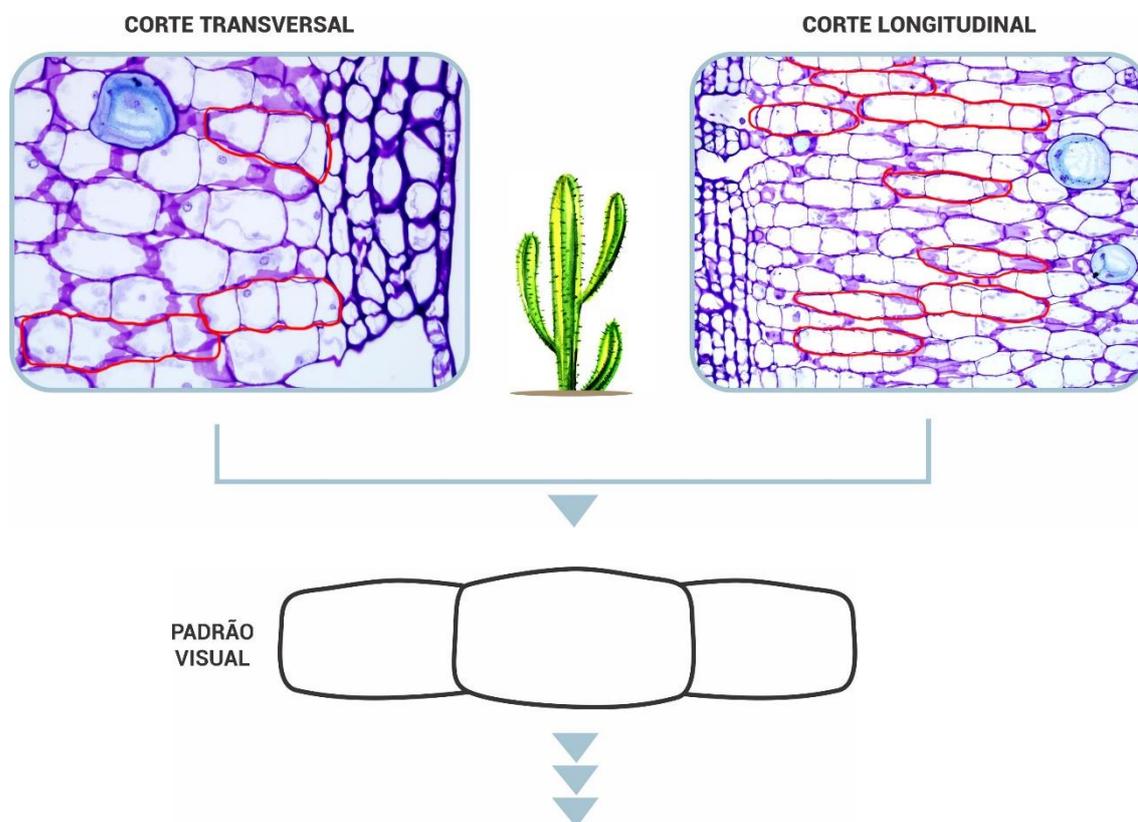
Figura 57. Repetições de formas e agrupamentos celulares

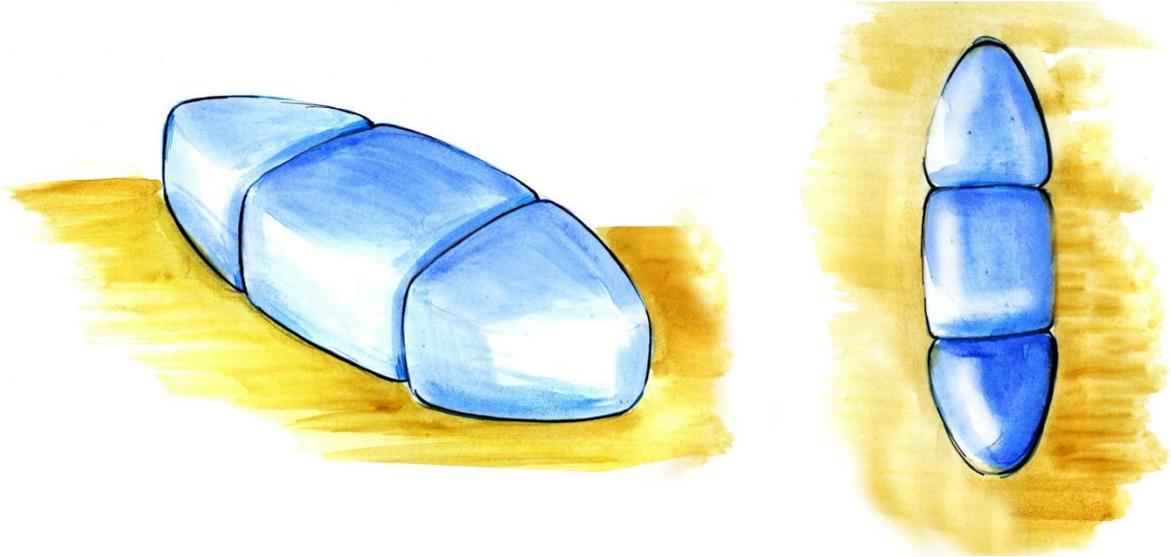


Para a criação dos padrões visuais do estudo, buscou-se verificar a utilização de repetições formais onde grupos de células tivessem a mesma ou aproximada forma, sendo elas agrupadas ou formadas por módulos que, unidos, viravam um grupo ou núcleo independente. O módulo é a menor extensão que inclui todos os elementos de um grupo ou padronagem (RÜTHSCHILLING, 2008). Este pode apresentar um formato de uma figura geométrica ou ainda ser algo amórfico. Rütshilling (2008) relata que antes de configurar um padrão é de primordial importância o designer se apropriar dos conceitos referentes ao módulo e os seus sistemas de repetição. Assim, chegou-se à sequência abaixo de esboços estruturais baseados em cada conjunto de imagens das espécies analisadas. As formas extraídas e criadas com base nas imagens de cada planta são apresentadas a seguir:

- O mandacaru gerou uma sequência de elementos em blocos de 3 módulos, com a parte central semelhante a um retângulo e as laterais tendo suas bordas mais angulares.

Figura 58. Estudos baseados na composição celular do mandacaru

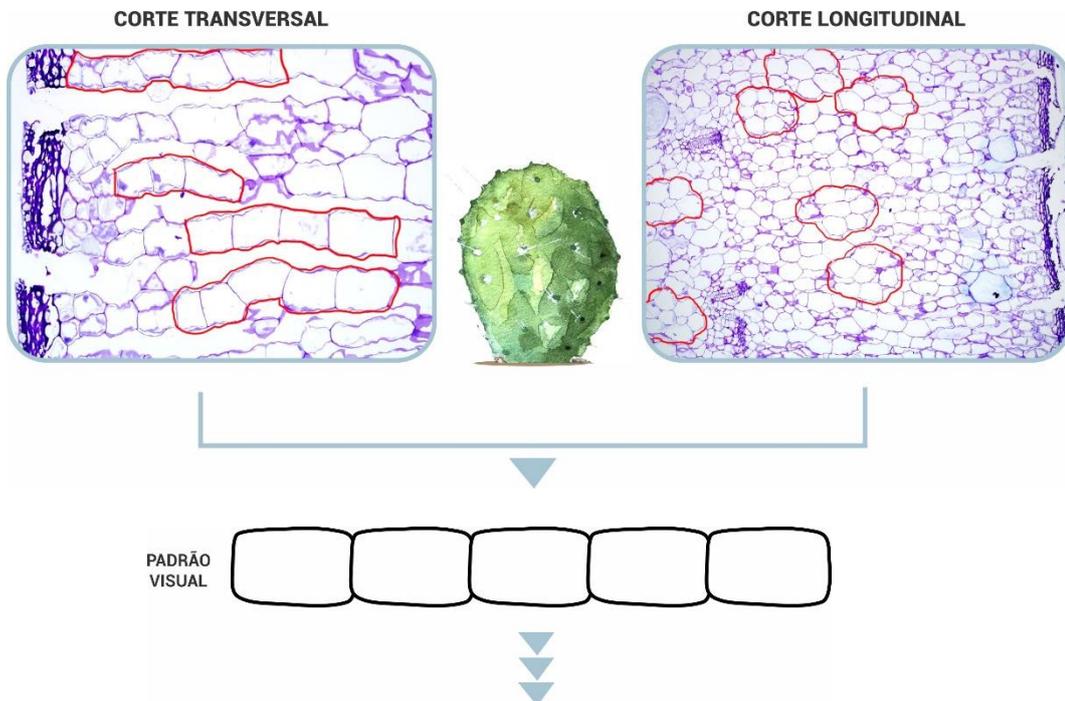


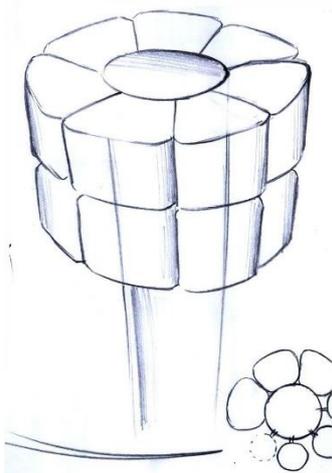


Fonte: Autoria própria, 2019.

