

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CAMPUS ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE DESIGN

RAFAEL RATTES LIMA ROCHA DE AGUIAR

# MANDACARU: UM PRINCÍPIO PRÓ-DESIGN

Caruaru, 20 de Fevereiro de 2013

RAFAEL RATTES LIMA ROCHA DE AGUIAR

# MANDACARU:

UM PRINCÍPIO PRÓ-DESIGN

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste como pré-requisito para a obtenção da conclusão do curso de Bacharel em Design, sob a orientação do Prof. Msc. Danilo Émmerson Nascimento Silva.

Caruaru, 20 de Fevereiro de 2013

Catálogo na fonte

Bibliotecária Simone Xavier CRB4 - 1242

A282m Aguiar, Rafael Rattes Lima Rocha de.

Mandacaru: Um Princípio Pró-Design. / Rafael Rattes Lima Rocha de Aguiar. -  
Caruaru: O Autor, 2013.

146f, il.; 30 cm.

Orientador: Danilo Émmerson Nascimento Silva

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de  
Pernambuco, CAA. Design, 2013.

Inclui bibliografia

1. *Cereus Jamacaru DC* (Mandacaru). 2. Biônica. 3. Design. 4. Projeto  
conceitual. I. Silva, Danilo Émmerson Nascimento. (orientador). II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE DESIGN

PARECER DE COMISSÃO EXAMINADORA  
DE DEFESA DE PROJETO DE  
GRADUAÇÃO EM DESIGN DE

**RAFAEL RATTES LIMA ROCHA DE AGUIAR**

*“Mandacaru: um princípio pró-Design.”*

A comissão examinadora, composta pelos membros abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o aluno RAFAEL RATTES LIMA ROCHA DE AGUIAR

**APROVADO**

Caruaru, 20 de fevereiro de 2013.

Prof. Danilo Emmerson Nascimento Silva

Orientador

Prof. Amilton José Vieira de Arruda

1º Avaliador

Prof. Roberto Araújo Sá

2ª Avaliador

# AGRADECIMENTOS

O nosso agradecimento primeiro é para a causa primária de todas as coisas, inteligência suprema. Por nos permitir ter irmãos em graus evolutivos divergentes, mas com tanta sabedoria aplicada a eles, sejam estes de ordem mineral, vegetal, animal ou espiritual. Pela constituição da natureza com sua pureza e sutileza, complexidade e simplicidade ao mesmo tempo.

Agradecemos aos agentes espirituais da natureza, por nos facilitar o acesso e permitir obter as amostras deste trabalho.

Agradeço em especial a quem me ensinou a amar a tudo e a todos, em especial os animais e as plantas, com o verdadeiro sentimento proveniente do Pai, valorizando e respeitando, como um presente que nos é dado todo dia. Obrigado “mainha”, Maria das Graças Rattes Lima de Aguiar, e obrigado “painho”, Cristiano Rocha de Aguiar, assim como, por me favorecerem a existência e por me darem o suporte necessário à vida. Agradeço aos meus irmãos consanguíneos, Cristiano Rocha de Aguiar Filho e Carolina Rattes Lima Rocha de Aguiar, por me auxiliarem e ensinarem com o processo da maturidade e exemplos. Agradeço aos familiares em geral, por me auxiliarem e apoiarem em tudo.

Agradeço à minha companheira de estrada em amor, ilustre, que com carinhos e afagos me auxiliou com excelência em tudo. Obrigado Gabriela Guimarães Jesumary e família.

Agradeço ao professor Danilo Émmerson Nascimento da Silva por todo o amparo e direcionamento coerentes com tudo o que fosse preciso à realização deste trabalho, assim como, o corpo docente do curso de Design da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Pernambuco.

Agradeço a todos os meus amigos, assim como, aos professores Alex Lucena, Karina Randau, Amilton Arruda e Roberto Sá, aos jardineiros do CAA, Maria Lúcia, Paulo e Leandro, e Amanda Lucena do laboratório de Química da UFPE-CAA pela participação deste trabalho. E todas as pessoas que fazem parte deste minha existência, e que auxiliaram para a realização deste trabalho.

# RESUMO

As caatingas apresentam uma biodiversidade enorme, entretanto, não há uma valorização adequada. Devido a esta variedade e suas características relevantes à existência quanto ao semiárido, esta pesquisa buscou compreender e analisar uma única espécie endêmica do bioma, o *Cereus jamacaru DC.*, conhecido por mandacaru. Neste trabalho foram feitas análises com foco em Biônica pautados na metodologia proposta por Kindlein Jr. *et al.* (2002), que proporcionaram a idealização de princípios e parâmetros para a aplicação em Design, exemplificado por conceitos elaborados, tendo como primeiro a Residência Conceitual, baseada em análises macro de um ramo novo da espécie e, conseguinte, por microscopia óptica de três estruturas: xilema, parênquima e estômatos, tendo, respectivamente, a Tubulação XMA, o Vaso Hidrófilo, o Fio Estomático e a Tampa Estoma.

Palavras-chave: *Cereus jamacaru DC.*, Biônica, Design e Projeto Conceitual.

# ABSTRACT

The caatingas have an enormous biodiversity, however, there is not a proper valuation. Due to this variety and its characteristics relevant to the existence on the semiarid, this research seeks to understand and analyze a single endemic species of the biome, the *Cereus jamacaru DC.*, known as mandacaru cactus. In this paper analyzes are made with a focus on Bionics guided by the methodology proposed by Kindlein Jr. *et al.* (2002), which provided the idealization of principles and parameters for the application in design, exemplified by concepts developed, with the first Residence conceptual analysis based on macro of a new branch of the species and, therefore, by optical microscopy of three structures: xylem parenchyma and stomata, obtained, respectively, the Tubulação XMA, the Vaso Hidrófilo, the Fio Estomático and the Tampa Estoma.

Keywords: *Cereus jamacaru DC.*, Bionics, Design and Conceptual Design

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS .....	14
INTRODUÇÃO .....	15
OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
JUSTIFICATIVA.....	18
METODOLOGIA.....	18

## PARTE 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. BIÔNICA .....	23
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	23
1.1.1. RAZÃO ÁUREA, PENTAGRAMA, RETÂNGULO ÁUREO E ESPIRAL...	23
1.1.2. PRECURSORES DA BIÔNICA .....	33
1.2. CONCEITUAÇÃO .....	36
1.3. PROPRIEDADES.....	40
1.3.1. AGARRE.....	41
1.3.2. RECEPÇÃO.....	43
1.3.3. TRANSMISSÃO.....	43
1.3.4. ESTRUTURA .....	44
1.3.5. PROTEÇÃO .....	46
1.3.6. MIMETISMO.....	48
1.3.7. TEXTURA .....	49
1.3.8. LOCOMOÇÃO.....	49
1.3.9. SUSTENTAÇÃO .....	50
1.3.10. ALIMENTAÇÃO.....	51
1.3.11. ELASTICIDADE.....	51
1.3.12. FIXAÇÃO .....	53
1.3.13. FILTRAGEM.....	54
1.3.14. BIOLUMINESCÊNCIA.....	54
1.3.15. REGENERAÇÃO .....	55
1.3.16. TERMORREGULAÇÃO.....	55
1.4. BIÔNICA APLICADA AO DESIGN .....	56

2.	BIOMA CAATINGA .....	63
2.1.	DELIMITAÇÃO GEOGRÁFICA .....	64
2.2.	CARACTERÍSTICAS.....	66
2.3.	<i>CEREUS JAMACARU DC.</i> .....	71
2.3.1.	CARACTERÍSTICAS.....	75
3.	FISIOLOGIA VEGETAL .....	79
3.1.	ESTÔMATOS.....	80
3.1.1.	CLASSIFICAÇÃO .....	81
3.1.2.	MOVIMENTO ESTOMÁTICO .....	84
3.1.1.1.	Luz .....	85
3.1.1.2.	Temperatura.....	86
3.1.1.3.	Teor de água da planta.....	86
3.2.	PARÊNQUIMA .....	87
3.2.1.	PARÊNQUIMA DE PREENCHIMENTO .....	88
3.2.2.	PARÊNQUIMA CLOROFILIANO OU CLORÊNQUIMA.....	88
3.2.3.	PARÊNQUIMA DE RESERVA .....	90
3.2.3.1.	Parênquima Aquífero .....	90
3.3.	XILEMA.....	91

## PARTE 2

### METODOLOGIA E RESULTADOS

1.	METODOLOGIA.....	99
1.1.	MÉTODOS DE ABORDAGEM .....	99
1.1.1.	MÉTODO DEDUTIVO: .....	99
1.2.	MÉTODOS DE PROCEDIMENTOS.....	99
1.3.	METODOLOGIA PROJETUAL.....	100
2.	DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	109
2.1.	PRINCÍPIOS E PARÂMETROS.....	109
2.2.	CONCEITOS APLICADOS.....	113
2.2.1.	PROJETO RESIDÊNCIA.....	113
2.2.2.	FIO ESTOMÁTICO .....	118
2.2.3.	TAMPA ESTOMA.....	121
2.2.4.	TUBULAÇÃO HIDRÁULICA XMA.....	123
2.2.5.	VASO HIDRÓFILO.....	127
	CONCLUSÃO.....	130
	REFERÊNCIAS.....	133
	ANEXO I .....	142

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ilustração da seção áurea ditada por Euclides (370 a. C.).	25
<b>Figura 2.</b> Relação geométrica entre pentágono regular e pentagrama.	25
<b>Figura 3.</b> Flor da maçã e fruto apresentando o pentagrama	26
<b>Figura 4.</b> Exemplo de construção geométrica - relação de arcos na razão áurea.	26
<b>Figura 5.</b> Retângulo áureo e sua aplicação na obra de Leonardo da Vinci	27
<b>Figura 6.</b> Retângulo áureo na obra La Gioconda de Leonardo da Vinci e no monumento Partenon, obra de Fídias	27
<b>Figura 7.</b> Representação da sequência de Fibonacci a partir do caso dos coelhos	28
<b>Figura 8.</b> Exemplo de padrão infinito do retângulo áureo	29
<b>Figura 9.</b> Le Modulor desenvolvido por Le Corbusier - relação áurea antropométrica	30
<b>Figura 10.</b> Espiral Áurea gerada a partir do Retângulo Áureo; Espiral Logarítmica.	31
<b>Figura 11.</b> Espiral de Arquimedes e Disco Solar apresentando a espiral em sua estrutura.	31
<b>Figura 12.</b> Fotografia macro de girassol permitindo ver as espirais logarítmicas no centro da flor	32
<b>Figura 13.</b> Espiral áurea encontrado na concha do molusco náutilo e fotografia dos “olhos” das penas da cauda do pavão em analogia ao padrão encontrado na margarida.	32
<b>Figura 14.</b> Ornitóptero projetado por Leonardo Da Vinci – séc. XV (BRITANNICA, 2011)	34
<b>Figura 15.</b> Grande Exposição de Londres em 1851 - Palácio de Cristal (UERJ, 2009)	35
<b>Figura 16.</b> (1) Cápsula de semente de papoila e (2) distribuidor de partículas por Francé.	35
<b>Figura 17.</b> Exemplo de animais que apresentam a propriedade Agarre.	41
<b>Figura 18.</b> Planta carnívora (Dioneae muscípula).	42
<b>Figura 19.</b> Fruto de carrapicho e gancho da extremidade observados em Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV)	42
<b>Figura 20.</b> Modelo do velcro concebido por Meštral	42
<b>Figura 21.</b> Morcego e golfinho, dois exemplos que apresentam a transmissão.	43
<b>Figura 22.</b> Exemplo de radar.	44
<b>Figura 23.</b> Estrutura hexagonal da colmeia formada pelas abelhas.	44
<b>Figura 24.</b> Dois exemplos de radiolários com sua estrutura óssea	45
<b>Figura 25.</b> Desenho da disposição do Estádio Olímpico de Munique e fotografia aérea do Estádio	46
<b>Figura 26.</b> Estrutura da ponte Forth of Firth com característica estrutural baseada num quadrúpede	47
<b>Figura 27.</b> Camaleão com pigmentação de pele análoga à vegetação.	48
<b>Figura 28.</b> Peixe rascasso em seu habitat	48
<b>Figura 29.</b> Fotografia do detalhe da corbícula da pata posterior da abelha.	51
<b>Figura 30.</b> Ilustração da estrutura que favorece o disparo da língua do camaleão	52
<b>Figura 31.</b> Modelo de estrutura robótica inspirada na língua do camaleão	52
<b>Figura 32.</b> Parte inferior do polvo – tentáculos com dupla fila de ventosas	53
<b>Figura 33.</b> Detalhe de uma estrela-do-mar com seus pés ambulacrários	54
<b>Figura 34.</b> Neonothopanus gardneri– cogumelo luminescente.	55
<b>Figura 35.</b> Mercedes-Benz Bionic Car desenvolvido pela DaimlerChrysler	56

<b>Figura 36.</b> 1 - Peixe-cofre em seu Hábitat; 2 - Estrutura do carro baseado na estrutura óssea do Peixe-cofre; 3 - Adaptação da forma; 4 - Mockup em teste subaquático .....	57
<b>Figura 37.</b> Denticulos da pele do tubarão em imagem microscópica. Fotografia macro do tecido FaSkin e uma imagem de modelo completo.....	58
<b>Figura 38.</b> A – Estrutura de tecido não-biônico; B – Estrutura do tecido biônico FaSkin; C – Corte transversal exibindo as cavidades do tecido. ....	58
<b>Figura 39.</b> Peça de junção baseada no Escaravelho.....	59
<b>Figura 40.</b> Peças de junção baseada no Besouro (Cincidela sp.) .....	59
<b>Figura 41.</b> Peça de junção baseada na Estrela Come-Peixe.....	59
<b>Figura 42.</b> Peça de junção baseada no Sapo bufo bufo .....	59
<b>Figura 43.</b> Peça de junção baseada na Estrela Come-Peixe.....	60
<b>Figura 44.</b> Peça de junção baseada na Estrela Come-Peixe.....	60
<b>Figura 45.</b> Peça de junção baseada no Besouro (Chrysomela sp.).....	60
<b>Figura 46.</b> Tranca baseada na alga Diatomácea Cilíndrica.....	60
<b>Figura 47.</b> Tennis Rio Move Nike.....	61
<b>Figura 48.</b> Detalhe da malha e do solado, ambos baseado na natureza .....	61
<b>Figura 49.</b> Detalhe e analogia entre a água numa folha de lótus e a tinta Lotusan aplicada na parede. ....	62
<b>Figura 50.</b> Área da Caatinga na região Nordeste e norte do Estado de Minas Gerais .....	65
<b>Figura 51.</b> Exemplos distintos que mostram a diversidade das caatingas. ....	67
<b>Figura 52.</b> Exemplo de cactáceas e bromélias encontradas nas caatingas da Paraíba.....	67
<b>Figura 53.</b> Raso da Catarina, Bahia, com vegetação típica das caatingas. ....	69
<b>Figura 54.</b> Exemplo de cactácea e Serra Branca – BA.....	70
<b>Figura 55.</b> <i>Melocactus zehntneri</i> (Britton & Rose) Luetzelburg (Cactaceae) e <i>Noctocactus magnificus</i> . ....	72
<b>Figura 56.</b> <i>Cereus jamacaru</i> DC. e <i>Pilosocereus azulensis</i> .....	72
<b>Figura 57.</b> <i>Opuntia monacantha</i> (Palma-forageira) e <i>Epiphyllum phyllanthus</i> (L.) Haw.....	73
<b>Figura 58.</b> <i>Rhipsalis baccifera</i> (J.S.Muell.) Stearn .....	73
<b>Figura 59.</b> <i>Cereus jamacaru</i> DC. ....	75
<b>Figura 60.</b> Distribuição geográfica de <i>Cereus jamacaru</i> DC.....	75
<b>Figura 61.</b> Desenho esquemático de um ramo do mandacaru e ascicata apresentando espinhos e forma estrelar do conjunto de seus artículos. Fotografia de ramo vivo com frutos. ....	76
<b>Figura 62.</b> <i>Cereus jamacaru</i> DC. em hábitat natural. ....	77
<b>Figura 63.</b> Marca do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco em Caruaru, Pernambuco .....	78
<b>Figura 64.</b> Ilustração de estômatos reniformes (A) e em forma de halteres (B).....	81
<b>Figura 65.</b> Estômato Anomocítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de <i>Impatiens</i> sp.. ....	82
<b>Figura 66.</b> Exemplo de estômato anisocítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de <i>Begônia</i> sp. ....	82
<b>Figura 67.</b> Estômato paracítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de <i>Glycine max</i> . ....	83
<b>Figura 68.</b> Estômato diacítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de <i>Alternanthera philoxeroides</i> .....	83
<b>Figura 69.</b> Tetracítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de <i>Tradescantia</i> sp.....	84

<b>Figura 70.</b> Analogia de abertura do estômato com mangueira .....	85
<b>Figura 71.</b> 1 – Caule <i>in vivo</i> de <i>Bidens pilosa</i> (Asteraceae) com Parênquima Clorofiliano (PCL); 2 – Folha de <i>Pinus</i> sp. (Pinaceae) com Parênquima Plicado; 4 e 5 – Folha de <i>Camellia</i> (Theaceae) com Parênquima Paliádico (PP), Parênquima Ešponjoso (PE); 6 – Escapo floral de <i>Hemerocalis</i> sp. (Liliaceae), apresentando o Parênquima Regular; 7 – Exemplo de Parênquima Braciforme do diagrama dos pecíolos de <i>Echinodorus paniculatus</i> (Alismataceae).....	89
<b>Figura 72.</b> 17 - Folha de <i>Pleurothalis rupestris</i> (Orchidaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ) cujas paredes celulares contêm barras de espessamento lignificadas (BE); 18 - Folha de <i>Syngonantus rufipes</i> (Eriocaulaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ)..	91
<b>Figura 73.</b> Ilustração representando Traqueídes (1), Pontoações e Elementos de Vaso do xilema (2).....	94
<b>Figura 74.</b> Representação das placas de perfuração dos elementos de vaso.....	95
<b>Figura 75.</b> Exemplo dos padrões de deposição da parede secundária nos elementos traqueais. A – Anelar; B – Helicoidal; C – Escalariforme; D – Reticulado; E e F – Pontuado.....	96
<b>Figura 76.</b> Processo de preparação de lâminas.....	107
<b>Figura 77.</b> Lâminas finalizadas.....	108
<b>Figura 78.</b> Relação geométrica do pentágono regular com pentagrama presente no mandacaru .....	114
<b>Figura 79.</b> Razão áurea entre o conjunto de quatro aréolas .....	114
<b>Figura 80.</b> Sketch do conceito da casa baseada no <i>Cereus jamacaru DC.</i> .....	115
<b>Figura 81.</b> Mecanismo inteligente de captção de água da chuva .....	116
<b>Figura 82.</b> Detalhe da calha e da parte interna da "janela". Vista da casa completa com os mecanismos acionados.....	117
<b>Figura 83.</b> 1. Estômato paralelocítico – vista frontal de <i>Cereus jamacaru DC.</i> . 2. Disposição dos estômatos numa área da epiderme. CG – Células-guarda; CS - Células subsidiárias; EP – Epiderme; ES - Estômatos; Seta preta – Fenda estomática. Barra = 20 µm (1); 200 µm (2). .....	118
<b>Figura 84.</b> <i>Skecthes</i> em ampliação da estrutura do Fio Estomático em estado original (seco) e a representação dele quando em ação (turgidez).....	119
<b>Figura 85.</b> Representação em visualização ampliada da trama com o Fio Estomático seco. ....	120
<b>Figura 86.</b> Ilustração representativa da dilatação na trama do tecido com o Fio Estomático proveniente da transpiração do usuário. ....	120
<b>Figura 87.</b> Tampa Estoma.....	121
<b>Figura 88.</b> Estruturas internas, separada e composta, ideia do uso com alavanca manual, e vista frontal da Tampa Estoma .....	122
<b>Figura 89.</b> 1-3. Corte longitudinal na nervura central de <i>Cereus jamacaru DC.</i> apresentando xilema (1) e elementos de vaso com suas configurações (2 e 3); 4. Xilema visualizado em corte transversal da nervura central de <i>Cereus jamacaru DC.</i> . PS – Placas de perfuração simples; EV – Elementos de vaso com paredes helicoidal. PA – Parênquima aquífero; PP – Parênquima Amilífero; OS – Placa de perfuração simples; X – Xilema; FL - Floema; Seta preta – Unidade de Elemento de vaso. Barra = 200 µm (1); 20 µm (2,3); 80 µm (4). .....	123
<b>Figura 90.</b> Tubulação em detalhe exibindo sua estrutura externa e interna em forma helicoidal .....	124
<b>Figura 91.</b> Representação do usuário curvando manualmente a tubulação e o resultado positivo.....	125
<b>Figura 92.</b> Detalhe da peça secundária e encontro entre dois canos num outro em perpendicular.....	126

<b>Figura 93.</b> Conceito do encaixe entre três canos, sendo um perpendicular aos outros .....	126
<b>Figura 94.</b> 1-3. Corte transversal de <i>Cereus jamacaru DC.</i> ; 3 – Parênquima Amilífero; PA - Parênquima Aquífero; PP - Parênquima Amilífero; VC - Vasos condutores; EP - Epiderme. Barra = 200 µm (1,2); 20 µm (3). .....	127
<b>Figura 95.</b> Desenho esquemático da interpretação da água feita pelo material especial por entre as paredes externas.....	128
<b>Figura 96.</b> Esquema representativo da composição do Vaso Hidrófilo e sua escala.....	129

# LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Princípios e parâmetros coletados através da análise de <i>Cereus jamacaru</i> DC. ....	111
--	-----

# INTRODUÇÃO

A projeção de produtos é acompanhada de vários caminhos, sejam eles de cunho técnico, processo e/ou métodos de abordagens. A forma como se processam as ideias e as utilizam dependem, em muitos casos, de embasamentos na teoria, de processos criativos, maturação de ideias, inspirações, etc., donde trazem um resultado positivo. São nesses atributos de um processo projetual que a Natureza, com sua infinita capacidade de solucionar problemas e prover ao homem suporte eficiente, auxilia aos homens desde os primórdios.

Nos tempos primitivos, onde o homem habitava ainda as cavernas, e adquiriam seus recursos mediante as possibilidades que lhe surgiam, precisavam, portanto, de ferramentas úteis para exercer com eficiência o trabalho a ser realizado nestas circunstâncias. Para isso, foi a partir de observações da natureza, que o homem as idealizou e materializou. A compreensão da natureza, ainda era incerta, mas sempre vigente nas atividades humanas. No passar dos séculos, vários foram os povos que se basearam na natureza para solucionar seus problemas, e assim, foram aprimorando este conhecimento. Por suas identificações com as formas geométricas encontradas na lua, sol, nos corpos dos animais e dos homens, etc., e a capacidade de assimilá-las, permitiu que atingissem um patamar de aspecto científico. Assim, se sabe que o Egito, a Grécia e tantos outros povos iniciaram grandes estudos, promovendo a ascensão da ciência geométrica, pautada na natureza. Estudos esses tais como: sequência de Fibonacci, retângulo áureo e seção áurea, que fundamentará a razão áurea posteriormente, onde são encontrados de maneira extensa dentre os sistemas da Natureza e muito utilizados também, por grandes homens das eras posteriores, como por exemplo, Leonardo da Vinci.

Leonardo da Vinci e outros homens tornaram-se exemplos pelos inúmeros projetos de artefatos, equipamentos de guerra, estudos anatômicos, entre tantos outros e de grande relevância para a humanidade, onde foram pautados na natureza. No entanto, este conhecimento se dava de maneira empírica. Todo este conhecimento pautado na natureza, mediante a sua a capacidade de se adaptar ao

longo da formação do globo terrestre, restando apenas os mais aptos e evoluídos (teoria darwiniana), tomando respaldo nas informações adquiridas pelas análises, associando as suas funções e características ímpares a cada ser vivo analisado e o utilizando como objeto de estudo para fundamentar um projeto, passa-se a ser considerada uma atividade conhecida como uma ciência, cujo nome é Biônica.

Com nomenclatura oficial desde o ano de 1958, a ciência da Biônica vem se desenvolvendo ao longo do tempo, e trata-se de uma atividade em que envolve diversas áreas, tornando-se, portanto, de aspecto multidisciplinar com capacidade para aplicação de variadas maneiras, conforme a necessidade e complexidade para o que se destina. Dessa forma, Rosendahl (2011) cita que a biônica pode ser utilizada para aplicações em: MATERIAIS, ESTRUTURAS, CLIMA E VENTILAÇÃO, CINEMÁTICA, NEUROBIÔNICA, PROCESSAMENTOS, ORGANIZAÇÃO e, ao que o autor intitula de EVOLUÇÃO. Ao que toca a aplicação de tais conceitos, a natureza através de seus organismos vivos, expõe propriedades que se tornam guias de modelos para a ação da Biônica. Essas propriedades apresentam características importantes para projetos em design, que ao longo das últimas décadas vem se tornando cada vez mais comum o seu uso em tais projetos.

É possível verificar sua aplicação em produtos como carros, roupas específicas para nadadores, turbinas eólicas, fechaduras, entre tantas outras áreas, demonstrado a potencialidade de aplicação desta ciência. É através destas aplicações, associado com a amplitude em que a Biônica abrange que esta pesquisa se encaixa.

Sabe-se que em ambientes áridos, a escassez de água e outros recursos se torna um limitador para a expansão da vida. Dessa forma, é que se apresenta também o bioma Caatinga. De exclusividade brasileira, abrangendo toda a região nordeste e pequena faixa do norte do estado de Minas Gerais, ou seja, áreas de clima quente e semiárido, com sua extensão marginal úmida, as caatingas – termo mais adequado devido a sua diversidade em vários aspectos – carregam inúmeros casos de solucionadores de problemas, com suas mais variadas formas de vida, que sobrevivem nos mais diversificados ambientes.

Entre sertões, brejos, agrestes e respaldos de florestas úmidas, as caatingas exibem em sua vasta flora, caracterizada por não apresentar características

uniformes no território semiárido em que se encontram, tendo suas localizações afetadas pelos fatores ambientais. Apresentam-se ao longo das caatingas, entre espécies endêmicas e outras espécies que vão de arbustos a árvores de pequeno e grande porte, como também, consegue se adaptar ao déficit hídrico, tal o caso das cactáceas.

Portanto, esta pesquisa se aplica ao estudo de uma única cactácea endêmica cujo nome é *Cereus jamacaru* DC., conhecida popularmente por mandacaru, tomando-a como suporte para a definição de conceitos de projetos de produto. O mandacaru em questão fora analisado de forma macro e microscopicamente, levando em consideração a fisiologia vegetal (KINDLEIN JR., *et al.*, 2002), onde se criou um foco em três estruturas que se encontram cada uma numa parte específica e fundamental do corpo do vegetal: para a epiderme, foram analisados os estômatos; para o tecido fundamental, observou-se o parênquima; e para o tecido condutor, o xilema.

Foram priorizados alguns aspectos relevantes para as verdadeiras necessidades do ser humano na criação dos conceitos projetuais de design, criando-se uma relação estreita entre as funções das estruturas estudadas, os parâmetros da ciência Biônica e o conceito a ser elaborado se utilizando de técnicas de *brainstorm* e desenhos (*sketches*) para chegar aos resultados finais.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral:

Gerar uma série de conceitos e parâmetros projetuais com foco em Biônica baseados na fisiologia de *Cereus jamacaru* DC., conhecido como mandacaru.

### Objetivos Específicos:

1. Compreender a flora nativa das caatingas através de revisão bibliográfica e de entrevistas e questionários com profissionais da Biologia (área da Botânica), Agronomia, Farmácia, entre outros;
2. Selecionar espécie que forneça potencial para um melhor resultado;

3. Estabelecer as estruturas a ser estudadas e analisá-las por microscopia óptica e fisiologicamente;
4. Estabelecer a metodologia de Design (projetual/conceitual) que possibilite a aplicação dos dados coletados na concepção de parâmetros e conceitos, com foco em Biônica.

## JUSTIFICATIVA

Há milhares de anos a natureza vem passando por processos evolutivos que tocam a eficiência das características físicas dos sistemas naturais. Funcionalidades de estruturas, morfologia apropriada, adaptação ao mais variados ecossistemas, entre tantos outros são fruto de sua evolução. De outra forma, não seria diferente para as plantas encontradas no semiárido brasileiro, mais precisamente nas caatingas. Assim, tomando partido de *Cereus jamacaru DC.*, como um exemplo de solucionadora de problemas tais como: adaptação ao déficit hídrico, mecanismos de transpiração, suporte mecânico estrutural, morfologia adaptada ao meio, etc., ao qual o Homem não se adaptou tão bem e conseguiu atingir o mesmo patamar de associações entre função e natureza.

## METODOLOGIA

Para a execução deste trabalho foram utilizadas duas metodologias apropriadas ao foco em que se enquadra. Num primeiro momento utilizou-se da metodologia proposta por Kindlein Jr. *et al* (2002), pois tem foco na ciência Biônica para o desenvolvimento de projeto de produto. Ela se divide em 7 etapas bem distintas, que caracterizam a evolução do processo projetual: 1. SELEÇÃO DA AMOSTRA; 2. COLETA DAS AMOSTRAS; 3. OBSERVAÇÃO DA AMOSTRA; 4. ANÁLISE NO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV); 5. PARAMETRIZAÇÃO; 6. ANALOGIA DO SISTEMA NATURAL COM O PRODUTO e 7. APLICAÇÃO PROJETUAL. Neste ínterim, abre-se um parêntese quanto à quarta fase, pois que se utiliza,

originalmente, o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), mas nesta pesquisa foi utilizado um microscópio óptico.

Associado à sétima etapa da metodologia citada, foram utilizadas técnicas de criatividade como *brainstorm* e *sketches*, no que se criam inúmeros desenhos e conceitos, onde, por um processo seletivo o mais elaborado é escolhido. Desta maneira, foi possível chegar à elaboração de cinco conceitos, como uma demonstração dentre tantas outras possibilidades apresentadas numa tabela construída, em como as estruturas de *Cereus jamacaru DC.* carregam subsídios para o projeto de produto.

Assim, o presente trabalho se encontra estruturado em duas partes distintas, onde na primeira estão os fundamentos teóricos que embasam os resultados, e na segunda apresenta-se a metodologia, seguida das discussões e dos resultados, e por fim a conclusão. Pode-se compreender a estrutura desta pesquisa da seguinte maneira:

No capítulo 1, e início da Parte 1, são abordados os aspectos referentes à ciência Biônica, trazendo à tona os aspectos históricos, os precursores, os conceitos e ramos da Biônica, suas propriedades, e por fim, a sua aplicação em produtos de Design.

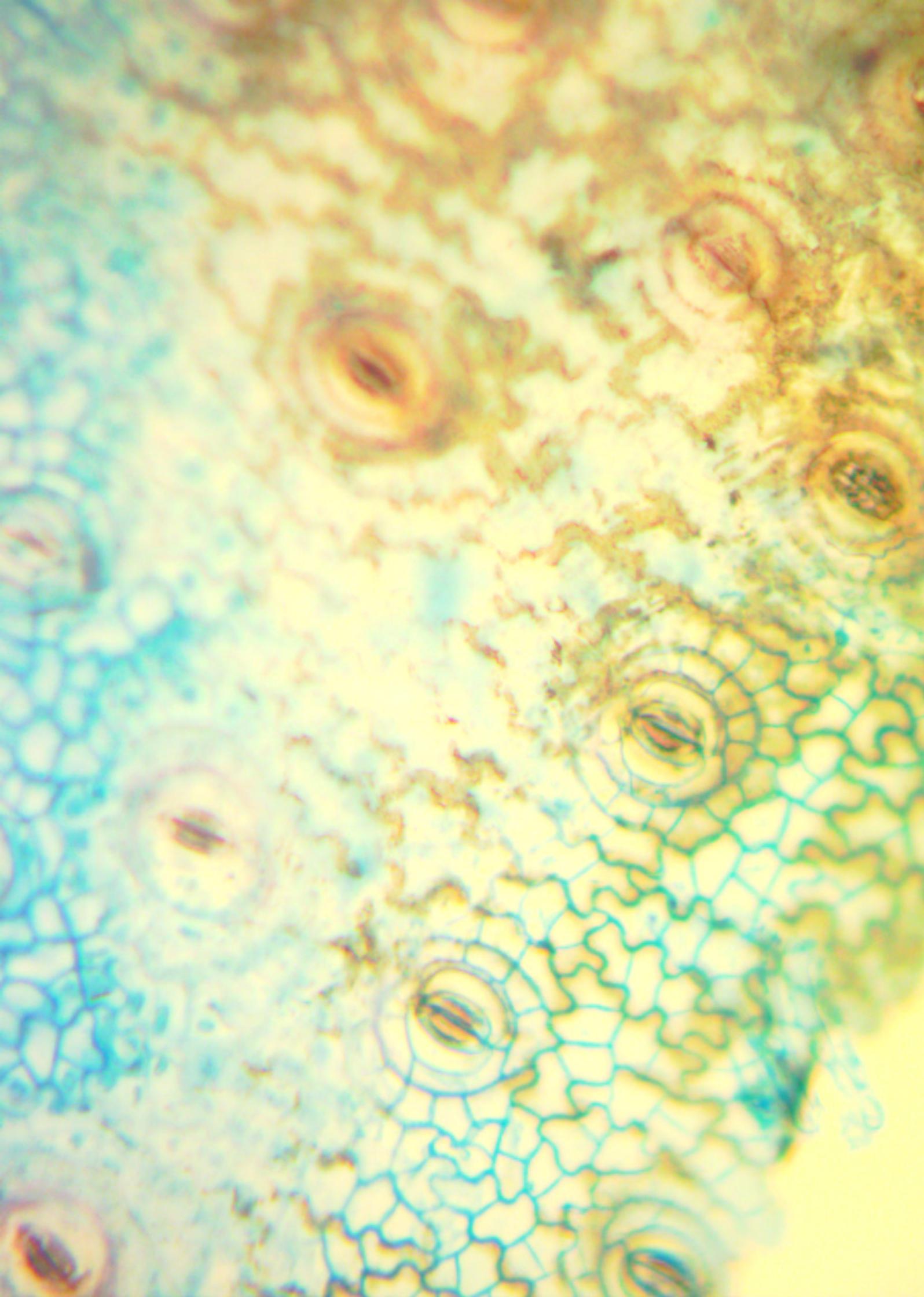
O capítulo 2 tem por objetivo compreender a relevância do bioma Caatinga, suas características geográficas, morfológicas e florísticas. Passando pelo conhecimento das características da família *Cactaceae*, para uma melhor compreensão da espécie nativa selecionada, o *Cereus jamacaru DC.*

Quanto ao capítulo 3, passa-se um olhar sobre a fisiologia vegetal e sua função. Aprofunda-se em três estruturas, que foram hierarquizadas de acordo com o propósito do trabalho, demonstrando suas características principais num corpo de um vegetal, tendo em primeira instância os estômatos, em seguida o parênquima, e por fim, o xilema. Neste capítulo é finalizada a primeira parte, dando sequência ao trabalho pela Parte 2: Metodologia e resultados.

Assim, o primeiro capítulo da segunda parte aborda a metodologia que estrutura a pesquisa, fornecendo explicações dos métodos utilizados, necessários para compreender como se chegou aos resultados. Posteriormente a este, se tem o capítulo referente à discussão e resultados do trabalho, o qual detalha com mais

profundidade os passos executados, fazendo analogia à fundamentação e metodologia, tendo os resultados demonstrados no final do mesmo.

Após este capítulo, o leitor encontrará a conclusão que irá ressaltar os principais pontos do trabalho, realizando um fechamento coerente com o que foi lido até ali.



**PARTE 01**  
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA |

# 1. BIÔNICA

| Do grego: *Bion*, vida, elemento vital, e *ilkos*, estudo (ARRUDA, 1994).

O homem tem uma trajetória intrigante durante todo o seu processo de evolução. Tem-se conhecimento de várias espécies anteriores à raça que vigora atualmente, e as primeiras tiveram que sofrer estímulos naturais, a fim de se consolidar no espaço, equivalente a um processo de condicionamento. A identificação com a natureza e suas funções sempre existiu, quando se utilizou de artefatos rudimentares para sua sobrevivência, buscando a assimilação com ferrões de insetos, espinhos de plantas, ninho de pássaros, dentes, garras e bicos de animais predadores, por exemplo (RAMOS & SELL, 1994; BROECK, *s.d.*). Já o empenho em entender as estruturas e formas da natureza, a fim de aplicar em invenções por meio de tentativas, vem ocorrendo desde os últimos séculos (ROSENDAHL, 2011).

Neste capítulo serão abordados os antecedentes históricos da Biônica, citando alguns exemplos pertinentes que mostram como há séculos os recursos da Natureza são utilizados para inspiração de novos projetos, passando pelo conceito do termo Biônica, visando entender suas propriedades como ciência solucionadora de problemas, ou ao menos, revela aspectos neste âmbito, e por fim, uma reflexão com exemplos de como ocorre a sua eficácia e utilidade dentro de projetos de design.

## 1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### 1.1.1. Razão áurea, Pentagrama, Retângulo áureo e Espiral

A observação do espaço e da Natureza contribuiu ao ser humano atingir avanços de cunho intelectuais quanto à geometria e, posteriormente, tornando-se conhecimentos científicos. Estes conhecimentos foram evoluindo ao longo das

civilizações, exibindo-se como um aspecto evolucionista dentro das áreas científicas e artísticas, e nelas, é onde encontramos a razão áurea. A capacidade do homem primitivo de identificar configurações físicas, realizar comparações entre formas e tamanhos, assim como a necessidade de delimitar terras, permitiu ao Homem adquirir a noção de formas geométricas simples como: retângulo, quadrados e triângulos. Estas e outras formas poderiam ser identificadas pela observação no cotidiano destes homens, tais quais: a percepção do círculo encontrado no contorno da lua e do sol, num corte transversal das árvores; ideia de simetria analisada nos corpos de homens e animais, grande parte das folhas e flores; a compreensão de volume quando se utiliza de recipientes; esfericidade vista por meio de frutas e bolhas de água; e tantos outros conceitos geométricos que se multiplicam quase indefinidamente (EVES, 1992). Continua o autor afirmando que a partir disto, o conhecimento geométrico foi se consolidando até atingir o status científico, entretanto não se tem conhecimento exato da origem, mas há unanimidade entre os escritores quanto a aceitação da teoria que a geometria científica foi iniciada no vale do rio Nilo, no Egito antigo, conforme os relatos do historiador do séc. V a. C., Heródoto.

Na Grécia Antiga também havia o estudo da geometria como ciência. A seção áurea já era um tema de estudo entre os pitagóricos desde o século V a. C. (ÁVILA *et al.*, 2009). Sabe-se que Eudócio (370 a. C.) continuou o estudo de Platão sobre a seção, que futuramente na matemática seria esta a segunda maior razão conhecida –  $\pi$  ( $\pi$ ) incontestavelmente é a primeira (EVES, 1992). Mas, afirma o autor, foi aproximadamente em 300 a. C., que se obteve o primeiro relato claro acerca do que se tornou mais tarde a seção áurea ou Razão áurea. Foi através do fundador da geometria como sistema dedutivo formalizado, Euclides de Alexandria (323 – 285 a. C.) que escreveu em sua Proposição VI, 30, que seria proporcional se uma reta dividida tiver a razão “extrema e média” (DETANICO, 2011; LAURO, 2005; EVES, 1992). Em outras palavras, pode-se dizer que um segmento de reta AC, dividido em duas partes AB e BC, deverá se apresentar de tal maneira que a razão entre a maior e menor parte seja igual à razão entre a maior parte e o segmento, ou seja,  $AB/BC = BC/AB$  (Figura 1). Os autores ainda

afirmam que esta razão é denominada de RAZÃO ÁUREA ou DIVINA PROPORÇÃO, e seu resultado é um número infinito que sempre terá o valor 1,618..., representado pela letra grega  $\phi$  – lê-se “fi”.

De acordo com Ávila *et al.* (2009), na antiguidade a divisão de um segmento em média e extrema razão se tornou popularmente conhecido como SEÇÃO. Sendo denominada de outro modo pelo astrônomo Kepler (1571-1630), ficando conhecida por DIVISÃO ÁUREA. No entanto, é afirmado pelo autor que Pítágoras e seus discípulos possivelmente não tinham o conhecimento matemático exato acerca da divisão áurea, mas certamente sua descoberta tenha ocorrido através do pentágono regular, já que apresenta como característica marcante um grande número de segmentos na razão áurea.



Figura 1. Ilustração da seção áurea ditada por Euclides (370 a. C.)

Fonte: Adaptado de Eves (1992).

No pentágono regular e no pentagrama, duas formas geométricas interessantes, se intercalam indefinidamente entre si, pela interligação de seus vértices. Entre seus segmentos existe uma proporção igual à razão áurea, na relação entre cada segmento menor e seu antecessor, como mostra a Figura 2 (DETANICO, 2011).

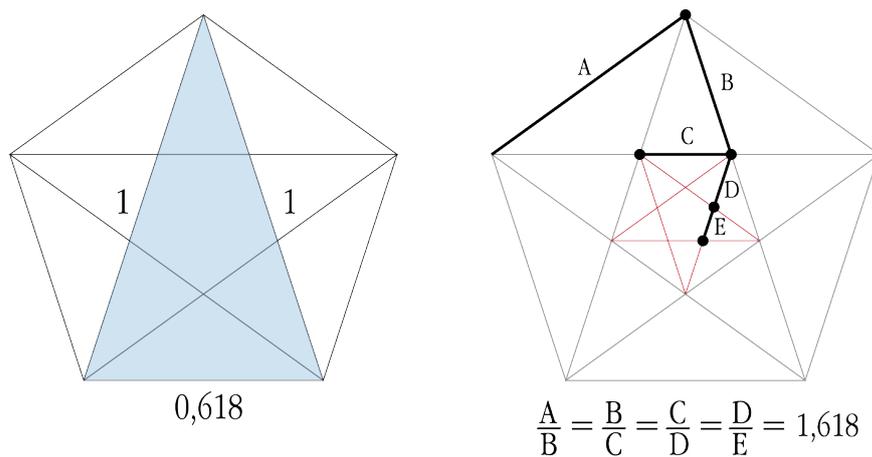


Figura 2. Relação geométrica entre pentágono regular e pentagrama.

Fonte: Adaptado de Detanico (2011)

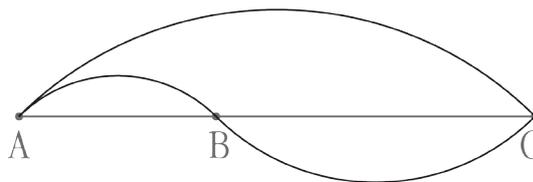
De acordo com Doczi (1990 *apud* DETANICO, 2011) encontra-se esta relação em flores e frutos da maçã e da pera. Ao realizar um corte longitudinal na maçã, por exemplo, é verificada a organização de suas sementes apresentando uma estrela de cinco pontas, considerada uma herança do padrão de sua flor (Figura 3). O crescimento desses frutos está associado com o padrão do pentágono e pentagrama, como prolongamento, advindo da compreensão de que suas arestas (linhas vizinhas) interagem entre si na razão áurea.



**Figura 3. Flor da maçã e fruto apresentando o pentagrama**

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/802645> <http://www.sxc.hu/photo/1117505>

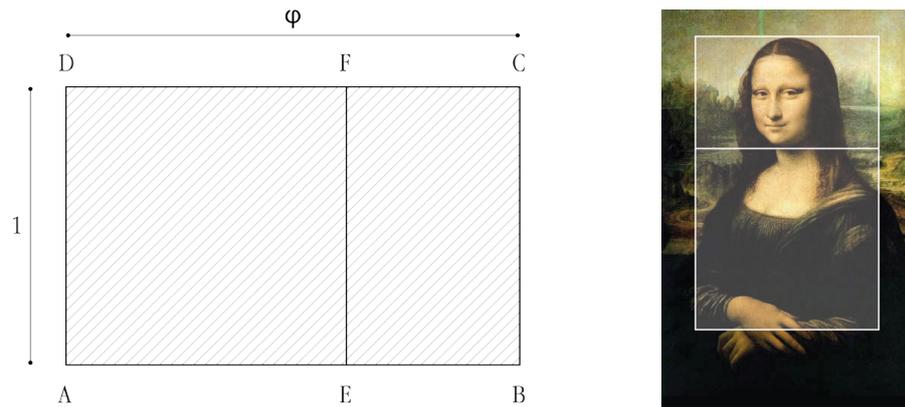
Conforme visto acima, segundo Detanico (2011), a partir da razão áurea podem-se incitar construções de formas geométricas harmoniosas (Figura 4), pois de acordo com Lauro (2005, p. 36) esta razão representa “a mais agradável proporção entre dois segmentos ou duas medidas.”.



**Figura 4. Exemplo de construção geométrica - relação de arcos na razão áurea**

Fonte: Adaptado de Doczi (1990) *apud* Detanico (2011)

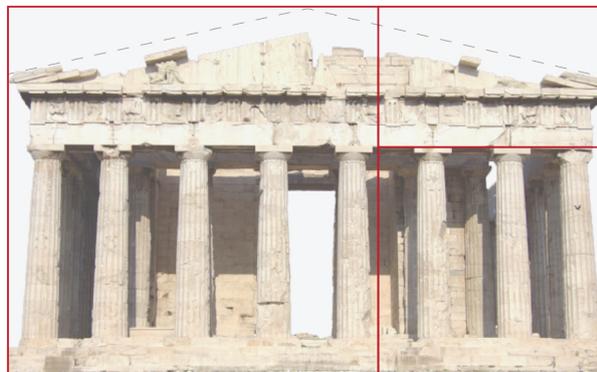
Segundo Eves (1992) as configurações estéticas e artísticas provenientes da razão áurea, podem ser representadas pelo RETÂNGULO ÁUREO (Figura 5). Seus lados estão na razão de  $\varphi$  para 1 ou 1 para  $\varphi$ . Este retângulo, afirma Detanico (2011), é considerado o que mais agrada aos olhos, podendo ser encontrado em obras de artes de Leonardo Da Vinci, como a tela La Gioconda que foi amplamente utilizado o retângulo áureo nas proporções do corpo da personagem. Na figura 5 se pode visualizar uma dessas proporções no quadro do artista.



**Figura 5. Retângulo áureo e sua aplicação na obra de Leonardo da Vinci**

Fonte: Adaptado de Ávila *et al.* (2009) | Adaptado de <http://www.authenticociety.com/about/MonaLisa>

Considerado o retângulo de melhor proporção e grande valor estético, por parte dos arquitetos e artistas, encontra-se na arquitetura do Partenon (Figura 6), ou templo da deusa Atenas, construído pelo arquiteto e escultor grego Fídias, no século V a. C., um quase exato retângulo áureo no seu frontispício (ARRUDA, 1994; ÁVILA *et al.*, 2009). Conforme Ávila *et al.* (2009), não se tem registros históricos da conscientização dos arquitetos deste monumento quanto ao uso do retângulo áureo. Pode-se dizer o mesmo para as obras de Leonardo da Vinci (EVES, 1992).



**Figura 6. Retângulo áureo na obra La Gioconda de Leonardo da Vinci e no monumento Partenon, obra de Fídias**

Fonte: Adaptado de <http://www.sxc.hu/photo/862426>

Salienta-se que esta razão revela um aspecto acentuado quanto à sequência de Fibonacci, considerada como a mais interessante relação matemática com  $\phi$  (DETANICO, 2011; EVES, 1992). Segundo Benavoli, Chisci & Farina (2009 *apud* DETANICO, 2011) e Ávila *et al.* (2009), a sequência idealizada pelo matemático

italiano de nome Leonardo Pisano (1170-1250), mas apelidado de Fibonacci, autor do livro *Liber abaci* (o livro dos cálculos), publicado em 1202, se encontra na terceira seção deste. A partir da ideia de se calcular a quantidade de pares de coelhos provenientes de um casal de filhotes que é colocado num local fechado, durante o período de um ano e considerando a produtividade dos pares vindouros a partir do segundo mês (tornam-se adultos), imaginou-se que a cada mês um par gerado poderá prover outro par, resultando numa sequência numérica igual a 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ..., denominada como SEQUÊNCIA DE FIBONACCI (Figura 7). O resultado obtido é decorrente de uma expressão matemática, onde cada número é o resultado da soma dos dois anteriores. E ainda, durante um período de tempo, esta sequência ficou no esquecimento, mas Kepler a reencontrou e a relacionou com o número  $\phi$ . Realizou a divisão consecutiva da sequência entre um número e seu anterior ( $1/1, 2/1, 3/2, 5/3, \dots$ ) encontrando o valor 1,618... como aproximado (Idem, 2011; EVES, 1992). Segundo Lauro (2005) a descoberta da razão entre os termos e sua relação com  $\phi$  se deu pelo escocês Robert Simson no ano de 1753.

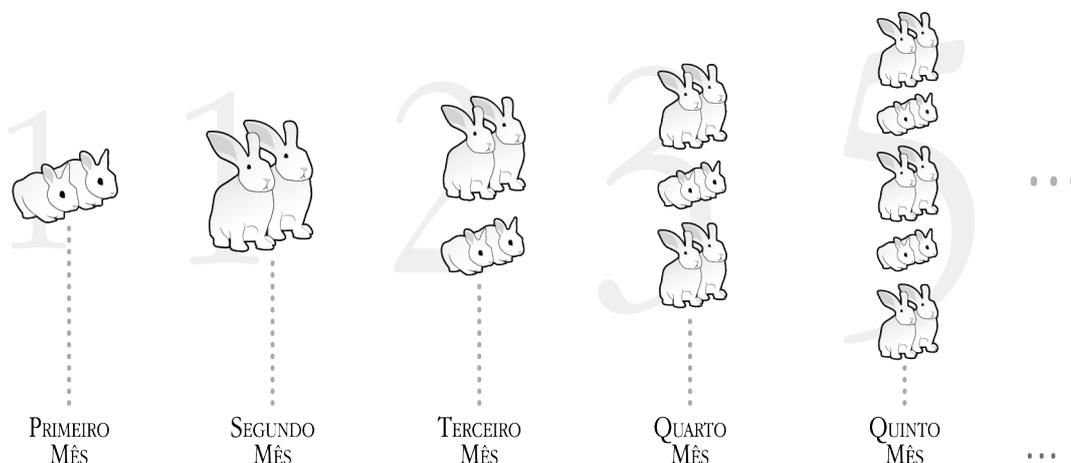


Figura 7. Representação da sequência de Fibonacci a partir do caso dos coelhos

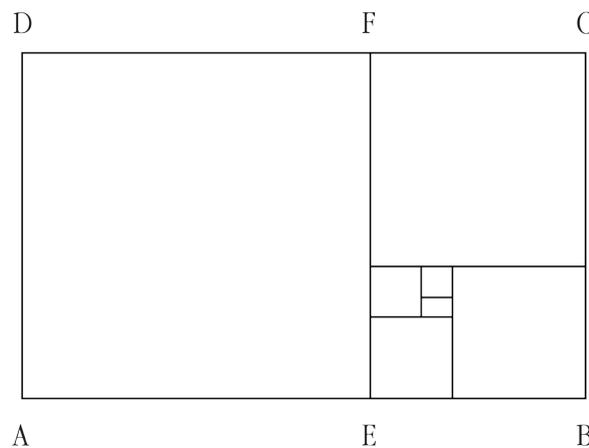
Fonte: Autor

A Sequência de Fibonacci pode ser encontrada entre vários âmbitos da ciência e principalmente na Natureza, onde inúmeros são os exemplos, tais como: as margaridas que se apresentam comumente com 34 ou 55 pétalas; os girassóis com 89 ou 144; a superfície do abacaxi apresenta formas que seguem a Sequência

de Fibonacci, assim como a palmeira e seus anéis do tronco (EVES, 1992; BENAOLI, CHISCI E FARINA, 2009 *apud* DETANICO, 2011; LAURO, 2005).