- Na palma forrageira, os elementos repetitivos se agrupam de 5 em 5 módulos, com tamanhos aproximadamente iguais e em sequência repetitiva.

Figura 59. Estudos baseados na composição celular da Palma Forrageira

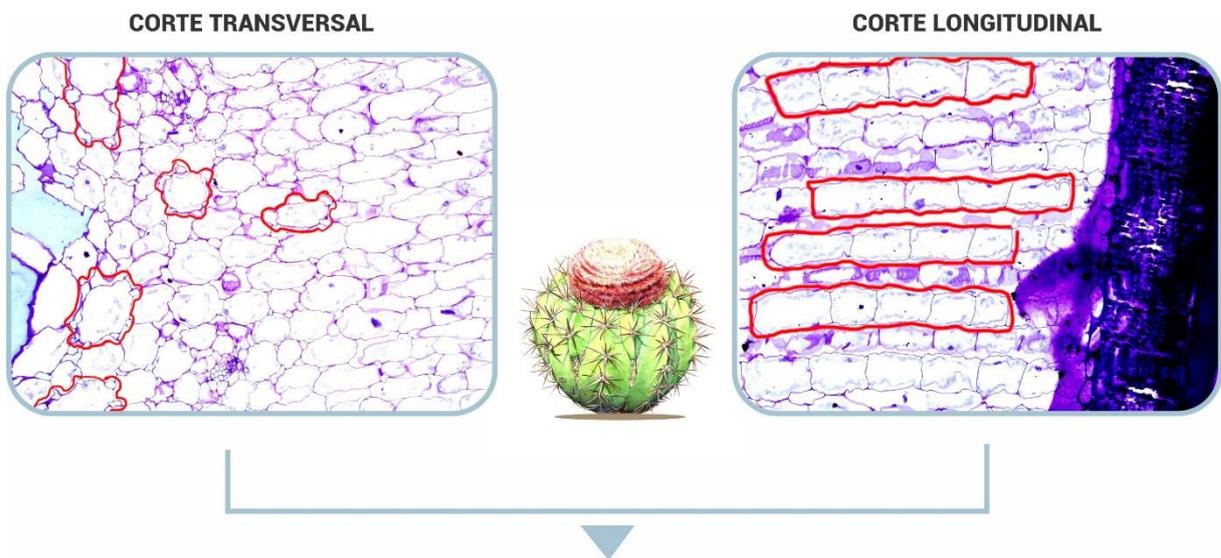


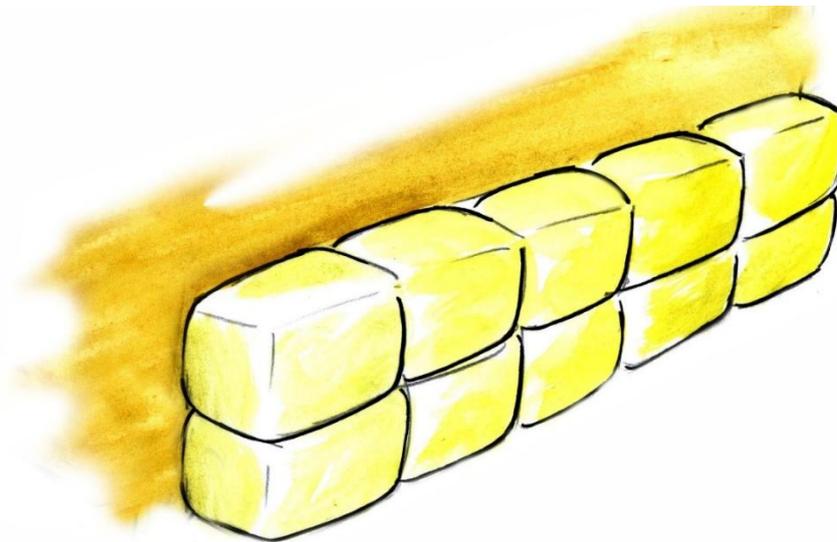
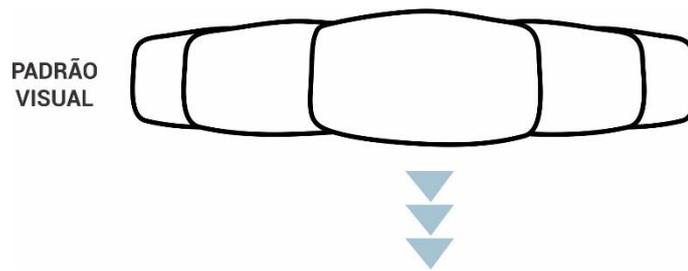


Fonte: Autoria própria, 2019.

• E, por fim, a coroa-de-frade, onde pode-se observar que existem duas formações de elementos repetitivos, uma com blocos em sequência de 3 em 3 aproximadamente retangulares, e, na outra formação, a disposição das células ocorre de forma circular, semelhante ao formato de uma flor.

Figura 60. Estudos baseados na composição celular da Coroa de Frade





Fonte: Autoria própria, 2019.

4.2 Fase C - Etapa 6 - Aplicação em um conceito de sistema de armazenamento de água

Com base nas imagens ilustradas geradas a partir das fotografias das estruturas internas das plantas, foi definido que seria utilizado o formato base do padrão visual da coroa-de-frade, por representar um sistema sequencial repetitivo que pudesse ser replicado sem muitas variações formais. A partir da definição do módulo para produção do conceito, teve início a fase projetual das partes do sistema e simulação do seu funcionamento (Figura 59).

Figura 61. Detalhe do funcionamento do sistema

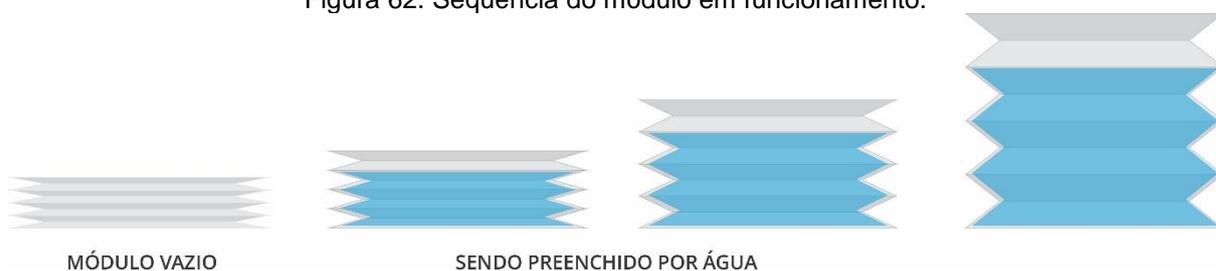


Fonte: Autoria própria, 2019.

a) Melhoria técnica

A partir da observação do seu funcionamento, foi percebido que, pelo formato quadrangular do módulo, mesmo quando vazio, ocuparia muito espaço na área onde estivesse instalado, então sugerimos a mudança na sua estrutura lateral, deixando seu formato sanfonado, permitindo que seu tamanho ficasse reduzido quando vazio, e aumentasse de volume quando cheio.