Quanto ao retângulo áureo, a sequência de Fibonacci também é atuante de acordo com a relação matemática, apresentada como um produto de número ímpar dos números sucessivos da sequência (1x1, 1x2, 2x3) e somando seus resultados (1+2+6 = 9), verá que o último resultado será o quadrado do último número escolhido da sequência ( $3^2 = 9$ ), sendo assim, dando origem a construção da relação entre a sequência de Fibonacci e os retângulos áureos (LIVIO, 2008 *apud* DETANICO, 2011).

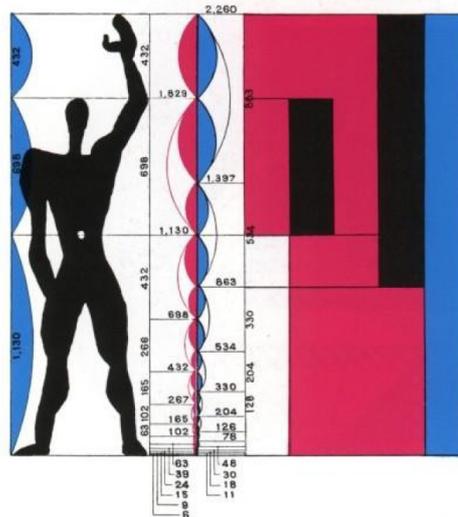
Outra característica do retângulo de ouro está associada à sua divisão. De acordo com Lauro (2005) e Detanico (2011) ao ser seccionado formando um quadrado, conseqüentemente restando um retângulo, este também será áureo, seguindo um padrão infinitamente (Figura 8). Ressalta-se que a relação das dimensões do retângulo maior e o resultante menor terá o fator  $\phi$  entre si (DETANICO, 2011).



**Figura 8. Exemplo de padrão infinito do retângulo áureo.**

Fonte: Adaptado de Livio (2008) *apud* Detanico (2011)

Não diferente destes exemplos, a proporção áurea pode está associada a áreas de pesquisa da estética odontológica (PAGANI & BOTINNO, 2003); às proporções do corpo humano conforme o modelo do arquiteto Le Corbusier, intitulado *Le Modulor* (Figura 9); associada à relação da beleza no corpo humano (LAURO, 2005); entre tantos outros.



**Figura 9. Le Modulor desenvolvido por Le Corbusier - relação áurea antropométrica**

Fonte: Belussi *et al.* (2005)

Estas relações citadas e suas características vão mais além do âmbito da matemática e geometria, conforme suas aplicações vista em obras de arte e arquitetura, ressaltando que nada pode provar a utilização consciente do retângulo áureo por parte dos artistas. Acrescenta-se que a razão áurea e suas propriedades são identificadas na Natureza (EVES, 1992). Nesta encontra-se uma relação conhecida como ESPIRAL ÁUREA. Onde sua origem decorre a partir do retângulo áureo, por meio de quadrantes circulares criando o encontro dos vértices dos quadrados adjacentes, tomando o sentido do maior para o menor aparente (Figura 10) (ROSANIA, 2007). Vários nomes foram dados a espiral. Cita-se a que foi originada na Idade Moderna, no ano de 1638, através de uma carta de Descartes enviada à Mersenne tornando-se posteriormente conhecida como ESPIRAL LOGARÍTMICA (figura 10), mas este nome veio através de James Bernoulli (THOMPSON, 1961 *apud* VASCONCELOS, 2000; ROSANIA, 2007). Também pode ser nomeada de ESPIRAL GEOMÉTRICA (dado por Nicolas), ESPIRAL PROPORCIONAL (por Halley, relacionado ao cometa), e por fim, Cotes a denominou, segundo sua interpretação da definição de Descartes, como ESPIRAL EQUIANGULAR (VASCONCELOS, 2000). O autor cita ainda a existência de outra espiral, denominada ESPIRAL DE ARQUIMEDES (ou espiral uniforme), encontrada em conchas chamadas discos solares (Figura 11).

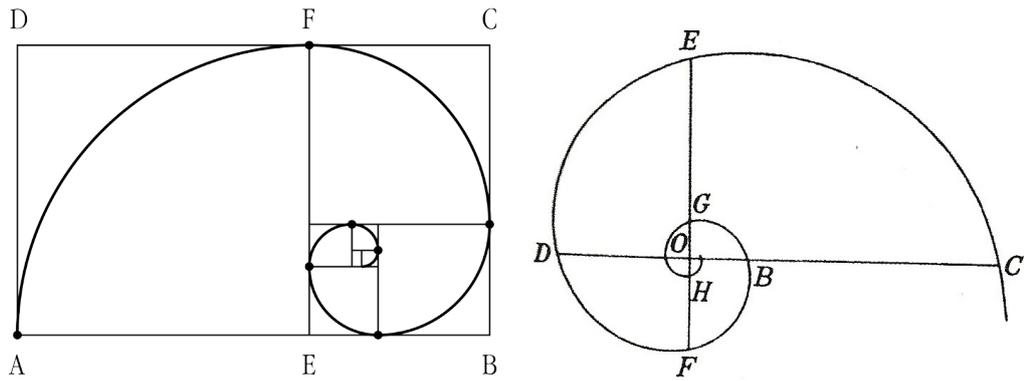


Figura 10. Espiral Áurea gerada a partir do Retângulo Áureo; Espiral Logarítmica  
 Fonte: Autor; Vasconcelos (2000)

Dentro dos três reinos naturais – mineral, vegetal e animal – encontramos a espiral, mas é nas conchas a maior incidência de aparição dentro do reino animal, entretanto há a existência nas presas dos elefantes e castores, assim como, nos caracóis. No reino mineral encontra-se um exemplo referente à ocorrência da espiral nas fraturas de rochas como o basalto.

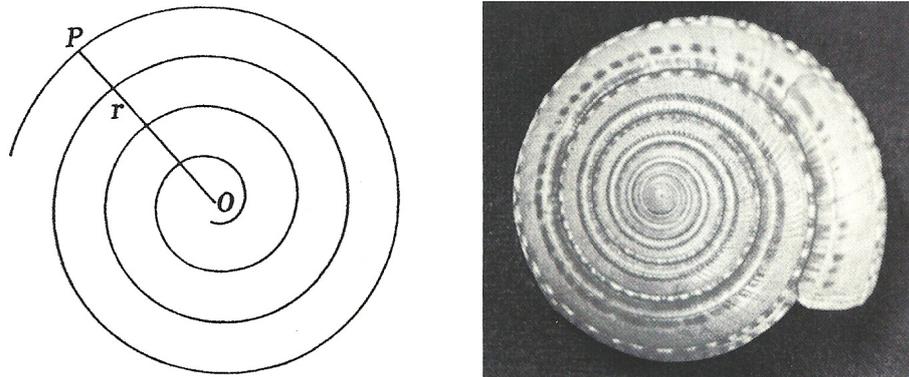


Figura 11. Espiral de Arquimedes e Disco Solar apresentando a espiral em sua estrutura.  
 Fonte: Vasconcelos (2000)

Já no reino vegetal, há uma gama de possibilidades de se encontrar a aplicação da espiral. Toma-se como exemplo boa parte das inflorescências, tal qual a formação das sementes no centro do girassol, demonstrando a beleza das espirais em dois sentidos, interseccionando entre si (VASCONCELOS, 2000; DOCZI, 1981) (Figura 12).



Figura 12. Fotografia macro de girassol permitindo ver as espirais logarítmicas no centro da flor.

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1065162>

Ademais, os autores citam outras observações pertinentes quanto a exemplificação das espirais nos seres naturais. O primeiro se dá pela representação da espiral logarítmica na concha do molusco náutilo, visto como um dos maiores exemplos na representação da espiral áurea (Figura 13). O segundo decorre da espiral delineada pelos “olhos” das penas da cauda do pavão e é feita uma analogia com o mesmo padrão encontrado na margarida (Figura 13).

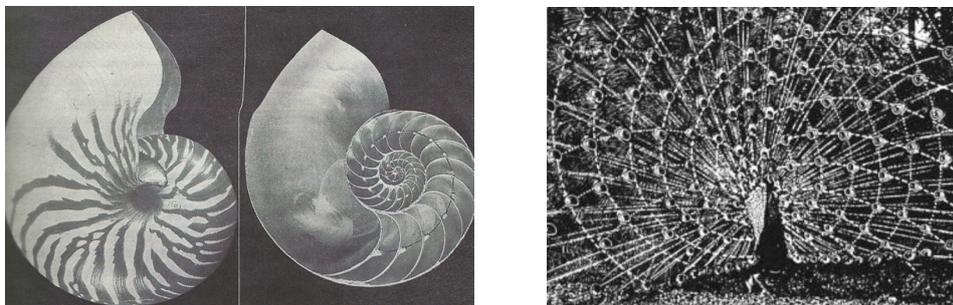


Figura 13. Espiral áurea encontrado na concha do molusco náutilo e fotografia dos “olhos” das penas da cauda do pavão em analogia ao padrão encontrado na margarida.

Fonte: Vasconcelos (2000) e Doczi (1990)

Então, fica evidente que a compreensão destes assuntos – razão áurea, retângulo áureo, sequência de Fibonacci, pentágono e pentagrama – servem de base para um aprofundamento maior das estruturas da Natureza, capacitando a possibilidade de aplicações em projetos de Design, assim como foi visto que há muito já se utilizava destas relações matemáticas em outros tipos de projetos. O entendimento dos aspectos matemáticos vistos acima e a sua congruência com a natureza, prova que pode servir como parte de um processo de solução de

problemas, haja vista que se faz necessário o estudo acerca das funções das estruturas dos seres naturais.

Portanto, é de fundamental importância tomar como referência e investigar como grandes homens que passaram pelos séculos até os dias atuais, se inspiraram na natureza e desenvolveram conceitos ou projetos, derivados dos princípios funcionais.

### 1.1.2. Precursores da Biônica

É sabido que todos os seres vivos do planeta Terra foram submetidos às ações do tempo mediante as adversidades impostas pelo ambiente físico. Adaptações de variados tipos foram arrancadas das espécies, de forma que pudessem se fortalecer quanto às estruturas biológicas. No entanto, o homem foi capaz de desenvolver a razão lógica, e a partir daí, a sua relação com a Natureza se tornou cada vez mais determinante quanto as suas conquistas.

Em 1859 surge uma teoria que se torna a base da biologia moderna, proposta por um grande ícone da ciência, Charles Darwin (1809 – 1882) que em sua obra *Origem das Espécies* – publicada com este título em 1872 – define o que se conhece por seleção natural ou “persistência do mais apto à conservação das diferenças e das variações individuais favoráveis e à eliminação das variações nocivas.” (DARWIN, 2003, p.94) e explica ainda que há algumas variações intituladas de insignificantes, que são neutras e não são afetadas pela seleção natural portando-se de maneira oscilante, identificado nas espécies polimorfas. Portanto, as espécies que residem no nosso planeta, passam por processos de adaptação, e conseqüentemente, ficam dispostas no meio ambiente com características evoluídas quanto à suas estruturas físicas, seus processos, organizações, funções, etc. (RAMOS & SELL, 1994; KINDLEIN JR. *et al*, 2002), conforme afirma Kindlein Jr. *et al*. (2002, p.2) que “sobreviveram somente espécies satisfatoriamente adaptadas as suas funções intrínsecas e ao meio-ambiente.”, e continua, dando margem ao que se propõe nesta pesquisa: “Muitos

destes ensinamentos podem ser aproveitados e adaptados para o campo do design.”.

Segundo Broeck (s.d.); Ramos & Sell (1994); Coineau & Kresling (1994); Nachtigall (1987) *apud* Oliveira e Landim (2011); Rosendahl (2011), é possível identificar Leonardo Da Vinci (1452 – 1519), renascentista italiano estudioso das ciências como Anatomia, Física, Botânica, Mecânica, Engenharia Civil e Militar, Arquitetura, entre outras, como um precursor da Biônica no século XV através do estudo do voo dos pássaros, por intermédio do bater de asas, propondo a ser utilizado pela força humana, e identificando o insucesso deste meio, passou a estudar a força e resistência do ar, projetando em seguida o conceito de uma máquina que pudesse voar, intitulada de Ornítóptero:



**Figura 14. Ornítóptero projetado por Leonardo Da Vinci – séc. XV (BRITANNICA, 2011)**

FONTE: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/432999/ornithopter>

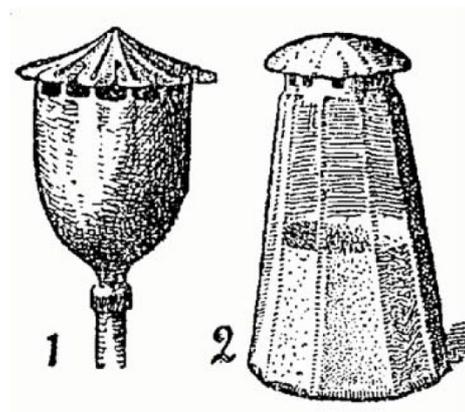
Cita-se também que os estudos do voo dos pássaros pôde ser aprofundado por Otto Von Lilienthal no século XIX, obtendo assim, bases que permítiram a execução das primeiras máquinas voadoras com asas (ROSENDAHL, 2011).

Analisando mais um exemplo de interesse para a abordagem desta pesquisa, é possível citar o Palácio de Cristal que sediou a Grande Exposição de Londres em 1851 (Figura 15), idealizado pelo arquiteto inglês Joseph Paxton (1803 – 1865) no mesmo ano, compondo o projeto das estruturas a partir da de nervuras localizadas na parte inferior da folha da vitória-régia (RAMOS & SELL, 1994; LIMA & ANDRADE, 2002).



**Figura 15. Grande Exposição de Londres em 1851 - Palácio de Cristal (UERJ, 2009)**  
FONTE: [http://www.moderna-contemp.uerj.br/outros\\_materiais/imagens/outros\\_XIX/800px-Crystal\\_Palace\\_interior.jpg](http://www.moderna-contemp.uerj.br/outros_materiais/imagens/outros_XIX/800px-Crystal_Palace_interior.jpg)

Surge em meados do século XIX um arquiteto paisagista, chamado Joseph Monier, que criou a patente do betão armado em 1880 na Alemanha. Este fato se deu quando Monier identificou as estruturas do veio de uma folha como um suporte para projetar a armação interna de vasos revestidos com massa de cimento. Dessa forma obteve-se uma resistência atrelada ao material constituinte da mesma, fortalecendo quanto à tração e à fratura (ROSENDAHL, 2011). O autor ainda identifica a patente de um produto que permite distribuir partículas finas de maneira regular, desta vez registrada por Raoul H. Francé em 1920. Para tal, a inspiração ocorreu da observação da cápsula de sementes da papoila (família *Papaveraceae*), originando um distribuidor, também utilizado como saleiro ou pimenteiro (Figura 16).



**Figura 16. (1) Cápsula de semente de papoila e (2) distribuidor de partículas por Francé.**  
Fonte: Rosendahl (2011)

Outro grande ponto forte dentro da história, e tocante ao design, compreende o movimento que na França chamou-se *Art Nouveau*, na Inglaterra *Modern Style*, na Espanha como *Modernismo* e na Alemanha como *Jugendstil*. Existiu entre 1890 e 1914, que também foi o momento da primeira fase da *Bauhaus*. Neste estilo, sua corrente inspirava-se em formas simples e orgânicas, baseadas nos modelos da natureza. Teve grande influência através do Design Gráfico, mas também houve grandes trabalhos dentro da área de produtos, produzidos com o foco na qualidade artesanal, pois era uma das lembranças do estilo (SCHNEIDER, 2010).

Portanto, compreende-se que a inspiração na natureza vem de tempos remotos, tomando proporções maiores e galgando patamares mais altos ao longo da história, no quesito de aprimoramento ou evolução. Grandes nomes da história, verdadeiros gênios, mostram o quanto a natureza pode auxiliar como suporte num projeto de artefatos ou produtos, pois que chegam ao ponto de influenciar positivamente a vida das sociedades. No entanto, a compreensão do seu conceito vigente entre as últimas décadas, se faz de grande importância para conhecer seu verdadeiro sentido num projeto de design atual.

## 1.2. CONCEITUAÇÃO

Identifica-se que a natureza desde sua origem está constantemente interessada em solucionar problemas, e ainda exerce fenômenos que não se consegue entender por ora. Sabe-se que ela desenvolve de maneira primorosa diversos materiais, táticas de construção e estruturas organizacionais, que mediante sua qualidade não se pode comparar às tecnologias atuais (BLÜCHEL, 2009). Com isto – acrescenta o autor – se deu como um impulso a uma tendência crescente de buscar soluções para as necessidades dos homens, por meio das “estratégias evolucionais, as construções e os processos.” (BLÜCHEL, 2009, p.157; RAMOS & SELL, 1994).

Em 1958 aparece pela primeira vez o termo *Biônica* no mundo. A partir do conceito do major Jack Ellwood Steele, definido por: “Ciência dos sistemas em que

o funcionamento é baseado sobre os sistemas naturais, ou que apresentem características específicas dos sistemas naturais, ou ainda que sejam análogos a estes.” (GERARDIN, 1968 *apud* ARRUDA, 1994, p.19; SOARES, 2008; ALLGAYER, 2009 *apud* OLIVEIRA & LANDIM, 2011). Afirma-se ainda, que o major buscou criar um sistema de orientação, através das estruturas dos olhos das abelhas (SOARES, 2008; ALLGAYER, 2009 *apud* OLIVEIRA & LANDIM, 2011). Assim, a oficialização da ciência Biônica ou atividade formalizada se deu por meio de um simpósio, e pôde reunir profissionais de variados ramos científicos (ARRUDA, 1994; GERARDIN, 1968 *apud* OLIVEIRA & LANDIM, 2011).

Para Kindlein Jr. *et al* (2002) os aspectos que são encontrados na natureza e que permitem ser tomados como um auxílio para um projeto de produto, deve ser visto como tal, e não como uma cópia. Daí entende-se que a ciência Biônica é muito mais abrangente, e sua prática mais complexa, não podendo ser executada por uma única pessoa, pois envolve diversas áreas como engenharia, matemática, física, psicologia, biologia, ergonomia, farmácia, design, entre outras (ARRUDA, 1994; LIMA & ANDRADE, 2002; KINDLEIN JR. *et al*, 2002; BLÜCHEL, 2009). Para Arruda (1994) a projeção é o interesse da biônica, ou seja, o design. De acordo com Gomes (2011, p.201) a Biônica auxilia no descobrimento de “princípios estéticoformais, técnicofuncionais e lógico-informacionais”, o que vem a dar suporte para a geração de alternativas em prol da solução de problemas projetuais.

Por ser uma atividade multidisciplinar, é possível dentro da ciência Biônica, criar várias possibilidades de aplicações, conforme incita Rosendahl (2011). O autor define como principais possibilidades de aplicações e potencialidades:

1. BIÔNICA DOS MATERIAIS: As estruturas naturais apresentam diversos materiais otimizados diante as circunstâncias mecânicas em que o organismo está sujeito. O estudo destes materiais propicia a criação de novos materiais, superando os existentes.
2. BIÔNICA DAS ESTRUTURAS: Estuda e analisa as estruturas biológicas que apresentam características positivas. São exemplos desse ramo: estrutura em favo (aproveitamento do espaço), teia de aranha (utilização de cabos), casca de ovos (permissão de troca de gases), entre outros.

3. BIÔNICA DO CLIMA E DA VENTILAÇÃO: É a capacidade de identificar tanto nos organismos vivos quanto nas suas ações correlacionadas à ventilação. Seu uso abrange a arquitetura no tocante a climatização dos ambientes.
4. BIÔNICA CINEMÁTICA: A Natureza apresenta variadas soluções para a locomoção de acordo com o ambiente que está inserido, sendo assim, esta ramificação busca compreender tais características e abstraí-las para soluções projetuais.
5. NEUROBIÔNICA: Estudo do sistema sensorial para fornecer dados capazes de criar a inteligência artificial ou próteses de membros e órgãos humanos.
6. BIÔNICA DE PROCESSAMENTO: Lida com os processos que a Natureza domina nas relações bioquímicas e trocas de substâncias. Favorecem, por exemplo, estudos que envolvem fontes de energias baseadas na fotossíntese.
7. BIÔNICA DE ORGANIZAÇÃO: Associa a organização e funções relacionais existente nos conjuntos de seres vivos visando o seu emprego na realidade humana (sociedades, empresas, indústrias, etc.).
8. BIÔNICA DE EVOLUÇÃO: Está relacionada a aplicação da técnica “tentativa e erro” empregada pela Evolução, tornando-se útil ao desenvolvimento de componentes técnicos. O sistema de simulação e otimização empregado pela indústria automobilística através de computadores é um dos exemplos.

A Biônica é resultado de estudos acerca dos sistemas vivos ou semelhantes, tomando como ponto inicial fenômenos naturais, resultando em novos parâmetros passíveis à aplicação na tecnologia, desta forma pode-se dizer que há um estímulo criativo (RAMOS & SELL, 1994; COINEAU & KRESLING, 1994; MUNARI, 1998). No entanto, não se compreende a Biônica como uma técnica criativa, nesta pesquisa ela é vista de outra forma e é entendido que a criatividade é um atributo seu. Pois se trata de uma ferramenta alternativa para o designer, porque busca entender questões de funcionalidade no elemento natural, como também, busca

compreender princípios ou propriedades e mecanismos encontrados nesses elementos, objetivando a criação de novos produtos ou solução de cunho técnico no processo de projeto (KINDLEIN JR. *et al*, 2002; LIMA & ANDRADE, 2002). A Biônica toma a natureza como um solucionador de problemas projetuais, sendo estes comuns aos sistemas naturais, tais como: estrutura, locomoção, coordenação, emissão, transmissão e recepção de informações, etc. (HOGER, 1972 *apud* KINDLEIN JR. *et al.*, 2000). Segundo Arruda (1994) fatores presentes na natureza como estruturas, forma comportamento, eventos naturais, são úteis à pesquisa biônica, pois esta busca e utiliza as relações morfológicas presente nos sistemas naturais para elaboração de estruturas artificiais similares, no aspecto formal, às encontradas na natureza. E como ressalva, apoia-se em Pazmino *et al* (2007) quando lembra que há um motivo evidente em procurar entender a natureza para aplicação em projetos de produtos, pois os sistemas naturais são submetidos à uma lei natural que direciona sua evolução e organiza a matéria na profundidade de sua essência. Não há sentido em se utilizar desses estudos para a simples aplicação de elementos estéticos, pois a complexidade dos problemas de construção não é resolvida através da imitação. Para Rosendahl (2011) a Biônica não visa copiar a Natureza em sua integridade, pois as técnicas e os materiais dispostos atualmente não conseguem imitar processos como o crescimento de órgãos biológicos, a celulose, a quitina, etc.. Os dados obtidos através do estudo da natureza devem sofrer uma abstração para que seja passível a aplicação técnica. Assim, o estudo da natureza serve como uma tentativa de obter informações válidas para sua aplicação no ambiente humano (DI BARTOLO, 1981 *apud* ARRUDA, 1994).

No tocante ao assunto, se tem em Lidwell (2010, p.156) a ideia de mimetismo atrelado ao design, que representa a “cópia das propriedades dos objetos, organismos ou ambientes familiares para melhorar a usabilidade, a agradabilidade ou a funcionalidade do objeto.”. Dentro dessa lógica pode-se dividir em três tipos: SUPERFICIAL, quando considerado fica vinculado à cognição do uso; COMPORTAMENTAL, acatado no propósito de tornar o design atrativo; e FUNCIONAL, atribuído para solucionar problemas mecânicos e estruturais (LIDWELL, 2010). Nesta linha de raciocínio observa-se em Benyus (2011) que defende a biomimética, do grego *bios*, vida, e *mimesis*, imitação, cuja ideia se dá pelo

estudo da natureza onde pode ser imitada ou servir de inspiração para solucionar problemas humanos. Toma-se a Natureza como medida e mentora, já que por via dela podemos criar soluções ecológicas a partir do ensinamento que ela provê.

Segundo Ramos & Sell (1994), ao se deparar com algum sistema e analisá-lo, ainda não há como saber, através do conhecimento obtido, quais e que tipos de problemas de projeto que ele poderá prover uma solução, no entanto, a intuição o permite por não haver um controle de planejamento ou previsão. Mas, as análises nos sistemas naturais fornecem, imperiosamente, informações necessárias para a realização de um banco de dados sobre tais sistemas.

Então, é desta forma que se pode compreender a Biônica, sendo a ciência de entendimento dos sistemas naturais, tomando-os como exemplos vivos para soluções de problemas a partir de suas funções e características únicas, onde o pesquisador ou projetista/desenhista é auxiliado no projeto em que esteja engajado. Assim, este banco de dados com informações dos sistemas naturais auxilia quanto ao processo classificatório de suas propriedades, portanto, se ressalta a necessidade do conhecimento destas.

### 1.3. PROPRIEDADES

A natureza apresenta dentro de suas constituições, sejam seres vivos ou estruturas inorgânicas, propriedades agregadas a cada entidade, que estão dispostas de maneira a contribuir para sua sobrevivência, principalmente, como também, para executar suas funções mediante as necessidades surgidas pelas adversidades do ambiente em que se localizam.