Figura 62. Sequência do módulo em funcionamento.

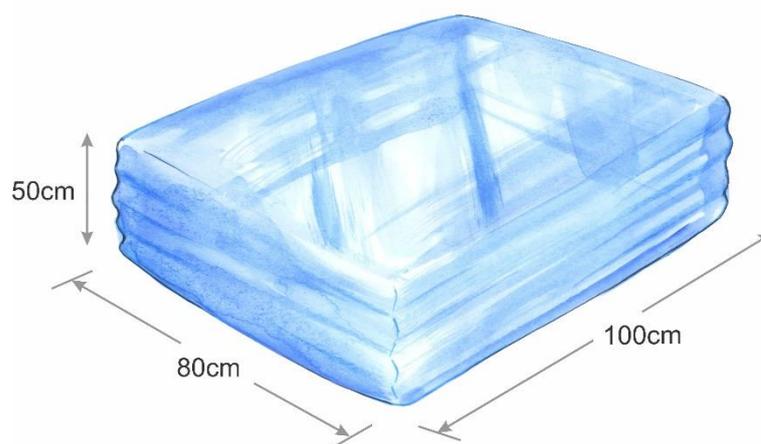


Fonte: Autoria própria, 2019.

b) Dimensionamento / Desenho Técnico

Cada módulo tem as seguintes medidas:

Figura 63. Dimensionamento do módulo



Fonte: Autoria própria, 2019.

c) Capacidade

Segundo cálculos de volume, cada módulo poderá ser capaz de armazenar até 400 litros de água.

Figura 64. Volume do módulo



Fonte: Autoria própria, 2019.

d) Material / Especificação Técnica

Na busca por encontrar um material que se adeque às condições climáticas do Semiárido, e que possua a resistência e capacidade de manutenção facilitada para a construção do sistema conceitual, foi sugerido a utilização do ETFE, (Etileno tetrafluoretileno), utilizado em projetos distribuídos pelo mundo (Figura 60). Comparado com o vidro, o ETFE transmite mais luz, possui um melhor isolamento, custa de 24% a 70% menos para instalação e é 99% mais leve. Além disso, este polímero é capaz de suportar cerca de 400 vezes o seu próprio peso, podendo ser esticado até três vezes seu comprimento sem que haja perda de elasticidade. Tem uma superfície antiaderente que resiste à sujeira (a própria chuva lava a sujeira que se acumula do lado de fora) e tem previsão para durar cerca de 50 anos (ETFE, 2017).

Um exemplo da sua utilização pode ser visto em painéis para cobrir a parte externa de grandes espaços, como o estádio (A) Allianz Arena (estádio do Bayern de Munique, clube de futebol alemão), o (B) Centro Aquático Nacional de Pequim (Cubo d'água dos jogos olímpicos de 2008) e o (C) Projeto Éden, a maior estufa do mundo, localizada na Inglaterra.

Figura 65. Alguns exemplos de aplicação do ETFE



Fonte: <http://canteirodiobras.blogspot.com/2010/09/etfe-o-substituto-do-vidro.html>

Etileno tetrafluoroetileno (ETFE) é um plástico à base de flúor. Ele foi projetado para ter alta resistência à corrosão em uma ampla faixa de temperatura. O filme ETFE é autolimpante (devido à sua superfície antiaderente) e reciclável. É propenso a perfurações por bordas afiadas e, portanto, usado principalmente para telhados. Pode ser esticado (até 3x) e ainda ser dilatado se ocorrer alguma variação no tamanho (devido à expansão térmica, por exemplo).

e) Compactação

Por ser um polímero, o material é moldável e facilmente compactado, podendo ser manuseado de forma semelhante aos colchões infláveis.

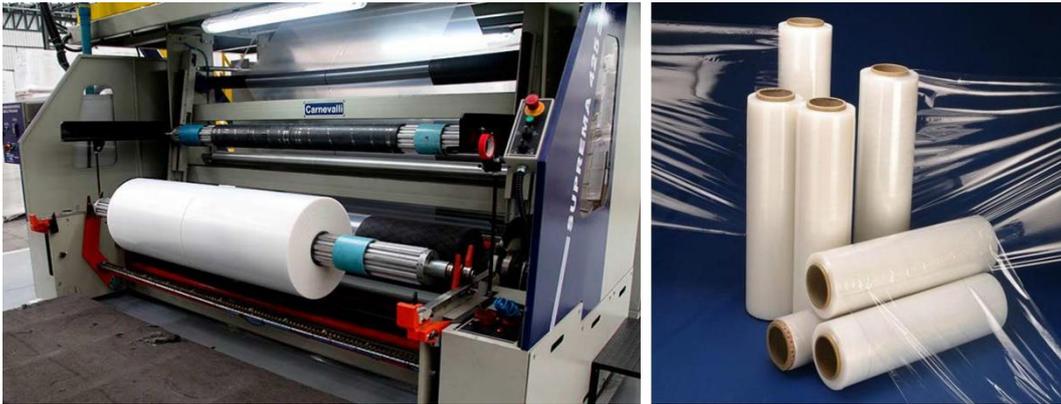
f) Manutenção

Ao contrário de plásticos potencialmente perigosos para a saúde, como o PVC, o ETFE é facilmente reciclável e de longa duração, mantendo-se em condições climáticas extremas. É rentável para produzir e tem um processo de fabricação e transporte de baixa energia, graças, em grande parte, ao seu peso leve. Devido à sua elasticidade, o ETFE funciona bem durante desastres naturais, como terremotos, e é autoextinguível em caso de incêndio.

g) Sistema de fabricação

Como o ETFE é um polímero, seu processo de fabricação é bastante simples, por meio de extrusão, método muito comum que faz parte do processo produtivo de filmes plásticos, chapas, barras e peças de metal e até mesmo de alimentos. Basicamente seu principal componente é a prensa hidráulica, ou extrusora, que força a passagem do material pela matriz, que controla o curso e a velocidade de extrusão.

Figura 66. Bobinas sendo enroladas na máquina extrusora



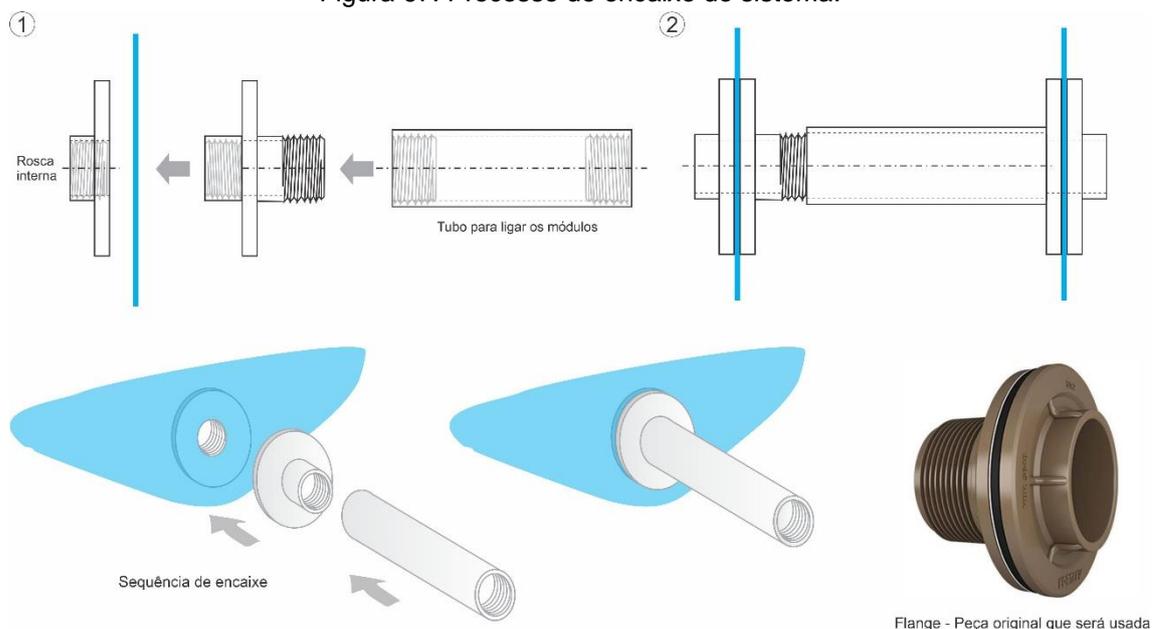
Fonte: <https://www.infoescola.com/engenharia/extrusao/>

Com o plástico aberto, é criado um molde planejado com as medidas específicas para o tipo de terreno e capacidade de armazenamento desejado. O material é cortado e suas partes unificadas utilizando processo de termocolagem, que é efetuado com prensas que seguem procedimentos de tempo, temperatura e pressão, de acordo com as especificações de cada tipo de material.

h) Sistema de conexão

O sistema de conexão é bastante simples, utiliza-se tubos de PVC com espessura de 50 à 100mm, e a montagem é feita através de encaixe e vedação com cola adesiva de poliuretano.