Definir de uma maneira geral as propriedades que são encontradas em todos os organismos vivos se torna um tanto complexo, portanto, neste ponto do estudo serão abordadas algumas que se julga ser as mais eficazes e eficientes, quanto à adequação num projeto de design. Não se tem como absolutas as que aqui estão a ser citadas, podendo ser melhoradas ou superadas. Como também, não são as únicas verificadas em cada ser vivo analisado, permitindo então, existir outra propriedade que não fora identificada até o presente trabalho.

Partindo para o contexto da Biônica, encontram-se as seguintes propriedades nos organismos vivos: Agarre, Recepção, Transmissão, Estrutura, Proteção, Mimetismo, Textura, Locomoção, Sustentação, Alimentação, Elasticidade, Fixação, Filtragem, Bioluminescência, Regeneração e Termoregulação (CD BIÔNICA, 2001 *apud* NASCIMENTO SILVA, 2011). Cada uma será explanada ao decorrer deste item, conforme as informações contidas no material do autor citado.

### 1.3.1. Agarre

Entende-se como Agarre, o princípio relacionado ao ato de capturar, pegar, agarrar, etc., ou seja, através da aderência da superfície, os seres naturais que apresentam esta propriedade, tem a capacidade de captura. Tal propriedade pode ser observada em patas de animais (caranguejo, siri, escorpião, entre outros); mandíbulas (formigas, tarântulas, etc.) e bicos de aves (Figura 17). Vários outros organismos tem a Agarre, alguns deles são: Camaleão, Lavagante, Gafanhoto, Besouro, Água-Marinha-de-Cabeça-Branca, Pelicano, e muito mais.



**Figura 17. Exemplo de animais que apresentam a propriedade Agarre**  
Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/889149> | <http://www.sxc.hu/photo/610522> |  
<http://www.sxc.hu/photo/1388872>

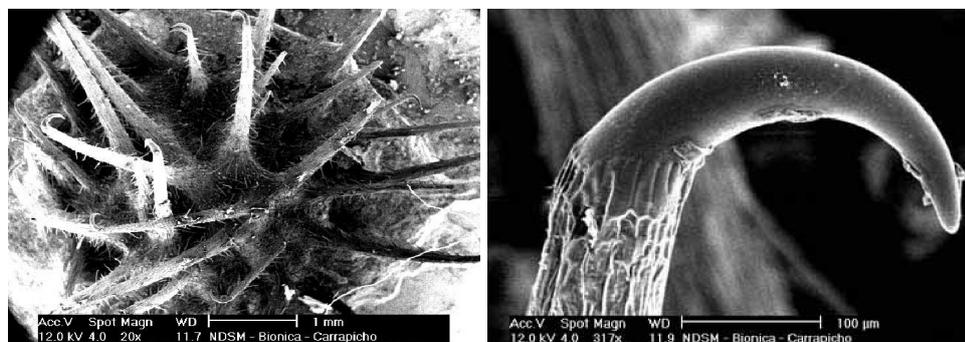
É verificado que em algumas plantas como as classificadas por carnívora, e também, nas sementes do carrapicho, é possível identificar a propriedade. Na primeira, este princípio está no fato da presa ao fazer contato com alguma área sensível da planta, ativando desta forma, um dispositivo do tipo gatilho, provocando o fechamento da sua estrutura, impedindo a presa escapar (Figura 18).



**Figura 18. Planta carnívora (*Dioneae muscipula*)**

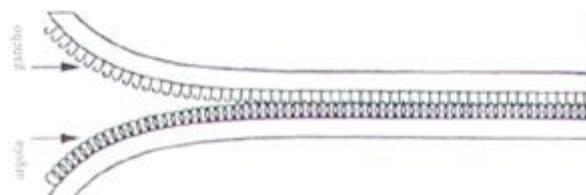
Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/188844> | <http://www.sxc.hu/photo/1234314>

Quanto às sementes do carrapicho (Figura 19), vê-se nelas o que atualmente é conhecido como *Velcro*, normalmente aplicado em vestuários, promovendo união e separação de objetos. Este sistema é obra de George de Mestral, quando ao passar por um campo se irritou por ter sementes da planta presas à sua roupa, então buscou compreender através de análise microscópica, como elas se fixavam. Mestral pode comprovar o que havia imaginado, existiam minúsculos ganchos ao final das estruturas da semente, onde se fixavam ao tecido ou pelos num grau elevado a ponto de ser arrancada da planta (VASCONCELOS, 2000; AMARAL, *et al.*, 2002). O modelo concebido por Mestral pode ser visto na figura 20.



**Figura 19. Fruto de carrapicho e gancho da extremidade observados em Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV)**

Fonte: Amaral *et al.* (2002)



**Figura 20. Modelo do velcro concebido por Mestral.**

Fonte: Adaptado de Petroski (1996) *apud* Vasconcelos (2000)

Vasconcelos (2000) explica que a aplicabilidade desta função pode ocorrer em projetos do âmbito da robótica e aprimoramento de dispositivos que lidam com a aderência de superfícies. Ao que é visto nas plantas pode-se incitar o uso deste princípio como um solucionador de problemas para dispositivos de fechamento, assim como, na utilização de projetos para juntas de dilatação do tipo “garfo”, visto em pontes.

### 1.3.2. Recepção

Alguns organismos tendem a tomar diretrizes quando captam sinais, mensagens e informações que podem influenciar em sua sobrevivência. A isto, dá-se o nome de Recepção, uma propriedade identificada em alguns organismos. Conforme o autor, estes sinais são obtidos através de quimiorrecepção, percepção sensorial, alterações no ambiente (como ar, água, terra e fogo). Como exemplos dos seres vivos que detém esta propriedade, existem os escorpiões, lavagante e a aranha tarântula.

### 1.3.3. Transmissão

Dentre as propriedades discorridas, uma está associada à capacidade dos sistemas naturais em se reconhecerem no ambiente através de sons transmitidos por eles, com isto conseguem também localizar e atrair suas presas. Este mecanismo orgânico é conhecido como *dispositivo eco-localizador biológico*. Os exemplos cabíveis a este dispositivo são o morcego e o golfinho (Figura 21).



**Figura 21. Morcego e golfinho, dois exemplos que apresentam a transmissão.**

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/578770> | <http://www.sxc.hu/photo/1058525>

Levando em consideração este atributo de alguns organismos naturais e tornando-o apto à utilização nos diversos meios de aplicação, cita-se a possibilidade do aperfeiçoamento de radares e detecção subaquática (Figura 22).



**Figura 22. Exemplo de radar.**

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/247884>

#### 1.3.4. Estrutura

Nota-se que os sistemas naturais têm a capacidade de gerar estruturas que suportam as intempéries do meio, suprindo todas as necessidades concernentes a esta característica. Um exemplo clássico e bastante explorado em estudos deste aspecto é a colmeia das abelhas. Com formas hexagonais, criam uma resistência eficiente com o menor gasto de material possível (Figura 23).



**Figura 23. Estrutura hexagonal da colmeia formada pelas abelhas**

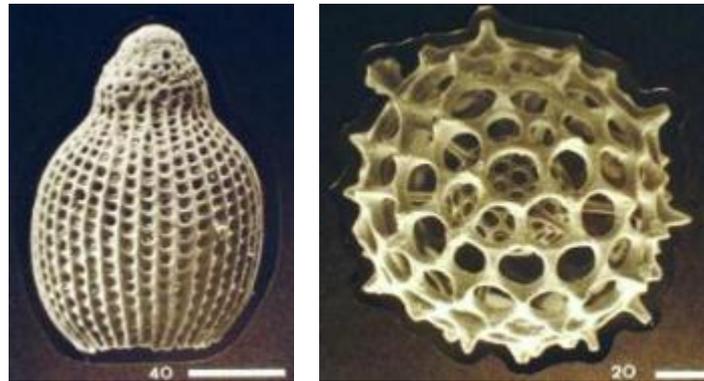
Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/972191>

Muitas destas estruturas são tomadas como conceitos para a utilização em produtos, conforme as estruturas de painéis da indústria moveleira, denominada

*honeycomb*, também empregada na aeronáutica, sola de calçados e vários outros projetos que necessitem ser leves e rígidos.

No meio vegetal pode-se visualizar esta característica na planta comumente chamada de vitória-régia. Nela existem nervuras na superfície que lhe dão leveza, e conforme já visto, foi tomada como fonte de inspiração para a construção do Palácio de Cristal, por exemplo.

Observa-se também nos Radiolários, organismos marinhos de tamanhos minúsculos, unicelulares, tendo suas estruturas constituídas por sílica e esqueletos em formas geométricas vazadas, dando um aspecto de gaiolas esféricas (Figura 24). Estes organismos dão vazão para conceitos projetos e construções de cúpulas geodésicas e modulares.



**Figura 24.** Dois exemplos de radiolários com sua estrutura óssea  
Fonte: <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Radiolarios.html>

Por fim, cita-se a teia de aranha como outro exemplo encontrado na Natureza através da aranha, onde apresenta eficiência, resistência e leveza. É capaz de sofrer grandes impactos (colisão dos insetos na teia), devido os fios radiais e perimetrais apresentar espessuras diferenciadas, gerando boa deformabilidade, como também, apresentam a combinação de tração e compressão. Este exemplo permite gerar parâmetros projetuais para construção de estruturas que primam pelas características identificadas na teia, que são: resistência, leveza e flexibilidade.

Para um melhor entendimento da aplicação desta função, pode-se observar no Estádio Olímpico de Munique, projetado por Frei Otto, Fritz Leonhardt e W. Andra, no ano de 1972 (Figura 25).

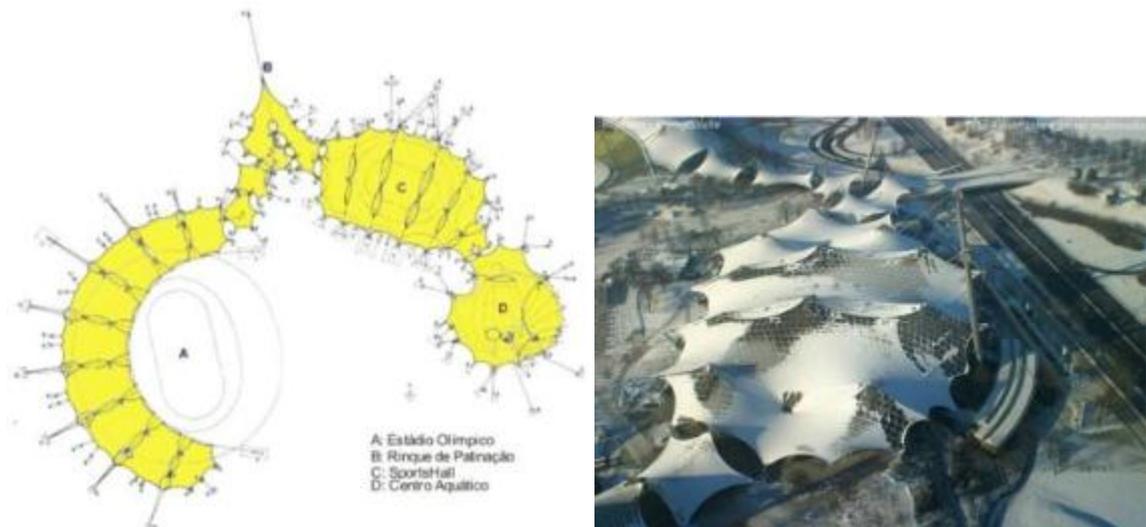


Figura 25. Desenho da disposição do Estádio Olímpico de Munique e fotografia aérea do Estádio  
Fonte: <http://www.lmc.ep.usp.br>

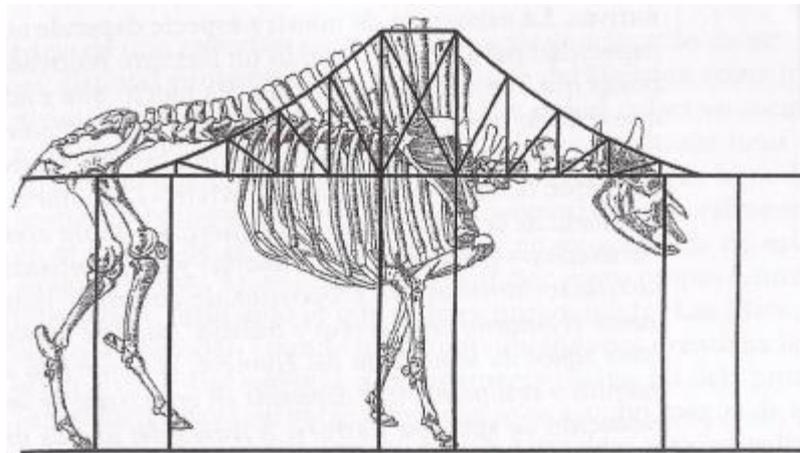
### 1.3.5. Proteção

Como o título da propriedade já incita, pode-se entender que este princípio oferece mecanismos e organizações dentro dos sistemas naturais associadas a mecanismos de defesa e autoproteção.

Identifica-se em animais como o tatu-bola a exemplificação deste princípio, onde seu corpo fica embutido na parte inferior do seu dorso. Assim como o tatu-bola, a tartaruga e o besouro, também apresentam uma carapaça favorecendo sua proteção. Encontra-se na caravela um sistema de defesa químico, onde seus tentáculos apresentam órgãos urticantes, expelindo toxinas que são mortais. O escorpião apresenta uma similaridade neste aspecto, pois é portador de uma vesícula venenosa que é acionada por contrações musculares, expelindo o veneno.

Os cactos apresentam em sua superfície externa os espinhos, que tem como uma de suas funções, a proteção mediante o ataque de animais, no intuito de comê-los. As conchas também apresentam em sua estrutura externa, características próprias que são associadas a sua proteção. Elas possuem ondulações dispostas longitudinais e perpendiculares entre si, em mesma direção e tamanhos menores, respectivamente, que auxiliam quanto à resistência relacionadas à tração e compressão, utilizando um mínimo de material. De acordo com o autor, este princípio pode ser associado a projetos de construção de cobertas e painéis.

Dentre os organismos que apresentam esqueletos, pode-se inferir que seus ossos servem como um princípio de proteção. Isto se dá pelo fato de apresentarem uma resistência a esforços de compressão e tração. Para Broeck e Muñoz (2003), os esqueletos dos animais representam bem sua relação com os esforços, exibindo a distribuição de forças nestes. Afirmam que os ossos estão associados aos movimentos compressores e os músculos e tendões ligam-se às tensões. Estas características em conjunto com a disposição óssea dos quadrúpedes, resultam em exemplos de pontes notáveis (Ibid.; RICARD, 2000) (Figura 26).



**Figura 26. Estrutura da ponte Forth of Firth com característica estrutural baseada num quadrúpede.**  
Fonte: Adaptado de Ricard (2000)

De acordo ainda, com as informações do CD Biônica (2001) *apud* Nascimento Silva (2011), concorda-se que os ossos têm uma capacidade latente em questão de conceitos para a construção de pontes devido a sua resistência aos esforços, assim como, para a construção de torres e vigas.

É verificado que os ovos também apresentam o princípio de segurança, pois são estruturas infláveis, suportando desta maneira o peso dos materiais em seu interior. São também pneumáticas, com uma pele externa resistente e capaz de se deformar. Formando desta forma, a possibilidade da utilização deste princípio em embalagens de alimentos, conforme CD Biônica (2001) *apud* Nascimento Silva (2011).

### 1.3.6. Mimetismo

Esta propriedade encontrada nos organismos vivos toma basicamente como principais objetivos: a defesa ante o predador e a atração para o processo de reprodução. Quanto à defesa, cita-se a camuflagem, buscando tornar-se despercebido ou de distrair. Esta característica pode ser percebida no camaleão, que ao sentir uma excitação de cunho físico ou emocional, há uma contração ou expansão das células de sua pele (cromatóforos) promovendo a alteração de cor (Figura 27).



**Figura 27. Camaleão com pigmentação de pele análoga à vegetação**

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/518171>

Outro organismo que apresenta alteração de cor da pele é o polvo. Nele há também células em sua derme que contém pigmentações, favorecendo a camuflagem. Conta-se também que sua pele apresenta rugosidades, dando margem ao mimetismo de rochas, tornando o animal confundível no meio em que se encontra. Assim como o polvo, citam-se dois outros animais do meio aquático que apresenta as mesmas características, o peixe-solhã e o peixe-rascasso (Figura 28).



**Figura 28. Peixe rascasso em seu habitat**

Fonte: <http://www.oceanario.pt/cms/351/>

### 1.3.7. Textura

Esta propriedade se comporta de maneira múltipla, pois em várias de suas aplicações estão princípios associados à proteção, ou outros que se engajam em parâmetros sensoriais. No entanto, há uma gama de possibilidades no tocante a texturas, mas que se encontra em processo de investigação.

Em nível de ilustração e compreensão do que se trata esta propriedade, o autor cita alguns exemplos tal qual o Abacaxi, com sua superfície rugosa; a formiga, que apresenta em seu abdômen uma superfície que apresenta textura similar à forma de hexágono; o Iguana com o revestimento de escamas em sua pele; e por último, os corais, de esqueleto calcário, com variados tamanhos, texturas e cores.

### 1.3.8. Locomoção

De acordo com CD Biônica (2001) apud Nascimento Silva (2011), visualizam-se na Natureza diversas formas de locomoção entre os sistemas naturais, formas estas que se encontram diretamente relacionadas ao meio em que se encontram os organismos naturais (terra, água ou ar).

O material pesquisado apresenta como exemplo o polvo, que se locomove na necessidade de buscar alimentos, mudança de abrigo ou fugir de predadores. Neste último caso, há a necessidade de agilidade, e para isso o animal se utiliza da propulsão de reação. Isto acontece quando a água penetra por uma fissura localizada na face ventral do corpo do animal e seus músculos se contraem fechando-a; após esse movimento, a água é expelida por um canal que proporciona pressão e dá movimento ao polvo em sentido contrário. Logo, a velocidade de deslocamento está diretamente associada à intensidade exercida pela contração muscular. Este exemplo serve como suporte para a criação de dispositivos de propulsão e direção de veículos no meio aquoso.

Outro exemplo singular de locomoção se encontra no gafanhoto. Seu voo é caracterizado pelo bater de suas asas no sentido de cima para baixo, em forma de oito, criando a capacidade de empurrar o ar para trás. Sua locomoção não se

restringe ao voo, mas também se locomove por via de saltos, pois apresenta uma excelente alavanca nos segmentos de sua pata posterior, acionadas por músculos que desenvolvem, nas devidas proporções, uma força de dez vezes mais que a força muscular humana. Acrescenta-se ainda, o exemplo do golfinho que devido a sua forma hidrodinâmica e sistema de propulsão, permite atingir até 64 km/h. A fim de ganhar aceleração, o golfinho dá saltos para fora da água, devido a resistência desta ser menor que a do ar. As aplicações destes princípios podem ser levadas em consideração em projetos de desenvolvimento de formas hidrodinâmicas ou aerodinâmicas, para veículos que percorram o meio aquático, ou o meio terrestre, ou o meio aéreo.

Por fim, cita-se o exemplo das serpentes, que por movimentos musculares e a disposição das escamas no corpo do animal, permitem-no percorrer os espaços terrestres, ocasionado pela aderência entre a superfície do solo percorrido e as escamas do animal.

### 1.3.9. Sustentação

Esta propriedade carrega em si a capacidade de manter a integridade dos sistemas naturais, a partir dos mecanismos inerentes a cada indivíduo.

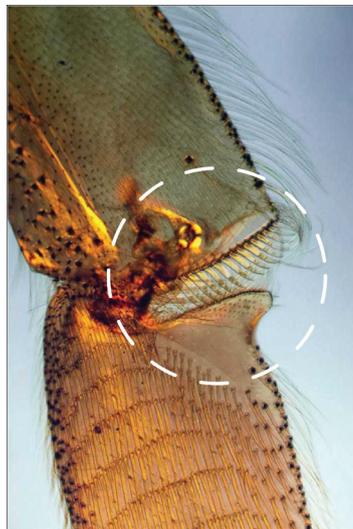
De esta forma, visualiza-se nos pássaros a sua estrutura física com perfil assimétrico, dando margem a sua sustentação no ar, pois o ar passa mais rápido na parte superior do corpo do animal, promovendo uma variação de pressão adequada à propriedade. Aí se encontra uma base para conceitos de projetos que abrangem as áreas da aviação bélica, comercial e de lazer.

Os insetos apresentam em suas patas músculos fortes e articulações que os dão agilidade e equilíbrio, gerando a promoção de criação de ideias quanto à robótica. Outra forma de sustentação se encontra no trigo, pois suas hastes apresentam vasos próximos ao perímetro da seção, tornando-se leve e resistente.

### 1.3.10. Alimentação

Esta propriedade está associada aos mecanismos realizados pelos sistemas naturais para a coleta, armazenamento, digestão e absorção dos alimentos, necessários a sua sobrevivência.

Para contextualizar, observa-se a abelha, que possui em suas patas posteriores minúsculos instrumentos que recolhem o pólen (Figura 29). Entre estes, há um que se apresenta como uma bolsa, chamado de corbícula, onde o pólen fica alojado sobre uma pequena prancha. Os pelos rígidos e macios da pata da abelha executam uma retenção e dragam o pólen, formando uma bola facilitando o transporte (CD BIÔNICA, 2001 *apud* NASCIMENTO SILVA, 2011).



**Figura 29. Fotografia do detalhe da corbícula da pata posterior da abelha.**

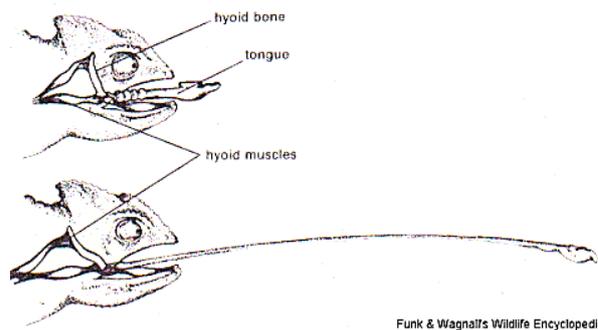
Fonte: [http://www.photomacrography.net/forum/userpix/714\\_350D\\_HoneyBeePollenBasket\\_0289a\\_1.jpg](http://www.photomacrography.net/forum/userpix/714_350D_HoneyBeePollenBasket_0289a_1.jpg)

Esta estrutura juntamente com seus elementos funcionais, pode estar associada à elaboração de embalagens.

### 1.3.11. Elasticidade

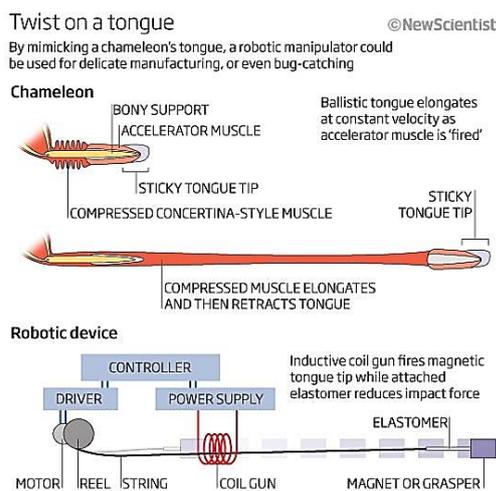
Alguns sistemas naturais apresentam a propriedade de elasticidade. Ela consiste basicamente, em consequência da deformação elástica total ou parcial da estrutura física de algumas espécies.

Observa-se as serpentes, quando conseguem ingerir presas de tamanhos muito além de sua estrutura em estado normal, devido a elasticidade de sua pele e a sua estrutura mandibular. Assim como as serpentes, o camaleão apresenta a propriedade na função que exerce sua língua ao caçar suas presas. Os músculos longitudinais relaxam e funciona tal qual um gatilho, quando solta a mola de uma arma, atingindo a velocidade de 1/25 segundos e retorna com aproximadamente meio segundo (Figura 30).



**Figura 30. Ilustração da estrutura que favorece o disparo da língua do camaleão**  
 Fonte: <http://www.robinsonlibrary.com/science/zoology/reptiles/squamata/sauria/chameleons.htm>

A língua do camaleão se tornou objeto de estudo do engenheiro Alexis Debray, onde possibilitou gerar quatro estruturas robóticas, apresentado em sua pesquisa publicada pelo jornal *Bioinspiration & Biomimetics*, intitulado por *Manipulators inspired by the tongue of the chameleon* (DARWINISMO, 2011). Na figura 31 apresenta-se um modelo de um dos dispositivos idealizado pelo engenheiro:



**Figura 31. Modelo de estrutura robótica inspirada na língua do camaleão**  
 Fonte: <http://www.newscientist.com/data/images/archive/2808/28084901.jpg>

O golfinho também apresenta uma peculiaridade quanto à elasticidade. Sua pele possui um sistema visco-elástico, que promove o amortecimento da mesma. Isto permite que não ocorra qualquer turbulência ao longo de sua estrutura física quando adquire velocidade e se desloca. Este fundamento carrega a capacidade de sua utilização em revestimentos de antiturbulências para aplicação em veículos.

### 1.3.12. Fixação

Devido às intempéries do tempo, alguns sistemas naturais exibem como uma de suas funções a fixação, que lhe permitem ter maior firmeza, estabilidade e resistência (CD BIÔNICA, 2001 *apud* NASCIMENTO SILVA, 2011).

Assim, demonstra-se o polvo como um dos organismos que carrega a propriedade da fixação. Em seus tentáculos, na parte inferior, existem estruturas em dupla fila denominadas de ventosas, onde se compõe por uma espécie de câmara constituída por músculos nas paredes e um anel adesivo de estrutura radial, daí, sua parte periférica de material maleável, exerce de maneira eficiente a fixação, seja em superfícies variadas ou suas presas (Figura 32).