Figura 67. Processo de encaixe do sistema.



Fonte: Autoria própria, 2019.

4.3 Aplicações biomiméticas

A água é um recurso natural essencial para a sustentação da vida e do meio ambiente. Ela desempenha um papel importantíssimo no processo de desenvolvimento econômico e social de um país, estado, cidade ou comunidade, sendo historicamente um dos principais limitantes para o crescimento e desenvolvimento econômico de civilizações.

No Semiárido brasileiro, a ausência de gestão das águas tem sido debatida há muito tempo e o que se pode ver é que poucas medidas eficazes foram criadas para resolver ou atenuar o sofrimento da população que necessita desse bem tão precioso. Assim, a captação de água da chuva no meio rural tem se apresentado como uma alternativa viável e sustentável. Apesar de muito antigo, há atualmente um crescimento do interesse pela utilização desta prática em vários países do mundo. No Brasil, a captação começou a popularizar-se a partir da década de 1970, quando a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) começou a fazer algumas experiências no Nordeste do Brasil.

No ambiente rural, a água pode ser utilizada de diversas maneiras, dependendo da finalidade do uso: descargas de vasos sanitários; irrigação de plantas e culturas agrícolas; lavagem de estábulos; lavagem de pisos e calçadas; lavagem de automóveis e máquinas agrícolas; isolamento térmico; recreação; combate a incêndio entre outros.

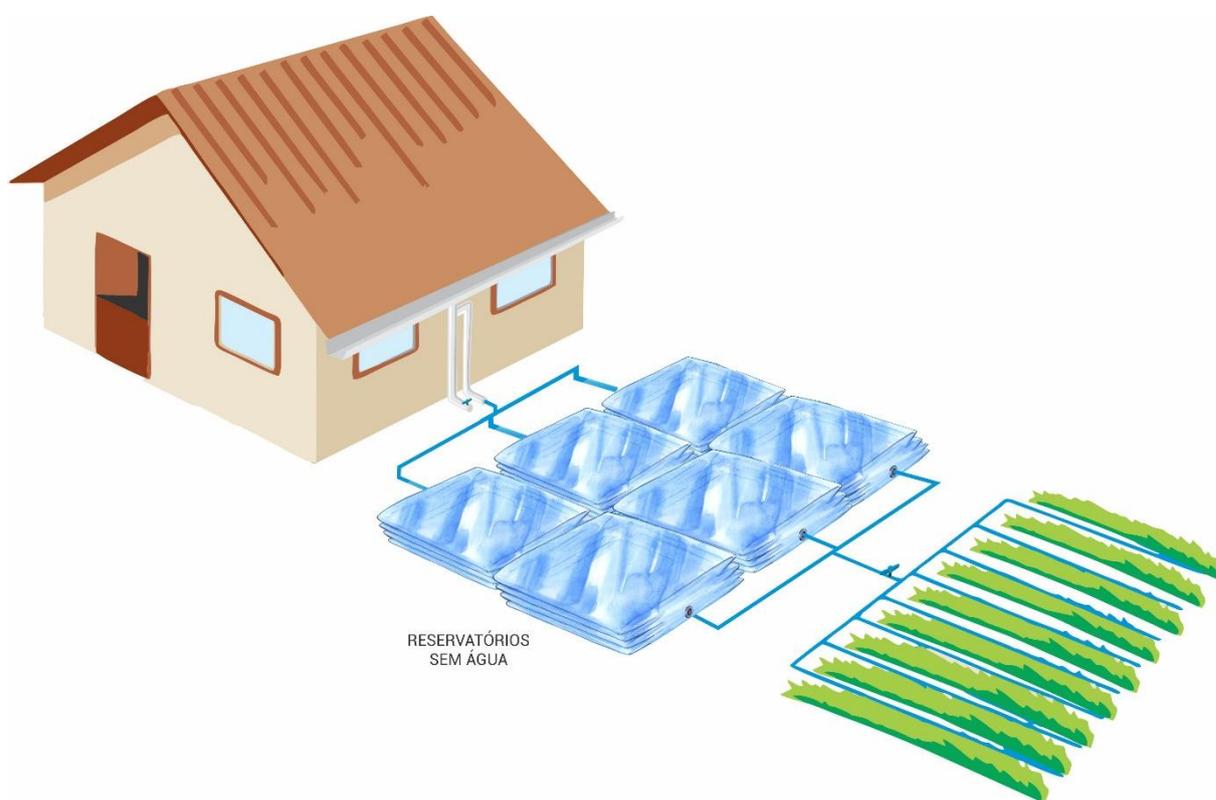
Com a inspiração natural baseada nos princípios das plantas do Semiárido estudadas nesse projeto, e utilizando os estudos formais e analógicos para a criação de modelos para armazenamento de água, acredita-se que seja viável a criação de um sistema simples que possa atender às demandas de água dos habitantes da região. Mas, para que essa viabilidade seja efetiva, depende-se 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 com a disponibilidade pluviométrica local para dimensioná-lo corretamente, sem inviabilizar economicamente o sistema.

4.4 Simulação do conceito em uso

No planejamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva é importante averiguar a quantidade que poderá ser coletada e armazenada, para posteriormente determinar a necessidade de seu tratamento, garantindo uma qualidade compatível com os usos previstos.

Abaixo, uma demonstração sequencial de funcionamento do sistema de armazenamento inspirado no funcionamento celular das plantas analisadas, especificamente a formação celular da coroa-de-frade.

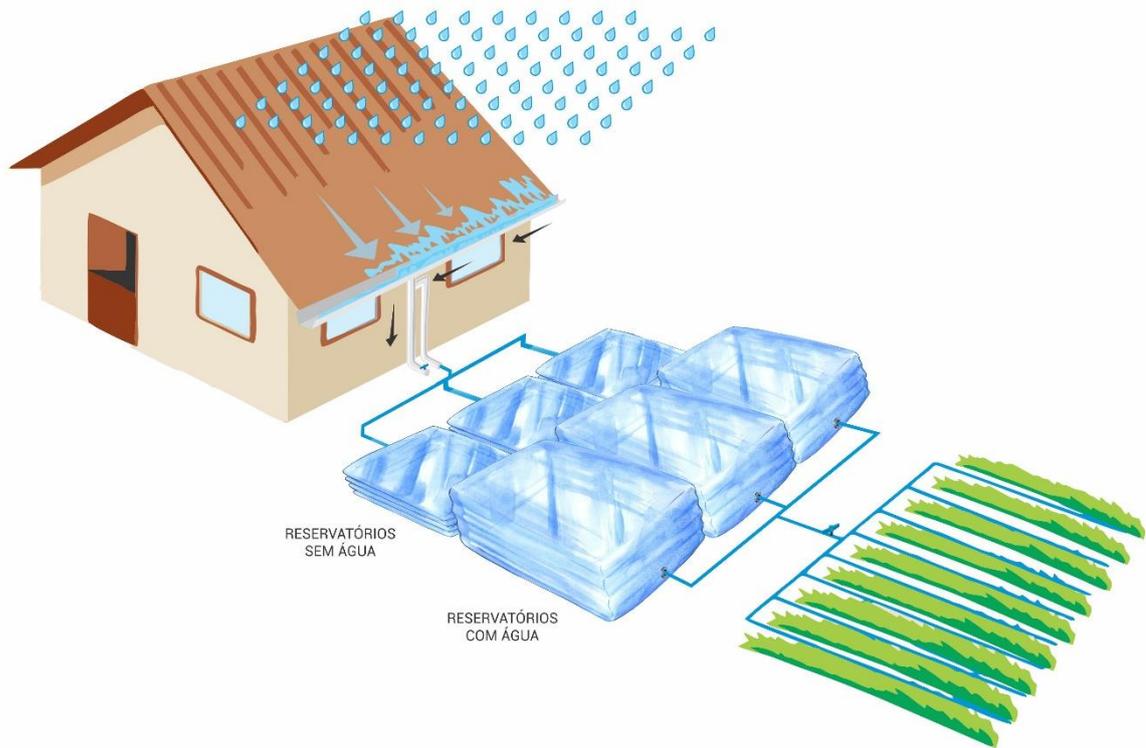
Figura 68. Módulos sanfonados acoplados à um sistema de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2019.

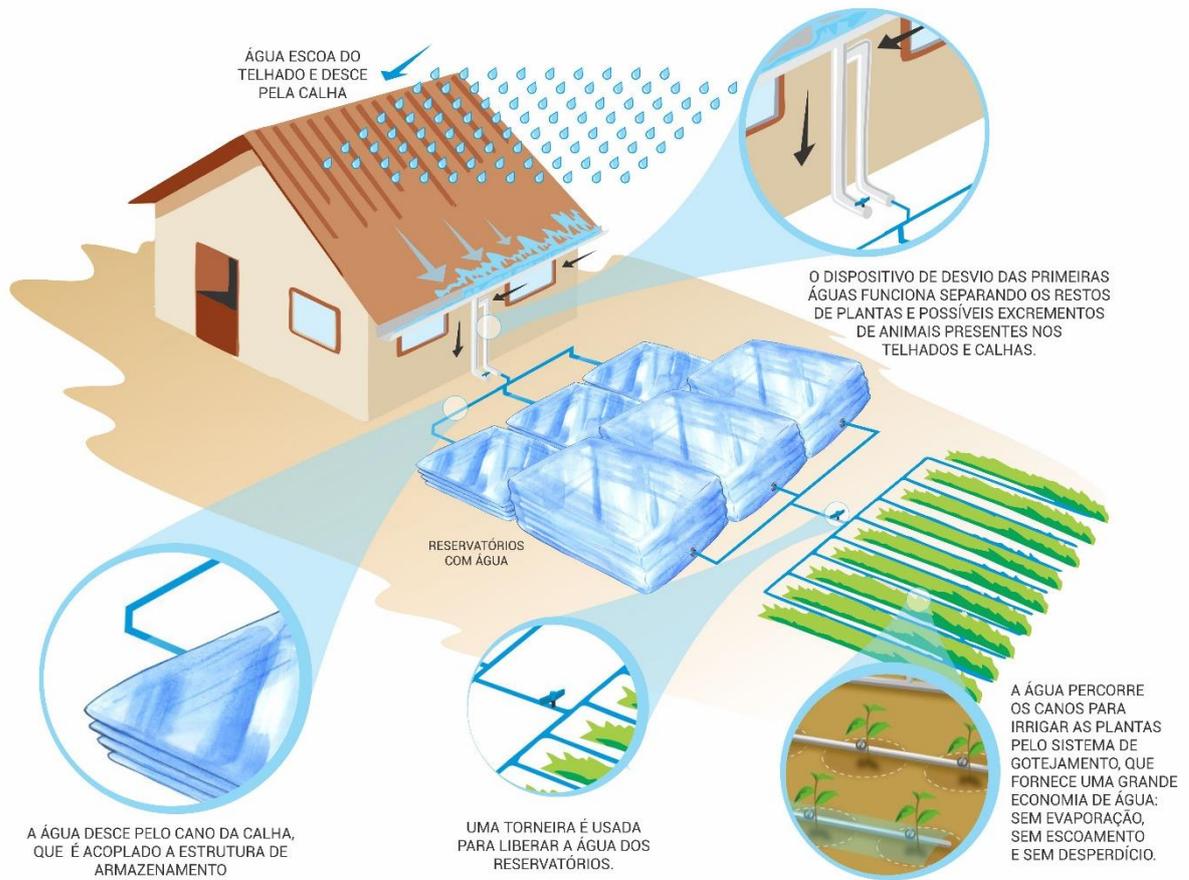
Quando chove, a água passa pela calha, escoar pelos reservatórios em formato sanfonado, que vão se enchendo, e, em seguida, a água canaliza para a lavoura.

Figura 69. Funcionamento do sistema quando chove



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 70. Detalhamento de funcionamento do sistema



Fonte: Autoria própria, 2019.

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES

Como conclusão, podemos destacar os seguintes pontos: as plantas xerófilas possuem sistemas de captação e armazenamento de água bastante eficientes e complexos, a partir de questões de ordem química e física, dificultando o uso dessas propriedades de forma direta no desenvolvimento de soluções com o mesmo objetivo.

A falta de conhecimentos técnicos relacionados à fisiologia das plantas e procedimentos laboratoriais se apresentaram como as maiores dificuldades de se trabalhar a biomimética, haja vista a necessidade de acompanhamento de profissionais especializados e de estruturas físicas e equipamentos laboratoriais específicos para se obter os resultados desejados no decorrer da pesquisa.

A infraestrutura do INSA, bem como do laboratório da UEPB e da UNICAMP foram fundamentais para que os experimentos fossem realizados da melhor forma possível. O resultado final de um sistema de armazenamento de água modular, compacto, higiênico e de fácil manutenção provou que o Semiárido, através do olhar de pesquisadores, pode ser usado como objeto de estudo para aplicação biomimética na geração de soluções que melhorem o dia a dia do homem do campo.

A solução encontrada permite a construção de um sistema de armazenamento de água adaptável à necessidade hídrica de acordo com o número de moradores de uma residência ou comunidade. Ele pode ser desmontado e armazenado quando não estiver em uso e permite fácil manutenção através da substituição de implementos e módulos que se danificarem, não inviabilizando todo o sistema. Mostra-se também como uma solução higiênica, pois não ocorre o contato direto com a água reservada por objetos contaminantes como baldes e bacias.

Para a área de Design, a biomimética se apresenta como uma metodologia poderosa para uso das analogias funcionais de plantas e animais no desenvolvimento de produtos e sistemas, todavia, há a necessidade de aprofundamento científico a partir do trabalho em conjunto com profissionais capacitados e seus laboratórios com o objetivo de criar uma base sólida de conhecimento mensurável e replicável, muitas vezes difícil de se obter em se tratando de pesquisa em Design.

O resultado final desta dissertação vem fomentar a pesquisa biomimética no país, que nas regiões Sul e Sudeste já se apresentam em desenvolvimento, porém na região Nordeste ainda necessita de incentivos, tanto financeiros como de profissionais que se interessem pelo assunto.

Para o PPG Design, a pesquisa vem dar um passo importante, haja vista a possibilidade de patentear seu resultado final, e, além disso, certificar a biomimética como área de estudo dentro da linha de pesquisa ergonomia, ambiente e processos.

Para mim, a pesquisa foi a realização de um desejo antigo como designer, que foi traduzir os significados e potencialidades da cultura regional em um projeto que trouxesse benefícios para uma comunidade ou região. Sempre tive admiração pela vegetação xerófila, sua capacidade de regeneração e a forma como as espécies conseguem se adaptar e sobreviver em condições tão severas. Uma outra coisa que sempre me fascinou foi o modo de vida do sertanejo, desde o período do cangaço, convivendo e aprendendo com a vegetação da caatinga. Essa curiosidade me fez buscar conhecimento cada vez mais aprofundado em entender como aquele homem do campo foi sagaz em aprender com os ensinamentos da natureza, e, assim, replicar seus conhecimentos para melhorar seu modo de vida. Foi então que descobri a biomimética, e percebi que a própria origem e evolução humana foi moldada pelas condições naturais que a terra propiciava, então comecei a entender que aquela resiliência e aprendizado se tornara uma ciência, hoje estudada e aplicada nos mais diversos tipos de tecnologia ao redor do mundo.