**Figura 32. Parte inferior do polvo – tentáculos com dupla fila de ventosas**

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/743107>

Da mesma forma que o polvo, a estrela-do-mar também exibe em suas estruturas de locomoção a propriedade da fixação. Chamado de sistema ambulacrário, sua estrutura apresenta pés que se caracterizam por tentáculos hidráulicos que são alimentados por canais ambulacrários. Ao final destes

tentáculos existem ventosas, que permitem a fixação com força aderente de 29 g (Figura 33).



Figura 33. Detalhe de uma estrela-do-mar com seus pés ambulacrários

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/99272>

### 1.3.13. Filtragem

A propriedade de filtragem é caracterizada por mecanismos que primam pela sobrevivência dos sistemas naturais através da troca de elementos.

Exemplifica-se através das esponjas, que são organismos naturais onde a água os atravessa por via de poros, canais e cavidades. Outro exemplo se encontra no ovo, pois sua casca formada por cristais de cálcio contém imperfeições no alinhamento entre dois destes, ocasionando poros microscópicos, permitindo assim a troca de gases entre o meio externo e interno.

### 1.3.14. Bioluminescência

Propriedade bastante específica e encontrada em alguns sistemas naturais que emanam luzes frias devido à oxidação da proteína luciferina. Ocorre devido a presença de órgãos específicos, chamados de fotóforos, ou bactérias luminescentes que se encontram em locais determinados do corpo, como ocorre no vagalume, certos peixes, dinos flagelados (*Noctiluca*), cogumelos – *Neonothopanus gardneri* (Figura 34) – e outros organismos naturais.



**Figura 34. Neonothopanus gardneri– cogumelo luminescente**

Fonte: <http://noticias.r7.com/tecnologia-e-ciencia/noticias/cientistas-descobrem-no-brasil-cogumelo-luminoso-desaparecido-ha-170-anos-20110707.html>

### 1.3.15. Regeneração

Sabe-se que os seres vivos tem a capacidade de se reconstituírem de forma parcial ou total, deixando cicatrizes na pele devido a um corte, no ser humano, por exemplo, ou ressurgindo totalmente a seção que tenha sido perdida, como a lagartixa ao perder sua cauda, ou ainda a estrela-do-mar que também apresenta esta potencialidade, conforme o material Cd Biônica (2001) *apud* Nascimento Silva (2011).

Desta forma, é possível compreender que a propriedade de Regeneração associa-se aos organismos que apresentam em suas organizações físicas mecanismos de defesa que provoquem em si a recuperação total ou parcial do ponto em que se sofreu dano.

### 1.3.16. Termorregulação

Algumas espécies de seres vivos encontrados na Natureza apresentam um sistema termorregulador em seus organismos físicos. Nota-se especialmente dentre as categorias, os mamíferos e as aves os que apresentam esta característica marcante.

Neles ocorre o mecanismo de homeostasia, onde o corpo busca estabilidade de temperatura interna mediante as oscilações térmicas do meio externo. Segundo as informações do CD Biônica (2001) *apud* Nascimento Silva (2011) esta

estabilidade provém da regulação térmica do interior do corpo através coordenação da produção (termogênese) e libertação (termodispersão) do calor do corpo.

#### 1.4. BIÔNICA APLICADA AO DESIGN

Conforme visto no decorrer do capítulo, são vários os ramos de aplicação da Biônica, assim como, são várias as propriedades existentes entre os organismos vivos. Para uma melhor compreensão de como estas propriedades e ramos podem ser utilizados na prática, demonstra-se aqui, a partir de poucos exemplos dentre tantos existentes, como uma forma de compreender a grande potencialidade da Biônica e sua ampla aplicação mediante as necessidades humanas.

##### MERCEDES-BENZ BIONIC CAR

De acordo com o artigo publicado pelo Notícia DC (2005) o carro desenvolvido pela DaimlerChrysler para a Mercedes-Benz, o Bionic Car, foi apresentado ao público em 2005 no Simpósio de inovação da DaimlerChrysler que aconteceu em Washington DC nos Estados Unidos.

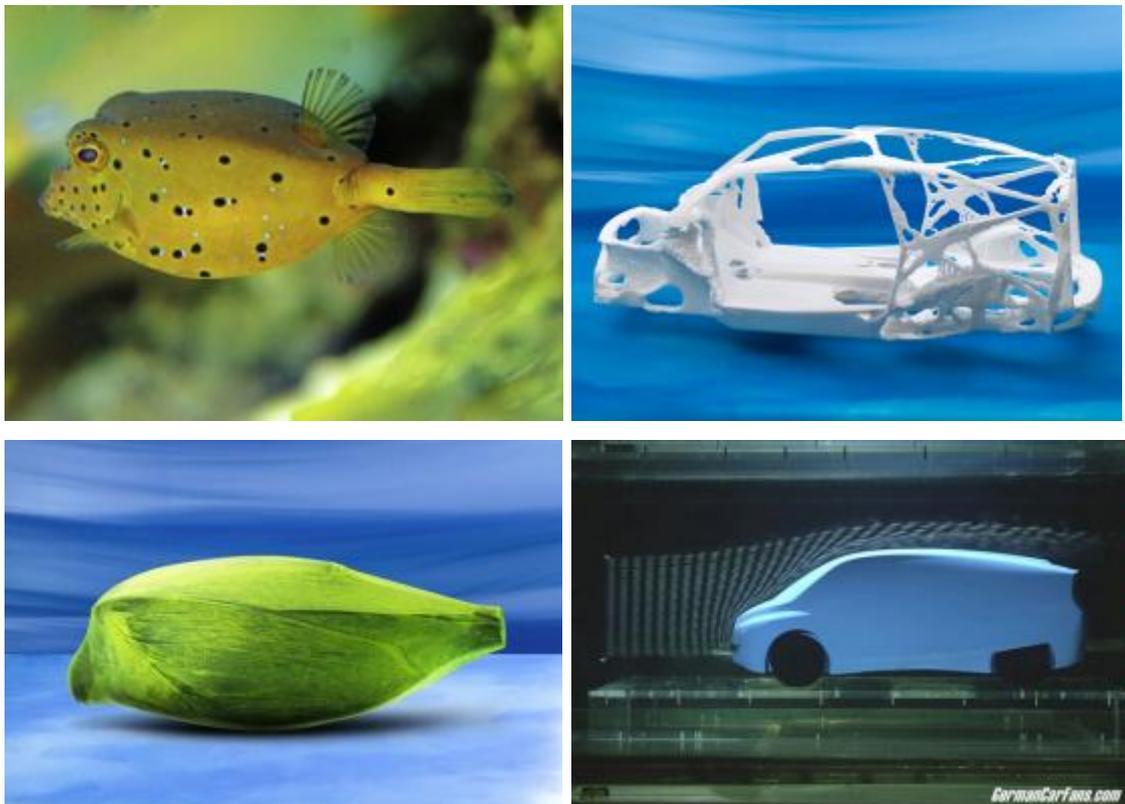


Figura 35. Mercedes-Benz Bionic Car desenvolvido pela DaimlerChrysler

Fonte: <http://www2.mercedes-benz.co.uk/>

Com o conceito baseado nas formas e estruturas ósseas do Peixe-cofre (Figura 36-1,2), os engenheiros e designers procuraram desenvolver um carro aerodinâmico, seguro e confortável. Seus estudos de forma conseguiram alcançar bons resultados quanto à aerodinâmica do carro, com coeficientes jamais alcançados. A estrutura do carro foi desenvolvida a partir da estrutura óssea do Peixe-Cofre, o qual possui formato hexagonal que proporciona maior rigidez e com peso baixo, com tais estudos foi possível desenhar uma estrutura com um

terço do peso de um carro da mesma categoria e tamanho, sem diminuir a resistência e segurança (Figura 36-3,4).



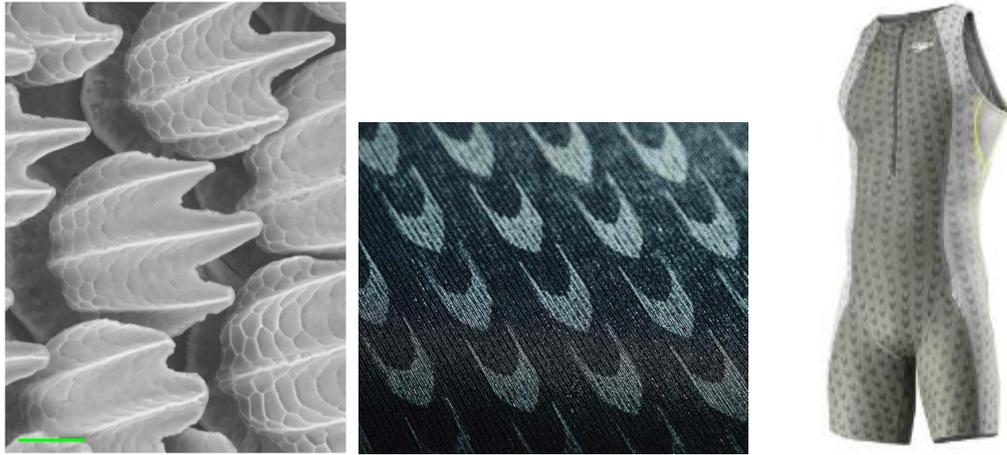
**Figura 36. 1 - Peixe-cofre em seu Habitat; 2 - Estrutura do carro baseado na estrutura óssea do Peixe-cofre; 3 - Adaptação da forma; 4 - Mockup em teste subaquático**

Fonte: <http://www.worldcarfans.com/205060712569/mercedes-benz-bionic-concept-vehicle>

Com todos os estudos realizados, foi possível desenvolver um carro compacto, totalmente funcional, possuindo 4,24 metros e espaço para 4 passageiros com bagagem. Também foi considerado o carro conceito mais eficiente em sua categoria.

#### FASTSKIN SPEEDO

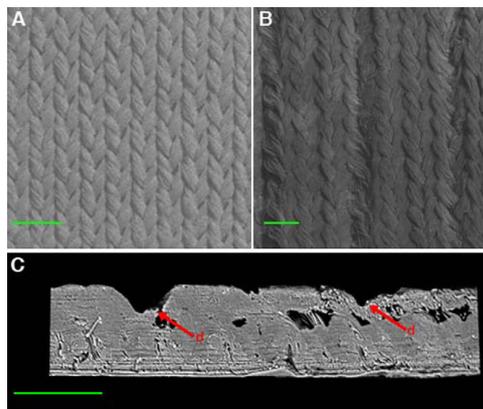
Lançado pela Speedo em 2004 trata-se de um traje de natação inspirado na pele do tubarão. Busca a hidrodinâmica da pele deste animal para aumentar a eficiência e velocidade dos atletas de natação, pois auxilia na diminuição do atrito com a água e da vibração muscular do atleta. Seu princípio é proveniente dos "denticulos" da pele do tubarão (Figura 37) (VERSOS, 2012; OEFFNER & LAUDER, 2012).



**Figura 37. Dentículos da pele do tubarão em imagem microscópica. Fotografia macro do tecido Fastskin e uma imagem de modelo completo**

Fonte: Oeffner & Lauder (2012) | (VERSOS, 2010)

Em comparação com um tecido não-biônico, o Fastskin possui costuras maiores e mais recortadas, e são esses recortes, junto com a direção das cavidades de forma perpendicular, que auxiliam para uma maior eficiência dos atletas, como se pode ver nas imagens abaixo (OEFFNER & LAUDER, 2012).



**Figura 38. A – Estrutura de tecido não-biônico; B – Estrutura do tecido biônico Fastskin; C – Corte transversal exibindo as cavidades do tecido.**

Fonte: Oeffner & Lauder (2012)

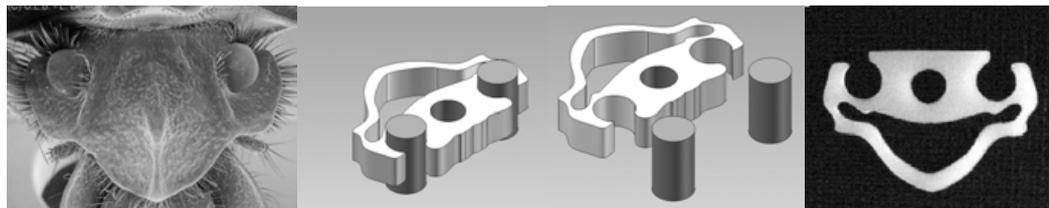
#### ELEMENTOS DE JUNÇÃO

Desenvolvido pelo Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS (LdSM) e apresentado no Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design (P&D Design) no Paraná em 2006.

O estudo tinha como objetivo o desenvolvimento de elementos de junção a partir de junções e estruturas da natureza. Por meio da análise de sete sistemas

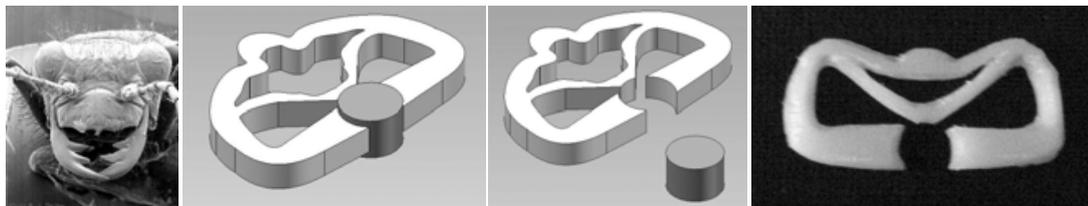
estruturais encontradas na natureza, foram desenvolvidos sete tipos diferentes de sistemas de junções.

As inspirações e análises foram dos seguintes elementos: (1) Escaravelho, (2) Besouro Cincidela sp, (3) Estrela Come-Peixe, (4) Sapo Bufo bufo, (5) Estrela Come-Peixe, (6) Estrela Come-Peixe, (7) Besouro Chrysomela sp.. Obtendo os resultados, respectivamente:



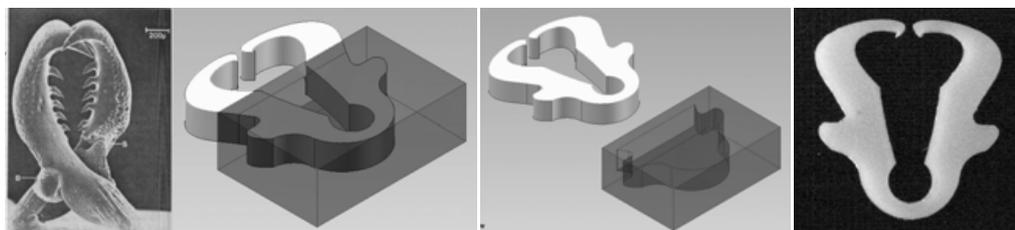
**Figura 39. Peça de junção baseada no Escaravelho**

Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).



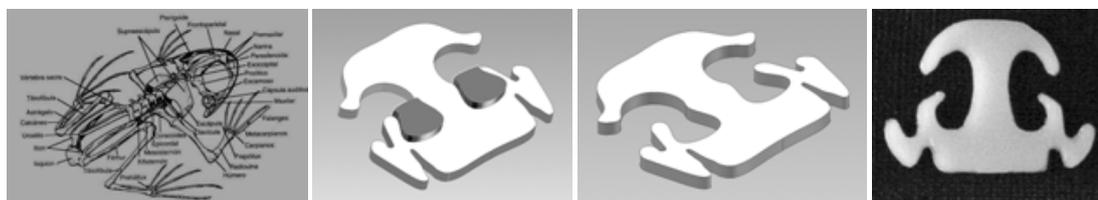
**Figura 40. Peças de junção baseada no Besouro (Cincidela sp.)**

Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).



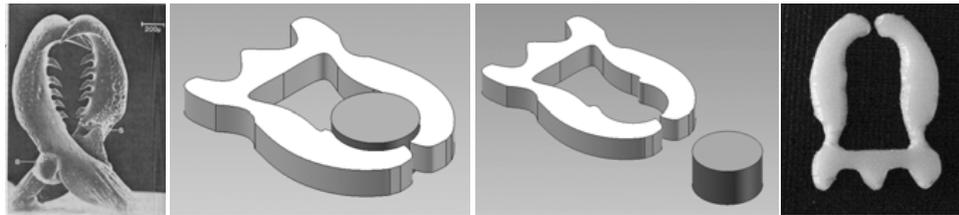
**Figura 41. Peça de junção baseada na Estrela Come-Peixe**

Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).

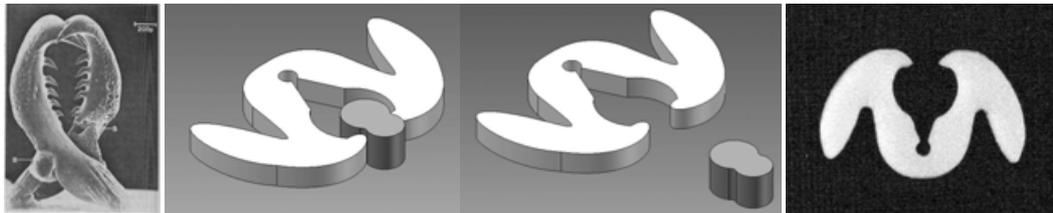


**Figura 42. Peça de junção baseada no Sapo bufo bufo**

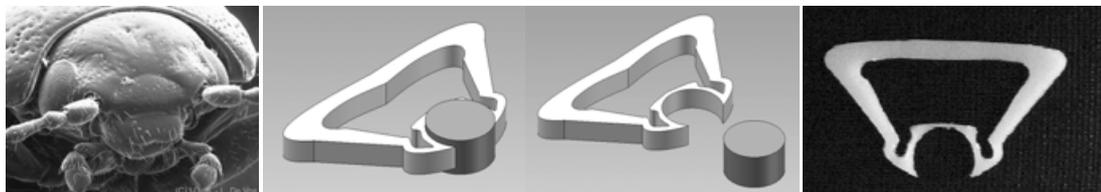
Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).



**Figura 43. Peça de junção baseada na Estrela Come-Peixe**  
 Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).

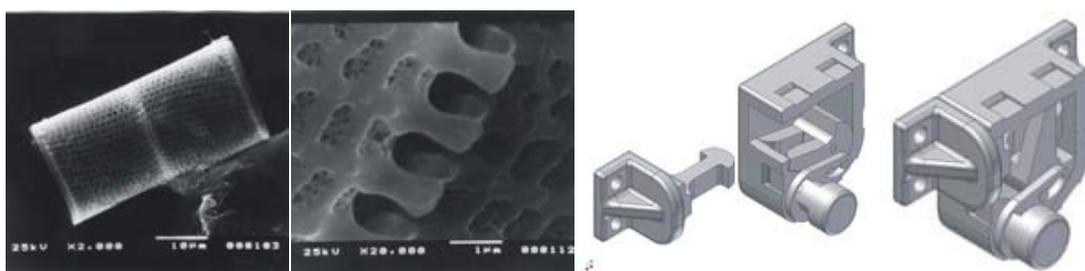


**Figura 44. Peça de junção baseada na Estrela Come-Peixe**  
 Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).



**Figura 45. Peça de junção baseada no Besouro (*Chrysomela* sp.).**  
 Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).

Por fim, foi analisada a estrutura de uma Alga unicelular, *Diatomácea Cilíndrica*, para o desenvolvimento de um elemento de junção para um produto final, uma tranca, conforme a figura 46.



**Figura 46. Tranca baseada na alga *Diatomácea Cilíndrica***  
 Fonte: CÂNDIDO *et al* (2006).

## TENIS RIO MOVE NIKE

Desenvolvido pelo designer da Nike Tobie Hartfield, lançado mundialmente em 2004, o tênis Rio Move (Figura 47) é o principal da coleção

Beach sports, que foi inspirada no Rio de Janeiro e seus esportes de areia. A partir de análises de necessidade e problemas dos esportistas, a equipe de designers buscou soluções em elementos naturais.



Figura 47. Tennis Rio Move Nike

Fonte: Reis (2009)

O solado do pé foi inspirado na pata de camelo que proporciona melhor estabilidade e eficiência (Figura 48). Como também, ao buscar inspiração na bolacha e estrela do mar, foi desenvolvida uma malha de microfibras, que cobre a parte superior do tênis, onde auxiliam a repelir os grãos de areia, mas que permitem a respiração do pé.



Figura 48. Detalhe da malha e do solado, ambos baseado na natureza

Fonte: Reis (2009)

#### LOTUSAN

A partir da descoberta de uma superfície encontrada na folha da flor de lótus, a qual tem a propriedade de repelir a água e auxiliar na autolimpeza, através de micro e nanopartículas que possuem tais propriedades. Estas serviram como bases para o desenvolvimento das tintas Lotusan, que possuem micro partículas, o que a permite repelir a água, possuindo assim, a propriedade de autolimpeza e resistência à mancha por anos (Figura 49).



**Figura 49.** Detalhe e analogia entre a água numa folha de lótus e a tinta Lotusan aplicada na parede.

Fonte: (VERSOS, 2010)

Assim, a importância do uso da Biônica é evidente e incontestável, pois a natureza consegue suprir suas necessidades de maneira efetiva. Necessidades estas que se apresentam aos homens como problemas análogos aos dos organismos vivos, e sendo o Homem a única espécie dotada de inteligência racional (até onde se sabe) neste meio, portanto, cabe a ela buscar e compreender os processos intrínsecos que a permeiam em conjunto à natureza. Admitem-se que esta é detentora de inteligência superior ou divergente da nossa. Assim, o design se enquadra perfeitamente neste contexto, e notificando a possibilidade de uma solução com a dimensão que a natureza demonstra, não seria interessante buscar a compreensão destes fatos? Visto que a natureza a todo momento produz, recicla, descarta, limpa, estrutura, organiza, locomove, etc., não há como contestar o seu valor mediante as suas capacidades de projeto. Resta-nos aprender com ela!

## 2. BIOMA CAATINGA

[De língua indígena, *caa* = mata, e *tinga* = clara, branca (BERNARDES, 1999).

**É** imprescindível associar a palavra CAATINGA ao conhecido sertão, local de seca abrangente da região do nordeste brasileiro.

Caracterizado por apresentar habitações isoladas, castigadas pela falta da água e de agricultura precária em territórios de solos ingratos. De difícil ocupação humana, vista como lenta e penosa. Entretanto, esta não é a única face dos ambientes em que se encontram as vegetações da Caatinga, ou conforme Bernardes (1999) e Prado (2003) se pode designar *caatingas* (no plural), em consequência da grande diversidade da paisagem vegetal encontrada no interior do Nordeste. Para Silva *et al.* (2003, p.50), a “Caatinga é tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil.”, a isto também afirma Leal *et al.* (2003) e acrescenta em se tratar de um bioma estritamente brasileiro.

Muito embora se saiba do que se trata a Caatinga, há ainda uma desvalorização dela, provavelmente o mais desvalorizado dentre todos os biomas do Brasil, e o seu conhecimento botânico é precário. Isto provém de uma concepção errônea, onde a Caatinga é resultante de outra formação vegetal, sofrida pela ação do homem, sem espécies nativas e pouco diversas. Fato que não ocorre de forma alguma, necessitando abolir este pensamento, pois que a Caatinga apesar de estar bastante alterada, apresenta uma grande variedade de tipos vegetacionais, remanescentes de vegetação preservada com um número expressivo de táxons raros e endêmicos (exclusivos da região), como também, espécies em números elevados (SILVA *et al.*, 2003; LEAL *et al.*, 2003).

Há algumas décadas, as atenções estão se voltando ao bioma, como por exemplo, os estudos de Andrade-Lima (1981; 1989 *apud* SILVA *et al.*, 2003) que valoriza e chama os olhares a Caatinga com a sua riqueza da flora e a impressionante adaptação de algumas espécies ao clima semiárido. Portanto, este capítulo trás uma abordagem do Bioma Caatinga, como forma de compreender as

características que está inserido o objeto de estudo desta pesquisa. Serão abordadas as delimitações geográficas do bioma, suas características quanto vegetação, criando um embasamento maior acerca das implicações exercidas pela espécie escolhida, o mandacaru (*Cereus jamacaru DC.*), que também será visto ao fim do capítulo.

## 2.1. DELIMITAÇÃO GEOGRÁFICA

Segundo a publicação do Ministério do Meio Ambiente, no ano de 2003, intitulada de Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para conservação, a Caatinga ocupa uma área de 734.478 km<sup>2</sup>, e trata-se do único bioma autenticamente brasileiro, o que implica em grande parte de seu patrimônio biológico só ser encontrado exclusivamente na região Nordeste do Brasil. Geograficamente esta região é dividida em zona litorânea, agreste e sertão. Estas duas últimas compõem a região semiárida (ou domínio da caatinga), abrangendo um total de 925,043 km<sup>2</sup>, o equivalente a 55,6% da região Nordeste, comportando 63% da população nordestina e 18% da população brasileira (SILVA *et al.*, 2003).

Segundo a Associação Caatinga (2012) o bioma Caatinga tem 826.411 km<sup>2</sup>, o que significa 10% do território brasileiro e 70% de toda a região Nordeste. Trata-se da região semiárida que apresenta a maior riqueza em fauna e flora do mundo, por isto, a Caatinga se encontra entre as 37 grandes regiões naturais do planeta, assim como a Amazônia e o Pantanal, necessitando ser conservada e protegida.

Já de acordo com a publicação da cartilha Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro pelo Ministério do Meio Ambiente no ano de 2005, a área total do semiárido sofreu um aumento, passando de 892.309,4 km<sup>2</sup> para 969.589,4 km<sup>2</sup>, um aumento de 8,66%, sendo o estado de Minas Gerais que obteve maiores municípios inclusos. Anteriormente este estado tinha um percentual de 27,2% de participação do semiárido, após a nova delimitação este número subiu para 51,7%. É caracterizado por ser uma área que apresenta irregularidade de precipitação

pluviométrica, igual ou inferior a 800 mm (BRASIL, 2005; SUDENE, s.d.; JORDÃO, 2010), ocasionando secas por longos períodos, tomando a proporção de anos.