Por fim, acredito que consegui reunir o Semiárido e a vegetação xerófila, a biomimética como fonte de inspiração natural, e o design com seu poder agregador de capacidades e técnicas, resultando em uma ideia que pode ser executada com êxito não só na região semiárida, mas possível de aplicação em qualquer região do planeta.

CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS

ALTSHULLER G. **The innovation algorithm, TRIZ, systematic innovation and technical creativity**. Worcester, MA. Technical Innovation Center Inc.: 1999.

ALVES, J. J. A. Caatinga do Cariri Paraibano. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, 2008. p. 19-25.

ALCOFORADO, M. G.; NASCIMENTO, A. D.; NEVES, F. A geometria da natureza: Um estudo da funcionalidade das formas biológicas para aplicação no design. **Revista Graphica 13**. Florianópolis, 2013.

ANDRADE, G. R. **Biomimética no design: abordagens, limitações e contribuições para o desenvolvimento de produtos**. Dissertação (mestrado em Design) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Design. 2014.

ARECES, A. **Cactaceae. In Flowering plants of the Neotropics**. (N. Smith, S.A. Mori, A. Henderson, W.D. Stevenson & S.V. Heald, eds.). Princeton and Oxford University Press, 2004. p.73-76.

ARTICULAÇÃO Semiárido Brasileiro. Disponível em: www.asabrazil.org.br Acesso em: 15 fev. 2019

ARRUDA, E., Melo-de-Pinna, G.F. & Alves, M. Anatomia dos órgãos vegetativos de Cactaceae da caatinga pernambucana. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 28. 2005. p. 589-601.

ARRUDA A. J. **Como a Biônica e Biomimética se relacionam com as estruturas naturais na busca de um novo modelo de pesquisa projetual**. Grupo de Pesquisa em Bidesign e Artefatos Industriais, UFPE, 2012.

ARRUDA, A. J. V. **Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza**. São Paulo: Blucher, 2018.

BARRETO, A. F.; BARBOSA, J. K.; **Mecanismos de resistência à seca que possibilitam a Produção em condições do semiárido nordestino**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMIÁRIDO, 3. **Anais [...]** Areia, 2012.

BENNYUS, J. M.; **Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza**. 3ª ed. São Paulo, SP: Pensamento-Cultrix Ltda, 1997.

BESOURO do deserto inspira um design premiado. Gif 15. Disponível em: <http://gif15.blogspot.com/2012/11/besouro-do-deserto-inspira-um-design.html> Acesso em: 20 mai 2017.

BIOMIMICRY. Disponível em: www.biomimicry.net Acesso em: 14 jan 2016.

BUSHAN, B. **Biomimetics: lessons from nature – an overview**. In: Phil. Trans. R. Soc. A. v. 367, no. 1893, 2009. p.1445 -1486.

BRITTON & ROSE Luetzelb. **Integrated Taxonomic Information System (ITIS)**. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. in Guala G, Döring M 2019.

CAMARGO, C. E. Pires de. **Método de transposição semiótica para modelagem computacional biomimética**. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado em Mídias Digitais). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2014.

CAPRA, F.; LUISI. **The systems view of life: A Unifying Vision**. New York: Cambridge University Press. 2014.

CAVALCANTE, A.; Menezes, M. O. T.; **Cactos do Semiárido do Brasil: guia ilustrado**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012. 103p.

CAVALCANTE, A. **Cactos do Semiárido do Brasil: (ler e colorir)**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2015. 26p.

CAVALCANTE, N.B.; RESENDE, G.M. Consumo de xiquexique (*Pilocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.) Bly. ex Rowl) por caprinos no semiárido da Bahia. **Revista Caatinga**, Bahia, v.20, n.1, 2007.

CONTI, I. L. **Estratégia de convivência com o semiárido brasileiro**. Brasília: IABS, 2013. p. 19-26. Disponível em: <http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf_bib.php?%20COD_ARQUIVO=17908>. Acesso em: 15 set. 2017.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciano de Oliveira. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DETANICO, F. B., Teixeira, F., & da Silva, T. L.,. **A Biomimética como Método Criativo para o Projeto de Produto**. PGDesign: Design & Tecnologia, UFRGS, 02, p.101-113, 2010.

DUQUE, J.G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 4. Ed. Fortaleza (BRA): Banco do Nordeste do Brasil. 2004, 330p.

ETFE, o substituto do vidro. Canteiro di Obras. Disponível em: <http://canteirodiobras.blogspot.com/2010/09/etfe-o-substituto-do-vidro.html/>> Acesso em 18 jun. 2019

FERREIRA, G. B. **Sustentabilidade dos agroecossistemas com barragens subterrâneas no semiárido paraibano**. Ano de depósito. 139 f. Dissertação (Mestrado em agroecologia e desenvolvimento rural). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

FORNIÉS, I. L.; BERGES-MURO, L. Approach to biomimetic design. Learning and application. **REVISTA DYNA**, [S.l.], v. 81, n. 188, p. 181-190, nov. 2014. Disponível em <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/41671>>. Acesso em: 26 jan. 2018

GNADLINGER, J. P1+2: Programa uma terra e duas águas para um Semiárido sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5. **Anais [...]**. 2005, Teresina/PI. Disponível em:< http://www.abcmac.org.br/files/simposio/5simp_gnadlinger_programap1mais2.pdf >. Acesso em: 18 set. 2017.

GRUBER, P. **Biomimetics in Architecture**. Strauss GmbH, Mörlenbach, Alemanha: Springer Wien New York, 2013.

GUO, Z.; Liu, W.; Su, B.L.. Superhydrophobic surfaces: from natural to biomimetic to functional. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 353 n. 2, p. 335-355, 2011.

HUANG, Jia-Yen, Shih-Tian Siao. Development of an integrated bionic design system. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 14, n. 2, p.310-327, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2014-0057> Acesso em: 26 jul 2016.

INSTITUTO Nacional do Semiárido. Disponível em: <http://www.insa.gov.br> Acesso em: 13 mai. 2019

KANSO, Mustafá Ali. Biomimética: a inovação inspirada na natureza. **Hypescience**. Disponível em: <http://hypescience.com/biomimetica-a-inovacao-inspirada-na-natureza> Acesso em 20 fev. 2018

KINDLEIN, W. Jr.; GUANABARA, A. S.; SILVA, E. A.; PLATCHECK, E. R. **Proposta de uma Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biônica**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Brasília: P&D, 2004. Disponível em <<http://www.ndsm.ufrgs.br/portal/downloadart/8.pdf>>. Acesso em:

LACERDA, Clécio. **Design de superfície biomimética para aplicação em atividades desportivas**. 2015. 254p. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil) Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal. 2015.

LACERDA, C. et al. **O contexto Biomimético Aplicado ao Design de superfícies Têxteis**. REDIGE: Portugal. v.3, n. 03. 2012.

LAKATOS. E. M; MARCONI M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2003. p. 103.

LUCENA, C. M.; Costa, G.; Carvalho, T.; Guerra, N.; Quirino, Z. Uso e conhecimento de cactáceas no município de São Mamede (Paraíba, nordeste do Brasil). **Revista de Biologia e Farmácia**, Itaporanga, volume especial, 2012.

LYNCH, Patrick. O que é o ETFE e por que ele se tornou o polímero favorito dos arquitetos? **Arch Daily**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/914923/o-que-e-o-etfe-e-por-que-ele-se-tornou-o-polimero-favorito-dos-arquitetos> Acesso em 18 jun. 2019

MAK, T.W, SHU, L.H.; **Abstraction of biological analogies for design**. CIRP Annals vol. 53, Issue1, p.117-120. Toronto, 2004.

MELO, L. R. DA C.; ANDRADE NETO, C. O. DE. Variação da qualidade da água da chuva em três pontos distintos da cidade de Natal - RN. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: ABES, 2007.

NOBEL, P. S. **Environmental biology of agaves and cacti**. New York: Cambridge University Press, 1988, 166p.

PLANTAS xerófitas: espécies e características. **Flores.CulturaMix**. Disponível em: <http://flores.culturamix.com/flores/plantas-xerofitas-especies-e-caracteristicas/> Acesso em 29 mai. 2018.

PRODANOV, C. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RÜTHSCHILLING, E. A. **Design de Superfície**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2008.

SANTOS, D. B. dos; MEDEIROS, S. de S.; BRITO, L. T. de L.; GNADLINGER, J.; COHIM, E.; PAZ, V. P. da S.; GHEYI, H. R. (Org.). **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande: INSA: ABCMAC, 2015. 440p.

SANTOS et al. **A invenção do Nordeste e outras artes**. 5.ed. São Paulo: Cortez, 2011. 340p.

SANTOS, Delfran B. et al. **Captação, Manejo e Uso de Água de chuva**. [S.l]: Insa, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/livro/99-livros/15478-captacao-manejo-e-uso-de-agua-de-chuva.html> Acesso em 16 mai. 2018.

SILVA, A. DE S.; PORTO, E. R. **Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do tropico Semiárido do Brasil**: Tecnologias de baixo custo. Petrolina: Embrapa CPATSA, 1982. 128p.

SILVA, R. F.; PIGNATA, M. I. B. Charles Darwin e a teoria da evolução. In: CONGRESSO PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 11 (11º CONPEEX). **Anais [...]** Goiânia: Universidade Federal de Goiás-UFG, 2014.

SILVA, T.C; SANTOS, E. M; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; OLIVEIRA, J.S.; MACEDO, C. H. O.; PERAZZO, A. F.; BEZERRA, H. F. C. Conservação de forrageiras xerófilas. **REDVET - Revista eletrônica de Veterinária**, Málaga, v. 15, n. 3. 2014. p. 1-10.

SILVA, G.T. **Contribuição para o conhecimento de espécies da família cactaceae: usos pela medicina popular e potencial terapêutico**. 2014, p.49. TCC (Graduação em) Farmácia. Universidade Federal da Paraíba, Cidade, 2014.

SILVA, T. B.; [et al.] Comportamento de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva como barreiras sanitárias para proteção de cisternas. **Revista brasileira de recursos hídricos**. v. 16, n. 3, p. 81- 93, 2017.

SISTEMA de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro. Disponível em: <http://sigsab.insa.gov.br> Acesso em: 02 jun 2017.

SOUZA AC, GAMARRA-ROJAS G, ANDRADE AC & GUERRA NB. Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (*Tacinga inamoena*, Cactaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 2, p. 292-295, 2007.

SOARES, T. **A biomimética e a geodésica de Butminster Fuller. Uma estratégia de biodesign**. 2016, 315 f. Dissertação (Mestrado em Design). Departamento de Design do Centro de Artes e Comunicação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2016.

SORANSO, P.; Clécio de Lacerda; Raul Fangueiro. O contexto Biomimético Aplicado ao Design de superfícies Têxteis. **REDIGE**, Portugal, v. 3, n. 03, dez. 2012.

SOUZA, Carlos Eduardo. **Marko Brajovic**: Arquitetura, biomimética e design. Habitus Brasil. Disponível em: <http://www.habitusbrasil.com/marko-brajovic-arquitetura-biomimetica-e-design> Acesso em 18 mai. 2019

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª edição. Porto Alegre: Editora Artmed, 2004.719p.

TAYLOR NP. The genus *Melocactus* (Cactaceae) in Central and South America. **Bradeleya**, v. 9, n. 1, p 80, 1991.

TAYLOR NP & ZAPPI D. **Cacti of Eastern Brazil**. Royal Botanic Gardens, 2004.

TUDO sobre o sonar. **Sonar Física**. Disponível em: <http://sonarfisica.blogspot.com/2015/12/historia-do-sonar.html> Acesso em 05 out. 2016.

VATTAM, S. S.; HELMS, Michael E.; GOEL, Ashok K. A content account of creative analogies in biologically inspired design. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**. Cambridge, v. 24, n. 4, p. 467-481, 2010.

VIANA, Joana M. **Desenvolvimento de materiais para isolamento térmico com base em biomimética**. 2015, 190 f. (Dissertação de mestrado Internacional em Sustentabilidade do Ambiente Construído). Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2015.

VINCENT, J. F. et al. Biomimética: Sua Prática e Teoria. **Journal of the Royal Society Interface** v. 3, n. 9, p. 471-482, 2006.

ZAPPI D, TAYLOR NP, SANTOS MR & LAROCCA J. **Cactaceae in lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1750>. Acesso em: 29 out. 2016.

TÉCNICAS BÁSICAS DE MORFOLOGIA VEGETAL

A morfologia vegetal, ao estudar a forma descrevendo as relações espaciais dos elementos estruturais, utiliza-se de recursos diversos, tais como: lupa para a análise de órgãos (escala em cm ou mm), microscópio fotônico para a observação de sistemas, tecidos e células (escala em μm), e microscópio eletrônico para o estudo de organelas celulares (escala em Å). Para que o material possa ser visualizado ao microscópio deve ser processado segundo microtécnicas vegetais.

MICROTÉCNICA VEGETAL

O material a ser observado ao microscópio deve ser fino e transparente, de modo a permitir a passagem de luz. Pode ser preparado **a fresco**, indicado para estruturas delicadas ou muito hidratadas e para testes histoquímicos; ou pode ser **fixado**, o que detém os processos vitais de autólise. As amostras são fragmentadas e diafanizadas, ou seccionadas à mão livre ou por micrótomo (de deslize, rotativo, ultramicrótomo etc.), obtendo-se preparações temporárias, semipermanentes ou permanentes.

CORTES HISTOLÓGICOS

CORTES À MÃO LIVRE

É uma técnica simples e rápida, que requer certa habilidade manual para obtenção de cortes finos, executando-se como se segue :

- selecionar parte adequada do vegetal e apará-la segundo o sentido do corte (transversal ou longitudinal);
- quando material muito rígido, reidratá-lo ou fervê-lo em água;
- quando muito delicado, incluí-lo em suporte (isopor, cortiça, medula de embaúba ou sabugueiro etc.);

- segurar o material com uma das mãos e com a outra seccioná-lo com navalha ou lâmina cortante *nova*;
- receber os cortes em vidro-de-relógio contendo água;
- selecionar os mais delgados, transportando-os com pincel ou estilete;
- *se necessário*, diafanizar com solução de cloral hidratado a 60% ou de hipoclorito de sódio a 20%;
- lavar os cortes com água;
- corá-los com reagentes ou corantes adequados;
- para **preparação temporária**, confeccionar as lâminas utilizando como meio de montagem água ou solução de etanol a 30%, cobrindo com lamínula;
- para **preparação semipermanente**, confeccionar as lâminas com solução de glicerina a 60% ou gelatina glicerinada, cobri-las com lamínula e lutar com esmalte incolor;
- para **preparação permanente**, desidratar progressivamente os cortes em série etanólica (50, 70, 90, 100 e novamente 100%) e diafanizar em série etanol-xilólica (3:1, 1:1, 1:3 e xilol puro); montar as lâminas com bálsamo-do-canadá ou resina sintética.

CORTES EM MICRÓTOMO

O micrótomo permite que se obtenham cortes com espessura definida, a partir de material rígido ou, quando frágil, infiltrado em suporte adequado. O micrótomo de deslize secciona o material em cortes individuais, enquanto que o rotatório possibilita a formação de uma “fita”, com cortes sequenciais.

O preparo das amostras para seccionamento geralmente envolve fixação, desidratação, infiltração e emblocamento.

Fixação

O processo de fixação procura preservar a estrutura celular, sem alterar a química da célula. Os fixadores são agentes físicos (calor, frio, dessecação) ou

químicos, sendo que estes últimos, coagulam ou precipitam proteínas celulares e endurecem os tecidos.

Os fixadores químicos podem ser **simples** ou **misturas**. Os primeiros são geralmente soluções aquosas de uma única substância, como :

- ◆ etanol a 70% - precipita as proteínas e os ácidos nucleicos e dissolve os lipídios;
- ◆ ácido acético a 5% - precipita as nucleoproteínas e difunde-se com facilidade;
- ◆ acetona - poderoso solvente de lipídios e preservante de enzimas;
- ◆ tetróxido de ósmio - forte oxidante, muito volátil e irritante;
- ◆ formalina ou formaldeído a 40% - endurece os tecidos, embora não dissolva os lipídios.