Segundo Bernardes (1999) e Zappi (2008), existe uma relação da caatinga com o clima semiárido, entretanto, de maneira geral, a caatinga aparece nas áreas de totais anuais de chuva, que normalmente estão abaixo de 1000 mm, sendo assim, não se pode considerar ainda como clima semiárido. Continua afirmando que a caatinga abrange, praticamente, a totalidade das áreas dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte; o sudoeste do estado do Piauí, em grande parte de sua área; grande parte do oeste dos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe; a maior parte do interior da Bahia e uma larga faixa do extremo norte do estado de Minas Gerais (Figura 50). Ao sul, as caatingas entram em contato com a região dos campos cerrados, característico das regiões centrais, e ao norte, chegam à faixa praiana. Na parte oriental, as características das caatingas não são tão nítidas, ocorrendo uma mistura com as espécies encontradas em florestas mais secas, numa larga tira de transição, para a mata atlântica. Em estados como Paraíba, Pernambuco e Alagoas, existe uma região muito típica denominada de Agreste, se faz também uma miscigenação com a caatinga, sendo considerada uma faixa de transição. Ressalta-se que a ilha de Fernando de Noronha também deve ser considerada (ANDRADE-LIMA, 1981 *apud* PRADO, 2003).



**Figura 50.** Área da Caatinga na região Nordeste e norte do Estado de Minas Gerais

Fonte: Adaptado de <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>

De acordo com Zappi (2008) após as sucessivas atuações do homem ao longo de sua existência nesta região, por meio das atividades agropastoris, grande parte de sua área degradada ou transformada para tais atividades, tornou-se difícil uma delimitação exata de sua vegetação.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS

Conforme o significado de seu nome, mata clara, a caatinga era vista inicialmente como uma floresta espinhenta, no entanto, mediante a variedade de espécies e composições vegetacionais ao longo de todo o território da caatinga, nem sempre se apresentam como florestas, como também, não é sempre que são caracterizadas como espinhentas (BERNARDES, 1999). Explica o autor que em algumas áreas podem ser consideradas como caatinga arbórea, pois há a predominância de árvores, superando facilmente 8m de altura, como também, existem outros lugares em que ocorre a caatinga arbustiva com variação de alturas, sob o qual apresentam adaptações através de espinhos, acúleos, folhas e caules suculentos, características microfilas<sup>1</sup> e decíduas<sup>2</sup>, além de certas características xerofíticas<sup>3</sup>, como também o predomínio de herbáceas anuais<sup>4</sup> (ZAPPI, 2008; PRADO, 2003; BERNARDES, 1999).



---

<sup>1</sup> “Diz-se das plantas que têm folhas pequenas.” (DICIONÁRIOS MICHAELIS, 2008).

<sup>2</sup> “Que cai ou é desprendido no fim da estação ou período de crescimento; cadivo, caduco: Folhas decíduas.” (Ibid.).

<sup>3</sup> “Diz-se de vegetais adaptados morfológica e fisiologicamente à vida em lugares secos [...]” (Ibid.).

<sup>4</sup> “Diz-se das plantas de caule mole que não produzem madeira.” (PRIBERAM, 2012), neste caso, são plantas que completam seu ciclo vegetativo no período de um ano.



**Figura 51. Exemplos distintos que mostram a diversidade das caatingas.**

Fonte: <http://blogs.diariodonordeste.com.br/gestaoambiental/bioma-caatinga/ministra-do-meio-ambiente-izabella-teixeira-abre-semana-nacional-da-caatinga-em-fortaleza/> | <http://www.acaatinga.org.br/wp-content/uploads/2011/08/rnsa.jpg> | [http://www.ufpe.br/sercaatinga/images/stories/100\\_0033.jpg](http://www.ufpe.br/sercaatinga/images/stories/100_0033.jpg)

É grande a variedade de arbustos, portanto, ao encontrar a presença da jurema, é que se segue como um sinal de entrada da caatinga (BERNARDES, 1999). Segundo o autor, quando a paisagem acentua-se, é muito comum encontrar as cactáceas e bromélias (Figura 52), no entanto, há grandes extensões que são pouco frequentes, especialmente em áreas hipóxerófitas.



**Figura 52. Exemplo de cactáceas e bromélias encontradas nas caatingas da Paraíba.**

Fonte: <http://limpezanaalma.blogspot.com.br/2010/05/caatinga-da-paraiba.html>

Para Silva *et al.* (2003), Prado (2003) e Bernardes (1999), as plantas das caatingas não têm características uniformes, diante toda a extensão territorial do semiárido, no entanto, as características das espécies e dos fatores ambientes que as afetam, permitem uma distribuição sob um grau de sobreposição razoável em suas áreas de ocorrência. Assim, continua os autores que se pode caracterizar basicamente a vegetação como:

1. Encontra-se em áreas de clima quente e semiárido, cobrindo extensões mais ou menos contínuas, rodeado por áreas de clima mais úmido. Quanto à área seca, em sua maioria está associada à região Nordeste e norte do estado de Minas Gerais, área conhecida como polígono das secas;
2. Este bioma possui espécies com capacidade de adaptação ao déficit hídrico (caducifolia<sup>5</sup>, herbáceas anuais, suculência, acúleos e espinhos, predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, cobertura descontínua de copas);
3. Apresenta espécies endêmicas nas áreas semiáridas, assim como, outras espécies que habitam esta mesma área e outras áreas secas, com distâncias variadas, no entanto, não ocorrem em áreas mais úmidas compondo o limite com o semiárido.

As caatingas do semiárido têm suas relações com o clima um quadro de extremos, onde há a mais alta radiação solar, baixa nebulosidade, mais alta média temperatura anual, as mais baixas taxas de umidade relativa, evapotranspiração potencial mais elevada, e ainda, precipitações limitadas a determinadas em áreas em períodos curtos no ano, sendo baixas e irregulares (REIS, 1976 *apud* PRADO, 2003). Sua vida vegetal e animal são geradas e trabalhadas em decorrência das tragédias naturais, como secas e cheias (PRADO, 2003).

Nimer (1972 *apud* PRADO, 2003) salienta que toda a região caracterizada por caatinga, apresenta uma duração da seca instável, podendo ter de dois a três meses nos brejos úmidos<sup>6</sup>, de seis a nove meses em quase toda a região e de 10 a 11 meses no Raso da Catarina, na Bahia (Figura 53).

---

<sup>5</sup> “Que perde a folhagem em determinada altura do ano.” (PRIBERAM, 2012).

<sup>6</sup> Segundo Ab’Sáber (1999, p.17) brejos são “[...] ilhas de paisagens úmidas, quentes ou subquentes com solos de matas e sinais de antigas coberturas florestais [...]” contrapondo-se aos sertões. Assim, “Só ocorre em determinados sítios, como serras e encostas de maciços [...]”, ou seja, em áreas que tenha grande contato com água, seja de forma direta (fonte) ou indireta (umidade, acúmulo de água, bolsões aluviais, etc.).



**Figura 53. Raso da Catarina, Bahia, com vegetação típica das caatingas.**

Fonte: <http://comitecaatingape.blogspot.com.br/2010/08/conferencia-internacional-conservacao.html>

Existem vários estudos acerca das espécies endêmicas da caatinga, onde se citam os resultados de Prado (1991 *apud* PRADO, 2003), pois através deles se tem a lista mais ampla acerca das espécies das caatingas, obtendo-se uma relação de 45 famílias, 199 gêneros e 437 espécies, segundo Silva *et al.* (2003) nesta lista consta as espécies de angiospermas endêmicas, que em números se tem 12 gêneros e 183 espécies endêmicas, demonstrando a forte relação florística entre as espécies do bioma com outros tipos de vegetação ao longo da América do Sul, principalmente em áreas como o Chaco no Paraguai, Bolívia e noroeste da Argentina. Outro estudo citado é o de Harley (1996 *apud* Ibid.), onde analisa a flora das herbáceas do bioma, trazendo à tona sete gêneros endêmicos. Noutro estudo relacionado pelos autores quanto ao endemismo, Silva *et al.* em 2002, listaram 18 gêneros e 318 espécies endêmicas, fazendo parte de 42 famílias, sendo consideradas também plantas de áreas arenosas e rochosas. De acordo com Queiroz (2002 *apud* Ibid.) a maior família com espécies endêmicas e mais bem representada no bioma Caatinga é a *Leguminosae*. A família *Cactaceae*, é outro grande exemplo que apresenta um número relevante de espécies endêmicas (41), apresentado por Taylor & Zappi (2002 *apud* Ibid.). Segundo Zappi (2008), por meio da família das *Cactaceae*, pode-se indicar o bioma Caatinga através das espécies endêmicas devido a sua larga distribuição (Figura 54). Entre algumas espécies relacionadas, a autora ressalta o

*Cereus jamacaru* DC. (mandacaru), como uma delas. Bernardes (1999), também cita o mandacaru como uma espécie famosa das caatingas, entre as *Cactaceae*, além do xique-xique e o facheiro.



Figura 54. Exemplo de cactácea e Serra Branca – BA.

Fonte: BRASIL (2003).

No tocante à classificação da vegetação das caatingas, vários autores citam a que fora feita por Andrade-Lima em 1981, tomada como a mais completa, quando divide em seis diferentes unidades o domínio das caatingas, cada unidade com um ou vários tipos, formando 12 tipos, sob o qual está ligado a diversos parâmetros, tais como os aspectos fisionômicos e dados florísticos, importância de fatores como clima, precipitações e solo (ZAPPI, 2008; SILVA *et al.*, 2003; PRADO, 2003; BERNARDES, 1999).

A partir desta classificação Silva *et al.* (2003) cita que estas unidades foram mapeadas com base no Zoneamento Agroecológico do Nordeste por Silva *et al.* (1994), salientando que esta classificação foi respaldada em bases geomorfológicas, que no entanto, contém informações da vegetação. Esta vegetação foi dividida em caatinga hipóxerófila e hiperxerófila, tendo também vegetação do tipo grameal, caatinga com carnaúba e mescla de caatinga, cerrado e/ou florestas. Silva *et al.* (2003) ainda fazem uma relação das 20 Grandes Unidades de Paisagem, subdivididas em 172 unidades geoambientais, sendo suscetível o mapeamento do Nordeste, e identificou-se uma relação com as unidades estabelecidas por Andrade-Lima. Com isto, os autores obtiveram resultados, ao qual a vegetação das caatingas estava em 17 das 20 Grandes Unidades de Paisagem, com 105 das 172

unidades geoambientais, totalizando uma área de 935.000 km<sup>2</sup>, onde 297 mil km<sup>2</sup> com caatinga híperxerófila, 247 mil km<sup>2</sup> de caatinga hipóxerófila, 169 mil km<sup>2</sup> de caatinga misturada com florestas (subperenifólia<sup>7</sup>, subcaducifólia<sup>8</sup> e caducifólia), 110 mil km<sup>2</sup> de caatinga com floresta e cerrado, por fim, 22 mil km<sup>2</sup> de caatinga com campos de altitude.

De acordo com a Associação Caatinga (2012) existem um total de 2.240 espécies catalogadas atualmente, entre mamíferos, aves, peixes, répteis, lagartos, serpentes, quelônios, crocodilianos, anfisbenídeos (cobras-cegas), anfíbios, anuros (sapos, rãs e pererecas), gímnofionas (cecílias), abelhas, formigas, aranhas, besouros e vegetais, sendo estas últimas divididas em 932 espécies, com 340 endêmicas.

Nota-se desta forma, portanto, o quanto é rica, em endemismo e em variedades de espécies, as caatingas. Dando margem aos mais variados estudos, que carregam em si as possibilidades de soluções associadas aos fatores biológicos e as necessidades que essas espécies se submetem. É por isso mesmo, que se viu a possibilidade desta pesquisa. No entanto, conforme já dito, ela vislumbra somente uma espécie entre tantas: o *Cereus jamacaru* DC., mais conhecido como o mandacaru.

### 2.3. *CEREUS JAMACARU* DC.

Antes da abordagem sobre o *Cereus jamacaru* DC., mais conhecido popularmente por MANDACARU, faz-se imprescindível compreender a sua família – *Cactaceae* – e alguns aspectos que o denotem no ambiente em que se encontra.

De acordo com Areces (2004 *apud* ARRUDA *et al.*, 2005) existem aproximadamente na família *Cactaceae* 125 gêneros e 1.900 espécies. Encontram-se localizadas em variados habitats, que vão de regiões áridas a florestas úmidas, o que permitem ser encontradas em regiões tropicais e temperadas das Américas (HUNT & TAYLOR, 1990 *apud* ARRUDA *et al.*, 2005). Quanto à localização de ocorrência das

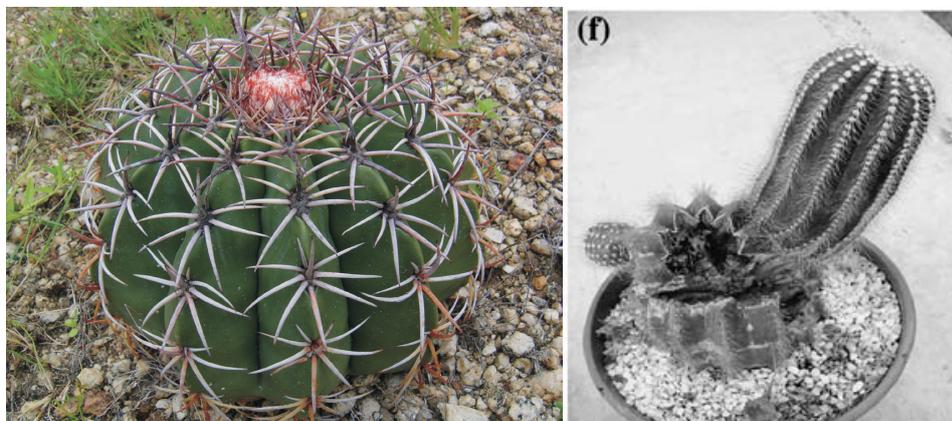
---

<sup>7</sup> “Vegetação constituída por árvores sempre verdes, possuem grande número de folhas largas, troncos relativamente delgados, densa e o solo apresenta-se recoberto por uma camada de húmus.” (MASCARENHAS *et al.*, 2005, p.4).

<sup>8</sup> “Floresta ou mata em que apenas algumas espécies perdem as folhas na estação seca.” (UFLA, *s.d.*)

espécies, Hunt (1999) também concorda, no entanto, segundo ele, a família *Cactaceae* possui cerca de 108 gêneros e 1.306 espécies. Trata-se de plantas xerofíticas, desprovidas de folhas, de caule e ramos que apresentam suculência, com espinhos e flores solitárias e belas (ROCHA & AGRA, 2002).

De maneira geral, a *Cactaceae* pode ser caracterizada por apresentar variadas formas, sendo organizado por um eixo em forma de globo e/ou alongado (*Melocactus* e *Notocactus* – Figura 55), alongado e com presença de gomos (*Cereus* e *Pilosocereus* – Figura 56), de forma achatada no eixo maior com segmentos (*Opuntia* e *Epiphyllum* – Figura 57), e por fim, exclusivamente de forma cilíndrica (*Rhipsalis* – Figura 58) (JOLY, 2002 *apud* CASTRO, 2008).



**Figura 55. *Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelburg (*Cactaceae*) e *Noctocactus magnificus*.**

Fonte: Fabricante et al.(2010) | Medeiros et al. (2006)



**Figura 56. *Cereus jamacaru* DC. e *Pilosocereus azulensis***

Fonte: <http://www.ecodebate.com.br/foto/mandacaru01.jpg> | Silva et al. (2011)



**Figura 57. *Opuntia monacantha* (Palma-forrageira) e *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw.**

Fonte: <https://sites.google.com/site/biodiversidadecatarinense/plantae/magnoliophyta/cactaceae/cactaceae> | <http://www.exoticrainforest.com/Epiphyllum-phyllanthus-with-.gif>



**Figura 58. *Rhípsalis baccifera* (J.S.Muell.) Stearn**

Fonte: Eduardo Luís Hettwer Giehl e FloraRS / [http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open\\_sp.php?img=3044](http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=3044)

De acordo com Cutler *et al.* (2011), as cactáceas têm características peculiares no que concerne à relação entre forma e função, assim, pode-se afirmar que o seu caule apresenta uma forma de coluna canelada de modo que o permita se contrair ou se expandir quando em estado de perda ou absorção de água, respectivamente, sem prejudicar suas estruturas celulares. Compreende-se então que os sulcos e as nervuras se distanciam ou se aproximam de acordo com a disponibilidade de água. Isto se dá pela presença do colênquima hîpodérmico. Continuam os autores ao afirmar que a forma ajuda no pouco tempo de incidência de luz direta diária, evitando o superaquecimento dos tecidos, auxiliado também

pelas nervuras ao maximizarem a luz refletida. Da mesma forma, os espinhos, que são folhas modificadas, ajudam em projetar sombra ao longo das nervuras. Estes espinhos e nervuras atuam como verdadeiros radiadores quanto à dissipação de calor. Além das suas propriedades de dissipação do calor, estas estruturas servem também para coleta de umidade, quando em noites frias há a condensação da umidade, promovendo a criação de gotas ou escorrimento até as raízes das plantas. Os espinhos, portanto, têm fundamental importância em evitar que os animais venham se alimentar do vegetal, provocando até certo ponto a sua morte, como também auxiliam em promover sombra, dissipar calor e obter umidade.

No Brasil, segundo Barroso *et al.* (1978 *apud* ARRUDA *et al.*, 2005), há o registro quanto à família *Cactaceae*, de 32 gêneros com 160 espécies. Disto, sabe-se que 80 espécies de 18 desses gêneros, estão na região Nordeste (BARBOSA *et al.*, 1996 *apud* ARRUDA *et al.*, 2005). De acordo com Zappi *et al.* (2006), nesta região são reconhecidos 88 espécies e 24 gêneros.

Existem cinco grupos definidos das espécies das *Cactaceae* que podem ser encontrados em todo o território brasileiro, classificados de acordo com o seu habitat, são eles: SILVÍCOLAS – espécies de florestas pluviais, tais como amazônica e atlântica, tendo predominância de espécies epífitas<sup>9</sup>; SAVANÍCOLAS – Espécies localizadas no Cerrado; CAMPESTRES – Plantas de campos rupestres de Minas Gerais; LITORÂNEAS – encontradas no litoral brasileiro; XERÓFILAS – características do bioma Caatinga contendo o maior número de espécies (RIZZINI, 1987 *apud* ARRUDA *et al.*, 2005). No entanto, segundo Arruda *et al.* (2005) são poucos os trabalhos anatômicos e morfológicos desenvolvidos sobre a família no Brasil, especialmente quando se trata da região Nordeste.

Dentro do contexto das caatingas, nos aspectos econômicos e sociais, sabe-se que a dominância ou subdominância de espécies de *Cactaceae*, com relevância dos gêneros *Cereus*, *Opuntia* e *Pilosocereus*, são utilizados na alimentação da fauna local (bovinos, caprinos e ovinos), assim como, apresentam valor ornamental e forrageiro, tornando-se de grande importância para a região, ainda mais no período de estiagem (ROCHA & AGRA, 2002).

---

<sup>9</sup> “Qualificativo do vegetal que nasce sobre outro, sem dele tirar a sua alimentação.” (MICHAELIS, 2012)

### 2.3.1. Características

*Cereus jamacaru* DC. popularmente conhecido no Brasil como mandacaru e pertence à tribo *Cereeae*, é um cacto de característica colunar, apresentando porte arbóreo com capacidade de alcançar até dez metros de altura. Possui tronco multi-ramificado, com artúculos fortemente costados e espinhos amarelos com média 20 cm de comprimento, possuem flores grandes, brancas e numerosas, que se abrem à noite nos meses de Janeiro a Agosto, visitadas por morcegos e mariposas, e seus frutos surgem nos meses de Fevereiro a Setembro (LIMA, 1996; ROCHA & AGRA, 2002; RITO *et al.*, 2009).



**Figura 59.** *Cereus jamacaru* DC.

Fonte: Rito *et al.* (2009) | Lima (1996)

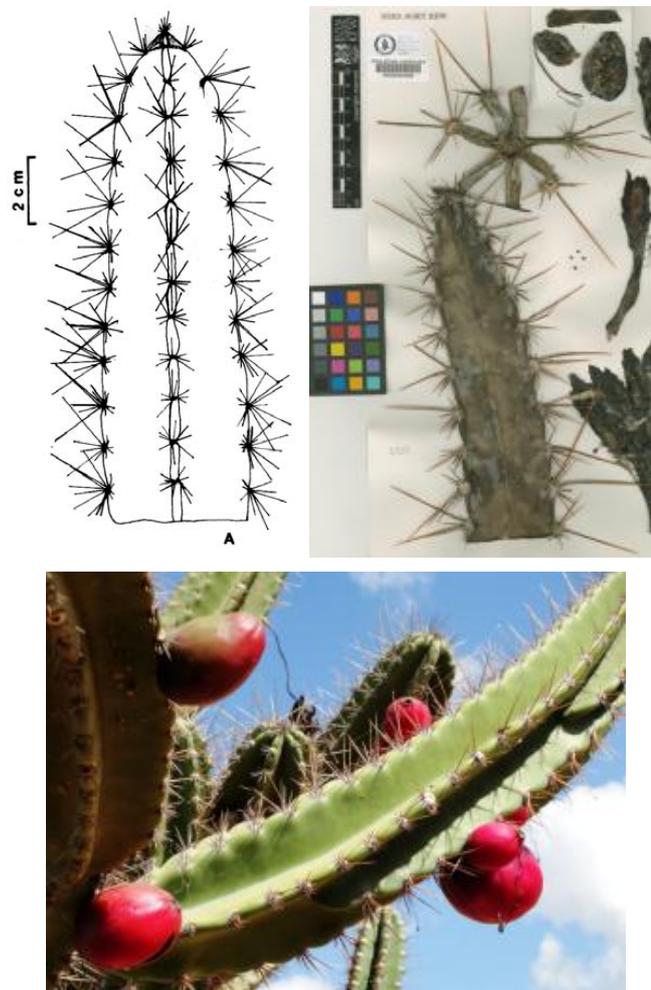
Trata-se de uma espécie brasileira distribuída amplamente no Nordeste do Brasil, sendo encontrada desde o Maranhão até a Bahia. Ocorrem em áreas rochosas, solos pedregosos e nos aceiros da mata, exposta ao sol (ROCHA & AGRA, 2002). De acordo com Zappi *et al.* (2012) pode-se dizer que ela se encontra por todo o Nordeste e parte do Sudeste, especificamente nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, conforme a Figura 60:



**Figura 60.** Distribuição geográfica de *Cereus jamacaru* DC..

Fonte: Zappi *et al.* (2012)

Os autores expõem algumas características pertinentes à anatomia do vegetal em estudo, onde apresenta características e medidas relativas de alguns exemplares pesquisados. Aqui serão citadas algumas delas: Altura em torno de 3 a 7 metros; cladódio<sup>10</sup> multiarticulado com ramificações em forma de candelabros; artículos espessos, com 4 a 7 costelas, anguloso-estrelados; aréolas armadas com distanciamento entre si de aproximadamente 2 a 4 cm com espinhos rígidos, aciculares (forma de agulha), de coloração cinza a dourada, com números e tamanhos diferentes, sendo 7 a 9 radiais entre 1 e 2 cm de comprimento e 8 a 10 centrais de 1 a 6 cm de comprimento.



**Figura 61. Desenho esquemático de um ramo do mandacaru e ascicata apresentando espinhos e forma estrelar do conjunto de seus artículos. Fotografia de ramo vivo com frutos.**

Fonte: Rocha & Agra (2002) | <http://www.kew.org/herbcating/270624.jpg> | <http://1.bp.blogspot.com/-ITvr1od-4WQ/UIDFhQ7yGWI/AAAAAAAAACQM/V0in-jH6gGg/s1600/cc3b3pia-de-cc3b3pia-de-dsc021991.jpg>

<sup>10</sup> Tipo de modificação caulinar juntamente com ramos que possuem a capacidade de armazenar água e exercem a função fotossintetizante, muito comum em xerófitas.

Para uma melhor compreensão de como se comporta a sua estrutura em hábitat natural, são expostas algumas fotografias (Figura 62):



**Figura 62. *Cereus jamacaru* DC. em hábitat natural. #**

Fonte: [http://2.bp.blogspot.com/-](http://2.bp.blogspot.com/-2nz8LTg2CXE/UISHmIgzrHI/AAAAAAAAAGIc/8vOkwPFyJMs/s1600/DSC00024.JPG)

[2nz8LTg2CXE/UISHmIgzrHI/AAAAAAAAAGIc/8vOkwPFyJMs/s1600/DSC00024.JPG](http://2.bp.blogspot.com/-2nz8LTg2CXE/UISHmIgzrHI/AAAAAAAAAGIc/8vOkwPFyJMs/s1600/DSC00024.JPG) |

[http://odianews.com.br/home/wp-content/uploads/2012/07/DSC\\_0196.jpg](http://odianews.com.br/home/wp-content/uploads/2012/07/DSC_0196.jpg) |

<http://cdn.ruralcentro.net/1/2012/10/18/mandacaru.jpg>

Entre tantos contextos, o *Cereus jamacaru* DC. é utilizado pelo homem de variadas maneiras conforme apontam os trabalhos de Lima (1996), Andrade (2002), Andrade *et al.* (2006) Silva *et al.* (2011) entre outros, sendo utilizado no uso da alimentação de animais em períodos de seca, alimentação de humanos com seus frutos deliciosos, serve como fonte de madeira (gera tábuas de até 30cm de largura), como ornamento em praças, jardins, ruas e avenidas, e até na medicina, quando associado à patologias do gênero renal e infecção urinária.