Entre os segundos - as misturas - diversas substâncias têm demonstrado poder de fixação superior, a saber :

- ◆ FAA 50 ou 70 - compõe-se de formalina, ácido acético e álcool etílico. O etanol produz retração do protoplasma, no entanto o ácido acético o expande; o álcool e a formalina endurecem os tecidos, enquanto o ácido os amacia;
- ◆ FPA - modificação do fixador anterior, onde o ácido acético é substituído pelo ácido propiônico;
- ◆ Nawaschin - não causa endurecimento nem retração do material, porém possui pequena penetração.

O tempo para que ocorra fixação é variável, dependendo do fixador escolhido, do volume da peça a ser fixada e da resistência da mesma à penetração dos reagentes. Exemplificando, material delicado, como folhas membráceas, pode ser fixado em 12h, enquanto que ramos lenhosos podem necessitar de 7 dias. Depois de fixado, o material é estocado em solução de etanol a 70% indefinidamente.

Desidratação

A desidratação remove a água dos tecidos fixados e endurecidos, para que a matriz possa penetrar nas células e tornar o material resistente ao impacto do micrótomo. O método de desidratação mais comum emprega série etanólica, onde o

material passa sucessivamente por soluções cada vez mais concentradas de etanol (50, 70, 90, 100 e 100%), por um tempo determinado.

Infiltração

Quando a matriz escolhida é insolúvel em etanol, este deve ser substituído gradualmente por um solvente onde a mesma seja solúvel, para que possa penetrar no interior da célula. No caso da matriz ser parafina, após desidratação, o material passa por série etanol-xilólica (3:1, 1:1, 1:3, xilol puro), o que o torna apto a receber a matriz. Proceda-se à substituição gradativa do xilol pela parafina, adicionando-se parafina fundida em estufa ao solvente e descartando-se metade da mistura, repetidamente após tempo adequado.

Frequentemente, a matriz de escolha é a parafina, por ser menos onerosa e apresentar bons resultados. Entretanto, pode-se optar por :

- ◆ paraplast - mistura de parafina altamente purificada com polímeros plásticos e dimetilsulfóxido, que permite melhor penetração e infiltração (aderência);
- ◆ celoidina - nitrato de celulose, que se solubiliza em mistura de álcool e éter, em ambiente anidro;
- ◆ metacrilato - historresina ou metacrilato glicol diestearato, solúvel em água e usado para materiais duros.

Inclusão ou emblocamento

O material devidamente infiltrado é colocado em um molde (caixinha de papel ou de plástico), que é preenchido pela matriz, de modo a formar um pequeno bloco. Este é aparado e pode ser encaixado no micrótomo para ser seccionado.

Seccionamento em micrótomo

O bloco devidamente aparado é colocado sobre suporte, fixado no micrótomo e seccionado. A fita formada ou os cortes individuais são apoiados em fundo escuro para facilitar a visualização.

Distensão dos cortes

Os cortes são aderidos a lâminas histológicas, geralmente utilizando-se dos adesivos de Haupt ou Bissing. Essas lâminas são colocadas em placa aquecedora até distensão dos cortes (ficam translúcidos) e depois levadas à estufa para secar.

Desparafinização e diafanização

As lâminas são retiradas da estufa e imersas em xilol para retirada da parafina (matriz). São coradas, usualmente por meio de reidratação, solução de corante e desidratação, como se segue : série etanol-xilólica (1:3, 1:1, 3:1 e etanol a 100%), série etanólica descendente (100, 90, 70 e 50%), coloração com solução de corante a 50% em etanol, série etanólica ascendente (50, 70, 90, 100 e 100%) e série etanol-xilólica (3:1, 1:1, 1:3 e xilol puro). O xilol favorece a transparência dos cortes.

Montagem

À lamínula adiciona-se o meio de montagem (bálsamo-do-canadá, euparal ou resinas sintéticas: Harlecco, Permound etc.) e esta é sobreposta na lâmina, deixando secar.

DISSOCIAÇÃO DE ELEMENTOS CELULARES

Os cortes histológicos apresentam as estruturas bidimensionalmente. Para se obter uma visão tridimensional, os elementos celulares devem estar isolados, mediante técnica de dissociação ou maceração. Essa técnica consiste na separação mecânica e química das células, por meio de reagentes que desintegram a lamela média. Vários métodos podem ser aplicados, tais como :

- ⇒ método de Jeffrey - mistura de ácido nítrico a 10% e ácido crômico a 10%, na proporção de 1:1;
- ⇒ método de Foster - mistura de etanol a 70% e ácido clorídrico concentrado (3:1);

⇒ método de Franklin - mistura de água oxigenada 20 vol. e ácido acético glacial (1:1).

DIAFANIZAÇÃO OU CLARIFICAÇÃO

A técnica de tornar semitransparentes peças vegetais de tamanhos variados, geralmente laminares, é denominada de diafanização ou clarificação. Basicamente consiste na dissolução do conteúdo celular, restando apenas a parede celular, o que se presta eficientemente para o estudo da nervação foliar.

Os reagentes empregados para diafanização comumente são soluções aquosas de hidróxido de sódio a 5-20%, cloral hidratado a 30-60% ou hipoclorito de sódio a 10-20%. Para se confeccionar lâminas permanentes, o material diafanizado é corado, desidratado em série etanólica e etanol-xilólica e montado com bálsamo ou resina, entre lâmina e lamínula.

PREPARO DE SOLUÇÕES

Fixadores

Nawaschin

ácido crômico a 1%	75ml
ácido acético glacial	5ml
formalina	20ml

FAA 50 (ou 70)

formalina	5ml
ácido acético glacial	5ml
álcool etílico a 50% (ou 70%)	90ml

Craft III

ácido crômico a 1%	30ml
ácido acético a 10%	20ml
formalina	10ml
água destilada	40ml

Corantes e reagentes

Sudan IV

Sudan IV	5g
etanol a 80%	100ml
glicerina	10ml

Lugol

iodo	1g
iodeto de potássio	3g
água destilada	300ml

Cloreto de zinco iodado

cloreto de zinco	30g
iodo	0,9g
iodeto de potássio	5g
água destilada	14ml

Floroglucinol clorídrico

etanol a 95%	100ml
ácido clorídrico	25ml
floroglucinol	1g
água destilada	25ml

Sulfato férrico

sulfato férrico	10g
formalina	5ml
água destilada	100ml

Cloreto férrico

cloreto férrico	10g
carbonato de cálcio	traços
água destilada	100ml

Azul de astra

azul de astra	0,5g
ácido tartárico	2g
água destilada	100ml

Fucsina básicafucsina básica
etanol a 50%0,5g
100ml**Safranina**safranina
etanol a 95%1g
100ml

* no momento do uso, diluir em água destilada (1:1).

Adesivos**Adesivo de Haupt**gelatina
fenol
glicerina
água destilada1g
2g
15g
100ml**Adesivo de Bissing**formalina
adesivo de Haupt
água destilada6ml
1,4ml
194ml**Meio de montagem****Gelatina glicerinada de Kaiser**glicerina
gelatina
fenol
água destilada70ml
10g
1,4g
60ml

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BERLYN, G.P. & MIKSCHE, J.P. Botanical microtechnique and cytochemistry. Ames: Iowa State University Press, 1976.

BUCHERL, W. Técnica microscópica. 3.ed. São Paulo: Polígono, 1962.

FOSTER, A.S. Practical plant anatomy. 2.ed. Princeton: D. Van Nostrand, 1949.

FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. Nature, London, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

JOHANSEN, D.A. Plant microtechnique. New York: McGraw-Hill Book, 1940.

ROESER, K.R. Die Nadel der Schwarzkiefer-Massenprodukt und Kunstwerk der Natur. Mikrokosmos, Stuttgart, v. 61, n. 2, p. 33-36, 1962.

SASS, J.E. Botanical microtechnique. 2.ed. Ames: Iowa State College Press, 1951.