Cita-se ainda que além do uso focado na subsistência, há também o uso cultural, onde são encontrados em cartazes, placas, e em nomes de vários estabelecimentos comerciais do Nordeste através de ilustrações, fotografias, referências de toda ordem acerca do mandacaru, como também, em nomes de diversas vilas e cidades (SILVA *et al.*, 2011). Da mesma forma, e servindo de exemplo, há a marca do Campus do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco localizado na cidade de Caruaru do mesmo estado, onde apresenta o mandacaru como elemento representativo (Figura 63).



**Figura 63. Marca do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco em Caruaru, Pernambuco.**

Fonte: Adaptado de <http://www.ufpe.br/caa/>

Nota-se, portanto, a importância desta espécie na vida das populações residentes nas áreas que são abrangidas pelas caatingas, como um modo de sustentação da vida. E em contrapartida, conforme visto anteriormente, infelizmente não há os maiores olhares para os estudos e análises desta e todas as outras espécies que compõem o bioma, tomando-as como pontos de partida para melhor entendimento de soluções efetivas que são apresentadas por essas espécies com grande eficiência.

### 3. FISILOGIA VEGETAL

| Do grego *physis* = natureza, função ou funcionamento, e *logos* = estudo.

J á tinha o Homem contato com as plantas desde as primeiras fases de sua jornada evolutiva na crosta terrestre. Primeiramente realizavam a extração da Natureza por desconhecimento do manejo delas, até atingir o patamar de relativo domínio e poder cultivá-las. Diz-se relativo, pois ainda há a necessidade de uma compreensão maior, e ainda uma dependência, do mundo vegetal.

Segundo Prisco (2007), os homens primitivos tinham interesse pelas plantas não somente por prover madeira para os utensílios da caça e domésticos, mas principalmente em portarem a capacidade da alimentação, da toxicidade e das características medicinais. Portanto, continua o autor, as plantas são imprescindíveis e necessárias ao homem – desde os primitivos até os contemporâneos – de tal forma que fomenta o interesse e promove seu estudo, dada a sua importância.

Neeste contexto é onde a fisiologia vegetal se enquadra, por se tratar de um ramo de estudo dos vegetais, onde busca compreender “os processos e funções do vegetal, bem como as respostas das plantas às variações do meio ambiente (solo, clima e outras espécies vegetais e animais).” (PRISCO, 2007, p. 02). Portanto, trata-se de um estudo aprofundado acerca de tudo o que rodeia o meio vegetal, entretanto, neste presente estudo o foco estará em apenas algumas estruturas e suas respectivas funções, de acordo com o que se julgou ser, por ora, o mais importante para os resultados do trabalho.

Assim, a abordagem deste capítulo se direciona para algumas das estruturas que estão diretamente ligadas as funções primordiais da planta e sua sobrevivência, sendo elas: Estômatos, Parênquima e Xilema.

É sabido que o Floema age em consonância com o xilema, entretanto a mecânica de sua função é muito similar ao outro, o que poderia incorrer na

redundância dos resultados, por isto mesmo, foi decidido abordar somente o xilema como um representante entre o conjunto.

### 3.1. ESTÔMATOS

A palavra estômatos tem a sua origem do grego, onde *stoma* significa boca, e *atos*, imagem. De fato, sua estrutura se assemelha a imagem de uma boca, conforme será visto adiante. Sua atividade está associada à regulação e controle dos processos de fotossíntese e transpiração, sendo o responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o meio externo devido a sua localização na epiderme, seja em folhas, frutos (banana, feijão, pepino e ervilha), ou caule, a depender da espécie, no entanto, ressalta-se que normalmente nas raízes não se encontram (VIEIRA, 2010). Continua o autor a afirmar que não há a existência de estômatos no grande grupo das algas, dentro do reino vegetal.

Segundo Santos (2005) e Vieira *et al* (2010), os estômatos são um conjunto de pequenas estruturas que se localizam na epiderme caracterizados por: duas *células estomáticas*, conhecidas também como *células guardas*, normalmente se apresentam com forma reniforme (forma de rim) em exceção as de *Gramineae* que têm a forma de halteres com terminações bulbosas. São as delimitadoras da *fenda estomática* ou *ostíolo*; duas ou mais células vizinhas às células guardas, chamadas de *accessórias* ou *subsidiárias*, sob a responsabilidade de ajudar no processo de mecanismo de abertura da fenda estomática. As autoras ressaltam que é mais comum encontrá-las em gramíneas e são quase inexistentes em dicotiledôneas e monocotiledôneas não gramíneas; e por último, a *câmara subestomática*, que realiza conexão com os espaços intercelulares do organismo. Para melhor compreensão, segue a figura 64 exemplificando as características dos estômatos reniformes e halteres, conforme os autores.

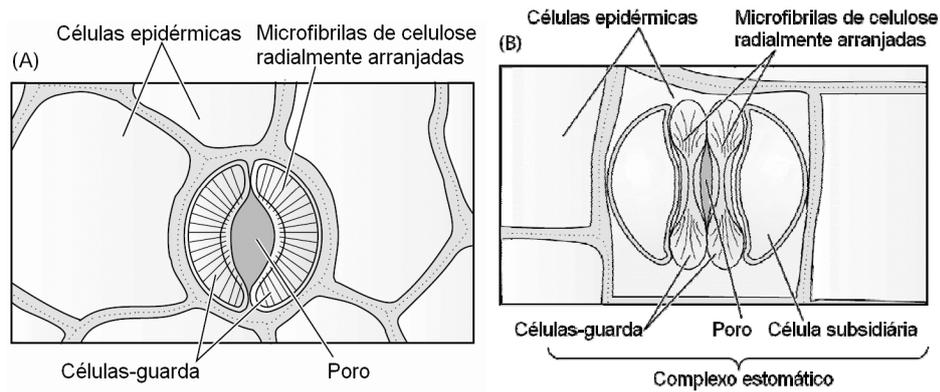


Figura 64. Ilustração de estômatos reniformes (A) e em forma de halteres (B).

Fonte: [http://www.ufpe.br/lev/images/downloads/fisiologia\\_estomatica.pdf](http://www.ufpe.br/lev/images/downloads/fisiologia_estomatica.pdf)

De acordo com a imagem é possível verificar que os estômatos reniformes apresentam características relevantes e importantes ao seu funcionamento, tais como a diferença entre suas paredes internas, pois há uma maior espessura da parede nas proximidades do ostíolo, assim como uma estrutura fibrosa e radial, pertinentes ao mecanismo de abertura e fechamento da fenda estomática, a sofrer variações de acordo com cada espécie. Ressalta-se também que são as únicas células da epiderme que apresenta cloroplastos (SANTOS, 2005; VIEIRA *et al*, 2010; APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Para Appezzato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006) os estômatos são caracterizados por duas células guardas que delimitam a fenda estomática, promovendo a interação entre o meio externo e interno da planta. Mas, cria-se uma relevância ao uso da palavra estômatos, pois deveria estar associado apenas à abertura estomática, mediante sua aceção de origem grega, no entanto, ela é empregada ao conjunto das duas células guardas e o ostíolo. Além disto, pode-se encontrar outro termo presente em pesquisas relacionadas, conhecido por *complexo estomático* ou *aparelho estomático*, onde designa o conjunto das células estomáticas com células adjacentes (subsidiárias). As autoras afirmam ainda que os estômatos se desenvolvem tanto entre as células da epiderme, quanto entre as subsidiárias que se diferenciam resultando numa classificação.

### 3.1.1. Classificação

A classificação dos estômatos se dá pela origem, número e forma das células adjacentes. No tocante ao número e forma se tem a classificação utilizada para as

Magnoliopsida (*Dicotyledoneae*) tida como (METCALFE & CHALKE, 1950 *apud* APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006):

- ANOMOCÍTICO (ranunculáceo): Estômato enredado em células com número variável e que não são diferentes das epidérmicas. Muito comum entre as famílias Ranunculaceae, Geraniaceae, Capparidaceae, Cucurbitaceae, Malvaceae, Scrophulariaceae, Tamariaceae, Papaveraceae e Balsaminaceae (Figura 65).

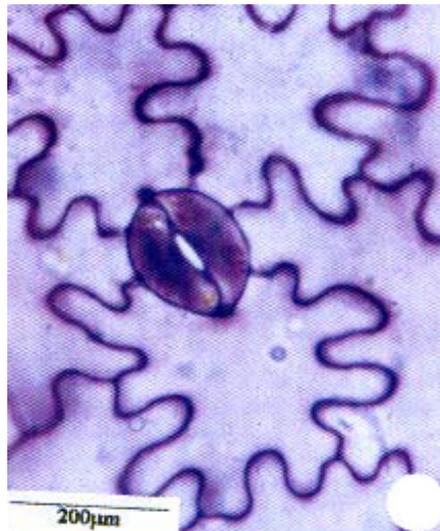


Figura 65. Estômato Anomocítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de *Impatiens* sp..  
Fonte: Adaptado de Apezzato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

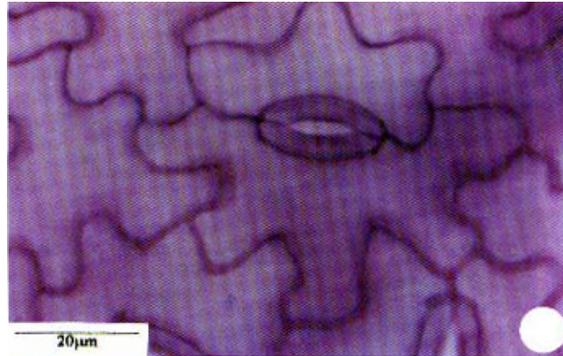
- ANISOCÍTICO (crucífero): Estômato envolvido por três células subsidiárias de tamanhos divergentes. Comum nas famílias Brassicaceae, Solanaceae e Begoniaceae (Figura 66).



Figura 66. Exemplo de estômato anisocítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de *Begônia* sp..

Fonte: Adaptado de Apezzato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

- **PARACÍTICO** (rubiáceo): Estômato acompanhado por uma ou mais células subsidiárias, em cada lado, distribuídas de uma maneira em que seu eixo longitudinal encontra-se em paralelo com a fenda estomática. Comum nas famílias *Rubiaceae*, *Magnoliaceae*, *Convolvulaceae* e *Mimosaceae*.



**Figura 67.** Estômato paracítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de *Glycine max*.  
Fonte: Adaptado de Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

- **DIACÍTICO** (cariofiláceo): Estômato acompanhado por duas células adjacentes dispostas de maneira a formar uma angulação de 90° do seu maior eixo com a fenda estomática. Verifica-se em *Acanthaceae*, *Amaranthaceae* e outras famílias.



**Figura 68.** Estômato diacítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de *Alternanthera philoxeroides*.

Fonte: Adaptado de Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

- **ACTINOCÍTICO**: As células subsidiárias envolvem o estômato radialmente. Pouco comum de se verificar.

Cita-se ainda que as monocotiledôneas com suas várias espécies, apresenta uma classificação denominada de **TETRACÍTICO** (Figura 69), onde os estômatos são

envolvidos por quatro células adjacentes, sendo duas paralelas às células guardas e duas polares de tamanhos diferentes (frequentemente menores). Pode ser encontrado também em algumas dicotiledôneas como *Tílias* e algumas da família *Asclepiadaceae*.

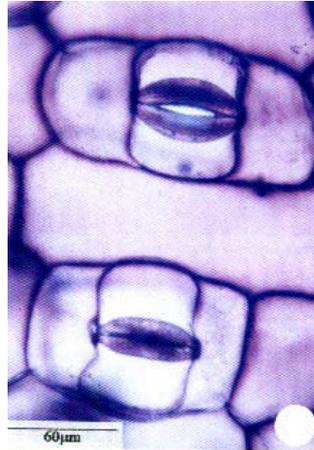


Figura 69. Tetracítico - Vista frontal da epiderme da face abaxial da folha de *Tradescantia* sp..

Fonte: Adaptado de Apezzato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

Considera-se também o tamanho dos estômatos, pois quando os mesmos são maiores que as dimensões normais, denominam-se ESTÔMATOS GIGANTES.

Segundo a publicação de Arruda *et al.* (2005) na Revista Brasileira de Botânica com o trabalho intitulado Anatomia dos órgãos vegetativos de *Cactaceae* da caatinga pernambucana, apresenta a existência de ESTÔMATOS PARALELOCÍTICOS e HEXACÍTICOS nas espécies analisadas. Estas classificações são provenientes de estudos, citados pelos autores, dos seguintes pesquisadores: Egli (1984), Gibson & Nobel (1986), Soffiatti & Angyalossy (2003) para estômatos paralelocíticos, e Fryns-Claessens & Van-Cotthem (1973) para estômatos hexacíticos.

### 3.1.2. Movimento estomático

Outro aspecto de fundamental importância é a maneira pela qual ocorre o mecanismo de abertura e fechamento do ostíolo. Este *movimento estomático* ocorre conforme afirma Nobre (1975) por necessidade de transpiração, pois ao abrir há a excreção e ao fechar o inverso. Ele depende das particularidades fisiológicas das células guardas e de fatores ambientais. E está associado também às variações de turgescência ( $\Psi_p$ ) sofridas pelas células guardas, pois estas variações resultam no

movimento de abertura ou fechamento do ostíolo em consequência das especificações das paredes das células estomáticas. Em outras palavras, pode-se atribuir este fenômeno pelo fato das células guardas estarem em estado de turgidez e apresentarem espessura desigual em suas paredes internas (mais espessa quando em proximidade da fenda estomática), associado a sua estrutura fibrosa e radial, permite que ocorra o distanciamento das paredes opostas através de dilatação, em direção às células subsidiárias, ocasionando a abertura do ostíolo (COSTA, 2004; APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006; NOBRE, 1975). Para realizar o fechamento, conforme os autores, basta a célula estomática perder água – sair do estado de turgidez – promovendo o fechamento da fenda estomática. Segundo Nobre (1975), pode-se denominar este processo como *mecanismo hidroativo*. Neste caso, Vieira (*et al*, 2010) e Santos (2005) fazem analogia do mecanismo com uma mangueira de paredes similares às células guardas (Figura 70).

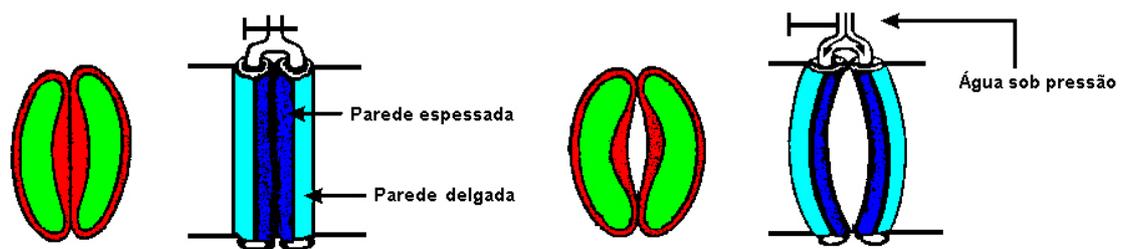


Figura 70. Analogia de abertura do estômato com mangueira.

Fonte: Adaptado de Santos (2005).

Além dos parâmetros estruturais dos estômatos, existe, como foi dito, uma relação do movimento estomático com o meio, portanto, afirma Costa (2004) que se compreendem como principais fatores responsáveis pelo movimento: a luz, o quantitativo de gás carbônico, a temperatura e o teor de água da planta. Não será abordado o fator que se refere ao gás carbônico, por se tratar de um assunto bastante específico, havendo a necessidade do conhecimento prévio de outras áreas da botânica, o que não se tornaria pertinente a este trabalho.

#### 3.1.1.1. Luz

Em plantas com bom suprimento de água nas condições ambientais normais, a luz representa o sinal ambiental controlador do movimento estomático em folhas. Identifica-se que o movimento dos estômatos, estimulados pela luz, se dá em velocidades, sendo mais rápido para a abertura, levando em torno de cinco

minutos (maioria das espécies) e mais lentamente para o seu fechamento, tomando aproximadamente trinta minutos. Para o efeito de abertura, não há a necessidade de uma grande intensidade de luz, pairando em torno de 1% a 2% da intensidade da luz solar padrão. Salienta-se que cada espécie responde de maneira própria à intensidade de luz recebida para a realização do movimento estomático (abertura). De acordo com Nobre (1975) pode-se chamar este processo por *mecanismo fotoativo*.

Em contrapartida, existe um grupo de plantas que reagem de forma adversa quando em contato direto com a luz. Este grupo apresenta o metabolismo ácido crussaláceo (MAC ou CAM), tornando-as conhecidas como plantas CAM. Fazem parte deste grupo as espécies suculentas: cactáceas, bromeliáceas, orquidáceas, entre outras. Assim, nelas o movimento estomático procede de maneira invertida, quando há luz (dia) estão fechados e quando não há (noite) estão abertos, permitindo que a perda de água seja mínima.

#### 3.1.1.2. Temperatura

Compreender a influência da temperatura nas plantas, exige uma aplicação de estudo artificial, pois assim como a temperatura, há a luz e o equilíbrio hídrico formando um conjunto em condições naturais, tornando impraticável o estudo isolado de cada fator. De acordo com o autor, verificou-se que algumas espécies em temperaturas baixas – em torno de 0° a 10° C – podem ter o fechamento dos estômatos, da mesma forma quando em temperaturas bastante elevadas.

#### 3.1.1.3. Teor de água da planta

O movimento estomático está associado pelo nível de água da planta através da turgescência das células guardas, conforme visto acima, entretanto, ressalta-se este item como um indicador primordial. O autor cita que nos horários mais quentes do dia, a transpiração das plantas é maior, então, quando a absorção de água não a acompanha, acaba acontecendo um fechamento estomático, repercutindo em déficit hídrico temporário. Isto irá depender somente se o solo irá ter água suficiente ou não para ser aproveitado pela planta.

### 3.2. PARÊNQUIMA

De acordo com Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006), a acepção da palavra parênquima tem origem na língua grega, onde *para* significa “ao lado de” e *echem*, “vazar”, “derramar”, que no todo se entende por “esparrramado ao lado de”.

Trata-se de um tecido simples e primitivo, em razão de desenvolver-se em plantas multicelulares inferiores, e constitui o sistema fundamental no corpo do vegetal. Sua origem se dá em diversas maneiras: por meio do meristema fundamental no ápice do caule ou da raiz (em corpo primário), ou então, suas células podem ser originadas pelo câmbio<sup>11</sup> ou procâmbio<sup>12</sup>, tecidos vasculares e felogênio, na casca (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Segundo as autoras, é considerado como precursor de outros tecidos, filogeneticamente, por apresentar através de fósseis, que as plantas terrestres primitivas eram parenquimáticas, daí se compreende a possibilidade de que obtivessem as mesmas características do parênquima de musgos e hepáticas atuais. O que implica que normalmente estão associadas à função da fotossíntese. Desta forma, o tecido parenquimático foi sofrendo modificações e constituindo os diferentes tipos de tecidos do corpo vegetal.

Devido a sua estrutura ser composta por células vivas e por apresentar atividade meristemática, o parênquima exibe a capacidade de divisão celular, dando margem a uma grande importância para mecanismos de cicatrização ou regeneração de lesões, aplicação de técnica de enxertia e outros mecanismos que criem lesões (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Sua estrutura apresenta variadas formas, ao qual é atribuído a este tecido o termo ISODIAMÉTRICO. Compreende-se que numa percepção de três dimensões poderia ser visto a sua forma multifacetada, entretanto, em ilustrações só se faz possível visualizá-la em duas dimensões. Existem células que se apresentam isoladas

---

<sup>11</sup> “Camada de tecido vegetal formativo, da espessura de uma célula, situada entre o xilema e o floema da maioria das plantas vasculares, e que é persistentemente capaz de originar novas células.” (DICIONÁRIO MICHAELIS, 2008).

<sup>12</sup> “A parte do meristema do qual se origina o câmbio e outros tecidos vasculares primários.” (Ibid.).

e contém variadas substâncias, tornando-se diferentes das demais quanto à forma ou conteúdo. A estas é dado o nome de células parenquimáticas IDIOBLÁSTICAS. São células que apresentam, entre outras substâncias, a mucilagem em sua composição, muito comum em cactáceas (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Quanto a sua localização nos vegetais, cita-se que está em quase todos os órgãos da planta: na medula e no córtex da raiz e do caule, no pecíolo e no mesófilo das folhas, nas flores e nos frutos (parte carnosa). Pode ser encontrado também nos tecidos vasculares através dos elementos de transporte. Assim, quando encontrado no xilema ou no floema representa grande importância pela movimentação no sistema vascular pelas partes vivas ou não-vivas da planta, de água e elementos orgânicos (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Segundo Apezatto-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006) devido aos diversos fatores que este tecido apresenta, é comum categorizá-lo em três diferentes tipos: preenchimento ou fundamental, clorofiliano ou clorênquima e reserva.

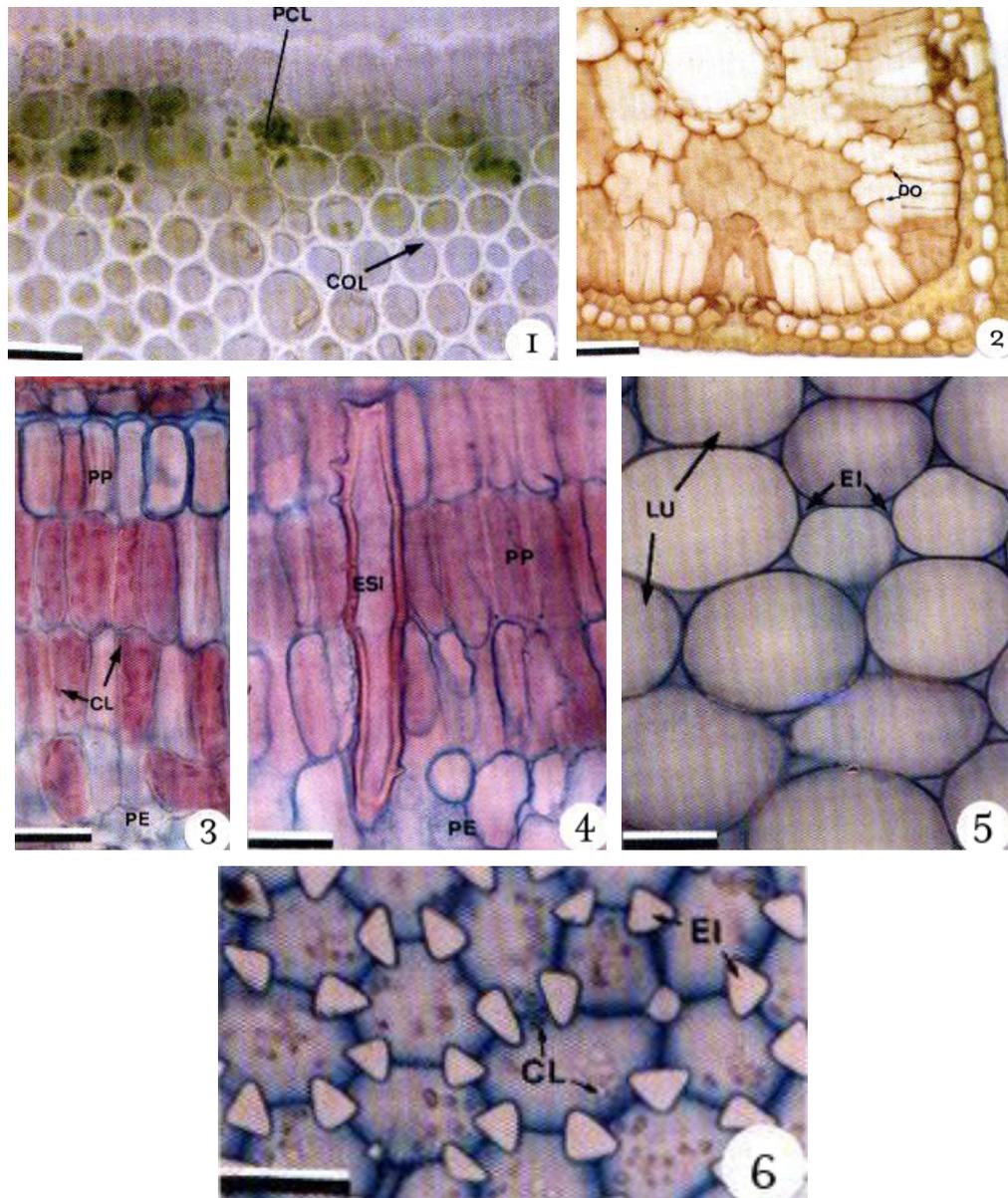
### 3.2.1. Parênquima de Preenchimento

Também conhecido como PARÊNQUIMA FUNDAMENTAL. Com células de formas poliédricas, cilíndricas ou esféricas, contém cloroplastos, amiloplastos, cristais e diversas substâncias secretadas, tais quais mucilagem e compostos fenólicos. Está presente no caule, na raiz, no pecíolo – sendo para estes a região cortical e medular – e nas nervuras mais aparentes das folhas (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

### 3.2.2. Parênquima Clorofiliano ou Clorênquima

Possui como característica principal a realização da fotossíntese (Figura 71.1). Capacidade esta que se dá em função da presença de cloroplastos. Apresenta formas variáveis a depender do órgão da espécie em que se encontra e do ecossistema que se insere o vegetal. É encontrado no mesófilo, em caules jovens ou outro órgão que realize fotossíntese. Divide-se em: Parênquima Plicado (Figura

71.2), Parênquima Paliçádico (Figura 71.3 e 4), Parênquima Esponjoso (Figura 71.3 e 4), Parênquima Regular (Figura 71.5) e Parênquima Braciforme (Figura 71.6).



**Figura 71.** 1 – Caule in vivo de *Bidens pilosa* (Asteraceae) com Parênquima Clorofiliano (PCL); 2 – Folha de *Pinus* sp. (Pinaceae) com Parênquima Plicado; 3 e 4 – Folha de *Camellia* (Theaceae) com Parênquima Paliçádico (PP), Parênquima Esponjoso (PE); 5 – Escapo floral de *Hemerocallis* sp. (Liliaceae), apresentando o Parênquima Regular; 6 – Exemplo de Parênquima Braciforme do diagrama dos pecíolos de *Echinodorus paniculatus* (Alismataceae).

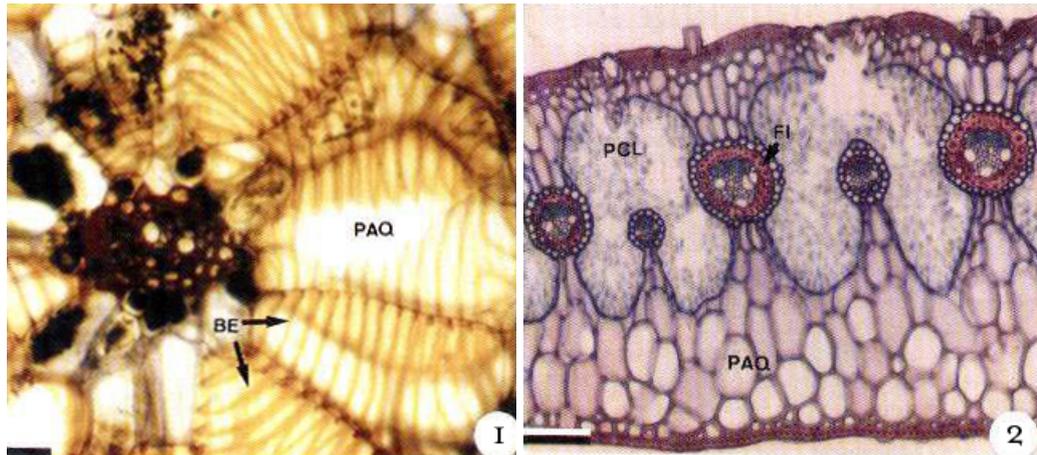
Fonte: Adaptado de Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006)

### 3.2.3. Parênquima de Reserva

Tem como função principal o acúmulo de substâncias do metabolismo primários dos vegetais. As reservas podem ser de soluções açucaradas, partículas sólidas ou líquidas. Distribuídos por entre os órgãos das plantas que são utilizados como alimento (raízes, rizomas, algumas folhas, frutos e sementes). Esta especificidade do parênquima pode ser utilizada por espécies com o intuito de suportarem o estresse de determinados ecossistemas, exercendo importante função naquelas que são adaptadas a ambientes xéricos e aquáticos, através do acúmulo de água e ar, respectivamente. Assim, este parênquima recebe uma classificação a partir do tipo de especialidade que exerce, são eles: PARÊNQUIMA AMILÍFERO – especializados em reservar grãos de amido, como uma estratégia para sobreviver em ambientes com definida sazonalidade. Pode ser encontrado em órgãos subterrâneos de mono e dicotiledôneas ou em caules de batata inglesa, por exemplo; PARÊNQUIMA AERÍFERO ou AERÊNQUIMA – com especialidade em armazenar ar entre suas células, em grandes espaços intercelulares ou lacunas, o que se faz bastante característico dele. É muito comum encontrá-lo em plantas aquáticas, no entanto, podem ser observados em outras plantas, sendo de uma maneira geral plantas de ambientes alagadiços; e, por fim, o PARÊNQUIMA AQUÍFERO (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Devido à importância deste último para a pesquisa, faz-se aqui uma abordagem mais específica.

#### 3.2.3.1. Parênquima Aquífero

O Parênquima Aquífero tem suas células especializadas em armazenar água. Estas células apresentam grande volume, com grande vacúolo e paredes delgadas, onde é muito comum não apresentarem cloroplastos. Suas paredes, mesmo finas, têm a função de sustentação das células, devido à presença de barras de espessamento de celulose, sejam elas lignificadas ou não. Essas barras permitem uma proteção às camadas celulares quanto a um eventual colapso em decorrência do estresse de seca.



**Figura 72.** 1 - Folha de *Pleurothalis rupestris* (Orchidaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ) cujas paredes celulares contêm barras de espessamento lignificadas (BE); 2 - Folha de *Syngonantus rufipes* (Eriocaulaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ).

Fonte: Adaptado de Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

Ricas em mucilagens, e por sua vez ser hidrófila, as células aquíferas têm larga capacidade em reter água. Dessa forma, encontra-se o parênquima aquífero nas *Cactaceae*, por meio de suas folhas e caules suculentos, como também, em plantas epífitas e xerófitas, nas folhas e raízes das mesmas.

### 3.3. XILEMA

Em grande parte dos vegetais a distribuição de água e solutos, o armazenamento de nutrientes e suporte mecânico se dá pelo xilema, tecido responsável por essa distribuição/transporte em distância de larga escala. Considerando uma planta com 1 m de altura, encontra-se no xilema mais de 99,5% da rota de transporte de água, e ainda, este número aumenta mais quando em árvores de altura maior (TAIZ & ZEIGER, 2004). Nas plantas vasculares, este tecido está presente ao longo de todos os órgãos (vegetativos e reprodutivos), resultando num autêntico sistema vascular (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Segundo Cutler *et al.* (2011) a evolução de plantas vasculares está estritamente associada à evolução dos sistemas de condução (xilema e floema).

Visando uma melhor compreensão e por uma melhor didática, Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006) citam que se cria uma divisão na classificação do xilema, sendo um considerado xilema primário ou sistema vascular

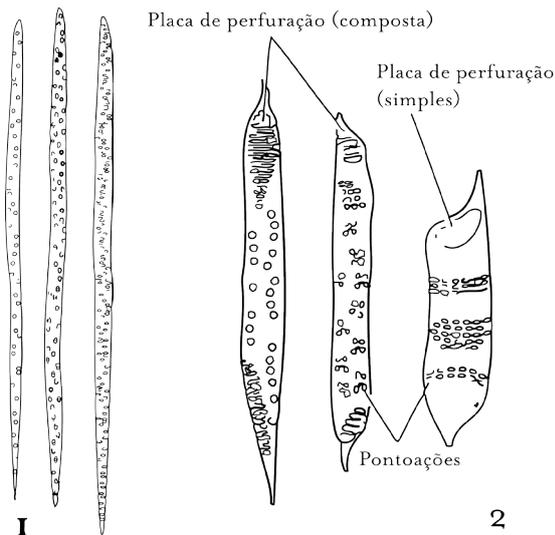
primário, devido a sua origem ser no procâmbio; e outro o xilema secundário ou sistema vascular secundário, derivado do câmbio.

Estes tecidos caracterizam-se pela complexidade e por possuírem sua configuração construída através de elementos condutores ou traqueais, células parenquimáticas e fibras, entre outros tipos celulares (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Tomando a rota complexa da raiz, o xilema se torna uma rota simples de baixa resistência (TAIZ & ZEIGER, 2004). No entanto, o xilema primário apresenta estas células apenas no sistema axial (vertical), por outro lado, os tipos celulares básicos do xilema secundário se encontram tanto no sistema axial quanto no sistema radial (horizontal), eis a diferença entre ambos (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006; CUTLER *et al.*, 2011).

Durante o desenvolvimento da planta o xilema primário é constituído por dois tipos: PROTOXILEMA e METAXILEMA. O protoxilema é composto por células condutoras que lignificam suas paredes secundárias precocemente, apresentando normalmente um diâmetro menor. Ocorre em partes primárias do corpo da planta, que não tenham atingido o alongamento e diferenciação, por este fato estas células podem sofrer estiramentos pelas células parenquimáticas que estão por se desenvolver ao redor. Desta maneira há a possibilidade de ficarem obliterados. Já o metaxilema compõe-se por células condutoras que se inicia seu desenvolvimento nas partes da planta em que ainda estão se alongando ou diferenciando, daí suas células lignificam as paredes secundárias tardiamente, ou seja, se tornam maduras ou diferenciadas após o término do alongamento, o que permite que as células tomem um tamanho maior antes de estarem maduras, em razão de não ser mais afetadas com o alongamento das células vizinhas. O metaxilema é considerado mais complexo que o protoxilema, onde tem a possibilidade de se encontrar nele fibras, além dos outros elementos que o compõe. Quando a planta é capaz de formar lenho (madeira) e o crescimento primário é completado, os elementos traqueias do metaxilema se tornam não-funcionais em decorrência da formação do xilema secundário. Já em espécies que não apresentam o estágio de formação de lenho (crescimento secundário), e mesmo quando os órgãos já alcançaram a maturidade, o metaxilema se mantém funcional. O crescimento da planta e a espessura de seu corpo tem a contribuição do xilema secundário, decorrente da formação de novas

células. Quando desenvolvido por completo, o xilema secundário constitui a madeira (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Os elementos condutores do xilema apresentam uma anatomia especializada, sob o qual as permitem com grande eficiência transportar quantidade elevada de água. O xilema apresenta dois *elementos traqueais* distintos e importantes: TRAQUEÍDES e ELEMENTOS DE VASO. Os TRAQUEÍDES são imperfurados, típico das gimnospermas, mas encontrados também em angiospermas (famílias primitivas), pteridófitas e outros grupos de plantas vasculares. Dispõe-se em fileiras no eixo vertical (longitudinal) com células fusiformes alongadas sobrepostas pelas extremidades não perfuradas. É através das *pontoações* encontradas em suas paredes laterais que a água flui por entre traqueídes. Pontoações são regiões microscópicas em que a parede primária é fina e porosa, não havendo a existência da parede secundária. Quanto aos traqueídes, as pontoações se encontram em posições opostas às pontoações de um traqueíde adjacente, resultando desta forma o que se intitula *paredes de pontoações*. Quando se trata dos ELEMENTOS DE VASO, cita-se que são encontrados em angiospermas (característico) e nas gimnospermas pelas ordens mais evoluídas, assim como, talvez se encontrem em algumas pteridófitas. Podem-se perceber estas estruturas na figura 73. Da mesma maneira que os traqueídes, os elementos de vaso apresentam pontoações e se encontram arranjados em fileiras longitudinais, com formas mais largas e mais curtas que aqueles, comunicando-se entre si através das placas de perfuração (paredes terminais) localizadas em suas extremidades, onde o conjunto destes elementos – empilhamento – forma um conduto maior, denominado de vaso (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2004).



**Figura 73. Ilustração representando Traqueídes (1), Pontoações e Elementos de Vaso do xilema (2).**  
 Fonte: Adaptado de Taiz & Zeiger (2004).

Há variações quanto ao comprimento dos vasos, mínimo de 10 cm a vários metros, assim como, varia também de acordo as espécies. Assim, os vasos são considerados como uma rota de baixa resistência com grande eficiência para o transporte de água devido à abertura de suas paredes terminais. Aos elementos de vaso que se encontram nas extremidades do vaso, se comunicam com vasos vizinhos por meio de pares de pontoações (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Quando em estágio de maturidade, ao curso de sua diferenciação, os traqueídes e os elementos de vaso, sofrem uma pseudo morte da célula, resultando na não existência de membranas e organelas. Assim, são formados tubos ocos com paredes celulares lignificadas e grossas (remanescentes) facilitando o fluxo da água e sais minerais com baixa resistência. Ocorre uma deposição da parede secundária sobre a parede primária, o que se permite dar em vários graus, resultando em padrões. Num processo de dissolução da parede lateral ou terminal de cada extremidade, há o surgimento das placas de perfuração, onde apresenta variações. Caso esta dissolução seja total surge a placa simples, se for parcial, origina as placas de perfuração foraminada, reticulada, escalariforme e miستا (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2004). Na Figura 74 se pode compreender melhor as placas de perfuração:

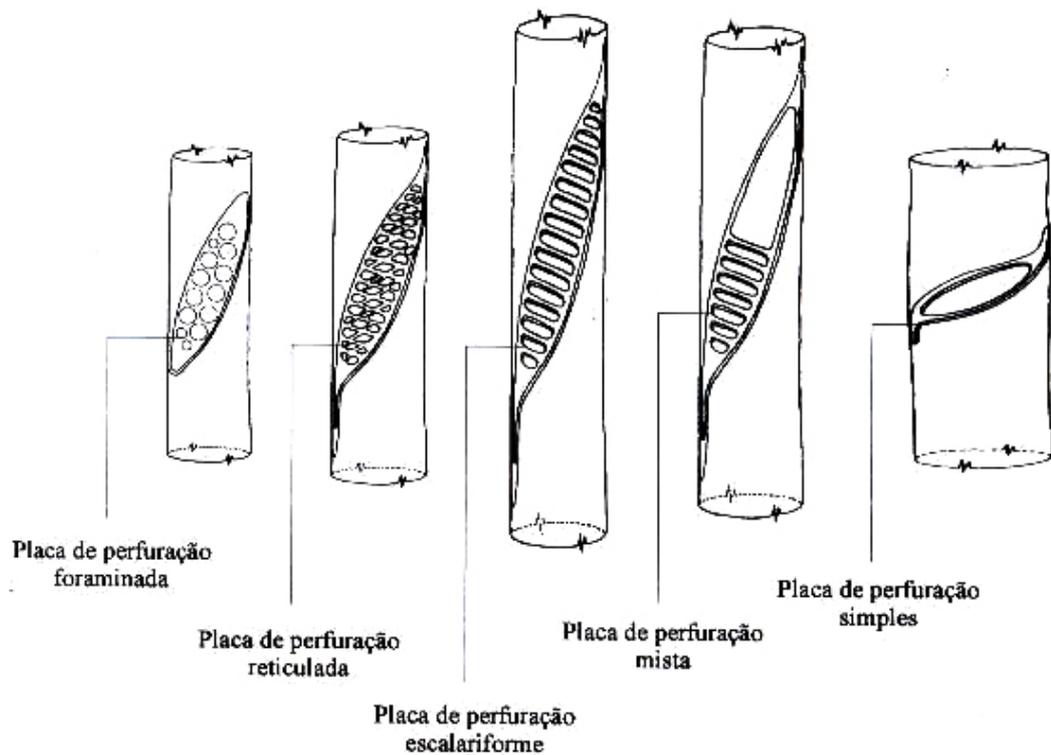
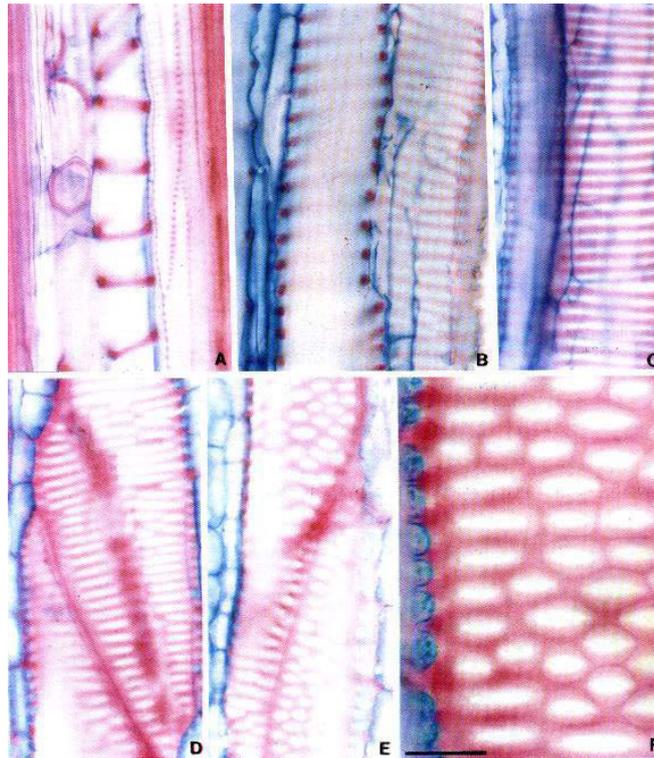


Figura 74. Representação das placas de perfuração dos elementos de vaso.

Fonte: Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006) citam que nos primeiros elementos traqueais que se formam no vegetal, a parede secundária se depõe em forma de anéis individuais, formando o padrão anelar; ou outro bastante similar ao primeiro, em forma helicoidal, formando o padrão helicoidal. Estes padrões tem a capacidade de extensibilidade pelo fato da deposição da parede secundária se situar em poucas regiões, tornando-se suscetível a colapsos. Assim, esses elementos podem alongar-se e se manter funcionais no corpo vegetal, suprindo água com eficiência. Quando ocorre uma deposição mais extensa da parede secundária e o crescimento já se pôs ao fim, surgem três outros padrões distintos: escalariforme – com regularidade nas regiões de deposição; pontoado – pois cobre maior parte da parede primária, excetuando-se as pontoações; e reticulado – com deposição de forma irregular (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).



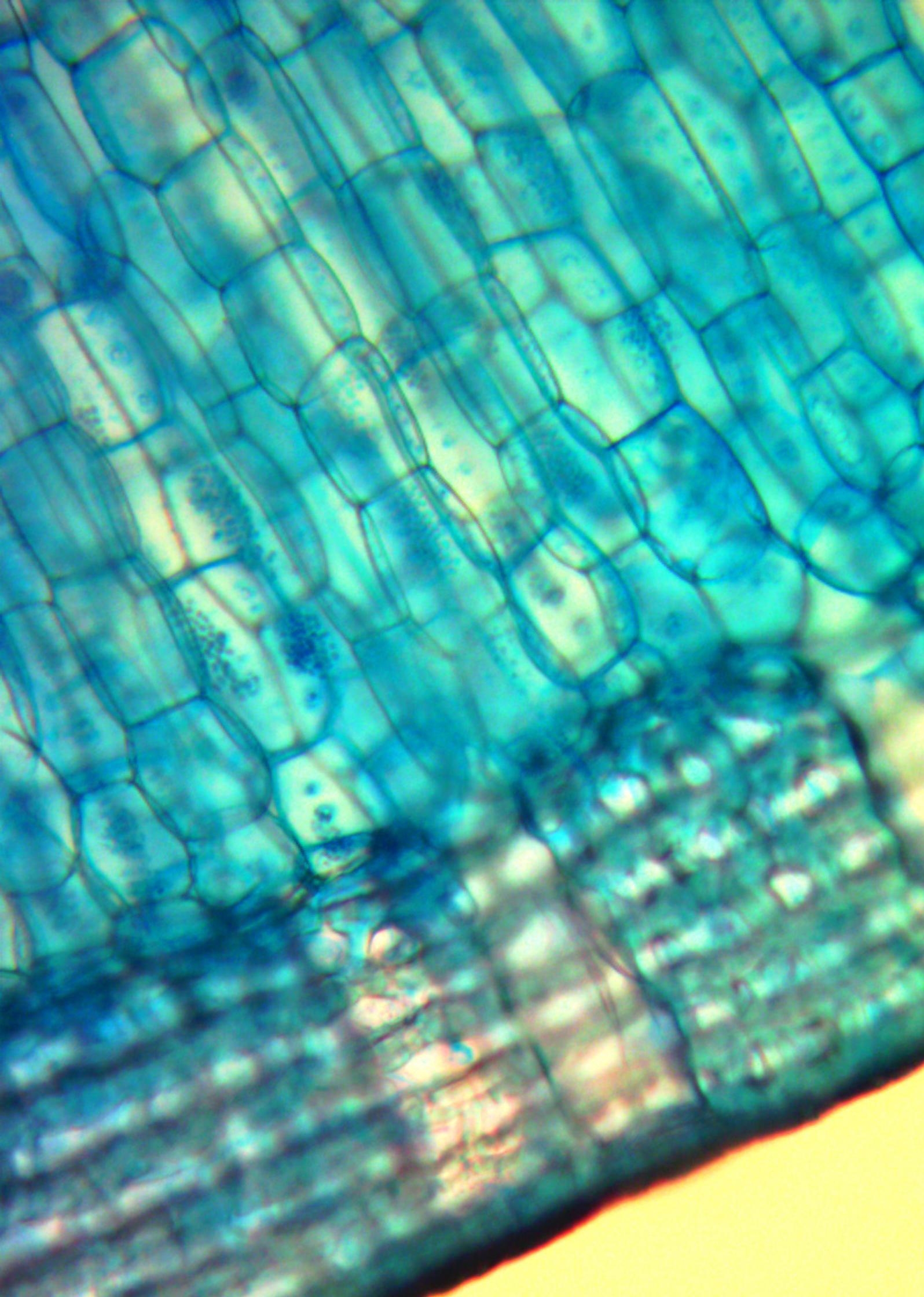
**Figura 75. Exemplo dos padrões de deposição da parede secundária nos elementos traqueais. A – Anelar; B – Helicoidal; C – Escalariforme; D – Reticulado; E e F – Pontuado.**

Fonte: Adaptado de Apezato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006).

As autoras citam ainda, como foi dito anteriormente, que os elementos de vaso estão associados à eficácia e garantia do transporte de água na planta, quando no xilema secundário há fatores que o afetam de forma direta pelas variantes da disponibilidade da água. Plantas de ambientes mesofíticos<sup>13</sup> e xerofíticos<sup>14</sup> apresentam os elementos de vasos maiores e em menores quantidades quando o suprimento se dá de forma adequada, no entanto, aos vegetais que se encontram sujeitos ao déficit hídrico, apresentam os elementos de vaso menores, mais agrupados e com um quantitativo bem maior.

<sup>13</sup> Ambiente que permite haver umidade suficiente para a planta sobreviver (MICHAELIS, 2012)

<sup>14</sup> Relativo a plantas xerófitas (Ibid.).



**PARTE 02**  
METODOLOGIA E RESULTADOS |

# 1. METODOLOGIA

O presente trabalho visa compreender características que são inerentes à Natureza e trazer à tona para o quadro da projeção de produto com foco em Design. Com o intuito em realizar de forma efetiva os objetivos estipulados, e de maneira segura, foram abordados parâmetros focados em métodos de abordagens e de procedimentos para melhor compreensão do estudo, assim como, uma abordagem metodológica com foco em Biônica proposta por Kindlein Jr. *et al.* (2002) em conjunto com técnicas criativas (*brainstorm* e *sketch*), obtendo desta forma, os resultados finais.

## 1.1. MÉTODOS DE ABORDAGEM

### 1.1.1. Método dedutivo:

Na busca do entendimento da dinâmica dos processos que envolvem as estruturas de *Cereus jamacaru DC.*, para uma abstração real-material, de modo que se desenvolva conceitos e parâmetros projetuais pautados na fisiologia da planta, optou-se pelo método dedutivo no que diz respeito à metodologia. Este método enquadra-se bem no desenvolvimento do projeto, pois como afirma Lakatos (2004) este modelo apresenta-se de uma maneira que na explicação lógica dos fatos (premissas), é gerada a conclusão com fundamento nestas últimas, ou seja, a conclusão é o resultado explicativo – derivado – das premissas. Em outras palavras, entende-se como um modelo que parte do geral e segue até um ponto específico.

## 1.2. MÉTODOS DE PROCEDIMENTOS:

No entanto, só com a escolha do método supracitado fica incompleto a possibilidade de um bom resultado na pesquisa. Então, normalmente, utiliza-se de

outros recursos dentro da metodologia, sendo estes os métodos de procedimentos. Tais métodos, segundo Lakatos (2004), são etapas mais sólidas da investigação, mais lógicas e diretas.

Para esta pesquisa foram escolhidos quatro tipos de métodos, que por sua vez, têm uma estrita relação com o trabalho proposto. Os métodos escolhidos foram (LAKATOS, 1981 *apud* LAKATOS, 2004):

- **MONOGRÁFICO:** Consiste no estudo aprofundado de algum tema com a finalidade de generalizar, tornando-se representativo de muitos ou todos os estudos relacionados.
- **FUNCIONALISTA:** O método funcionalista compreende o objeto de estudo, a sociedade, por exemplo, a partir da sua função no todo, um verdadeiro sistema organizado de atividades. Diz-se ainda que, as partes se tornam melhor entendidas identificando e assimilando as suas funções desempenhadas no todo. Neste caso, a pesquisa estaria relacionada no que concerne ao entendimento das funções que se encontram nas estruturas que foram selecionadas do *Cereus jamacaru DC.*.
- **ESTRUTURALISTA:** Entende-se como um método que através “de um fenômeno concreto, eleva-se (...) ao nível abstrato, por intermédio da constituição de um modelo que represente o objeto de estudo, retornando (...) ao concreto” (LAKATOS, 2004, p.95). Diâsto, se fundamenta todo o projeto desejado nesta pesquisa, já que propõe a partir de *Cereus jamacaru DC.* (fenômeno concreto), compreender suas estruturas e iniciar o processo criativo (abstrato) em que resulte em conceitos e parâmetros de design (concreto).

### 1.3. METODOLOGIA PROJETUAL

Ao que permite está de acordo com o foco da pesquisa e o seu gênero, compreende-se que existem duas metodologias projetuais que se complementam,

onde a primeira é idealizada por Kindlein Jr. et al. (2002) associado com processos de anatomia vegetal em microscopia eletrônica, o que permite abordar como foco em biônica o desenvolvimento de produtos. E segundo, onde o foco da pesquisa é a criação de conceitos baseados num sistema da natureza, utilizou-se de técnica de *brainstorm*, atrelada a *sketches*, para conceber os conceitos.

De acordo com a metodologia proposta por Kindlein Jr. et al. (2002), ela permite que o designer aplicando sua pesquisa na ciência da Biônica, possa auxiliá-lo na captação de informações fundamentais que sirvam para a realização e execução em futuros projetos de produtos, visando ter soluções eficientes. Para tal, sua metodologia se divide em sete etapas lineares, que são:

#### I. SELEÇÃO DA AMOSTRA

O tipo que será escolhido é proveniente da necessidade não atendida satisfatoriamente por produtos existentes, ou buscar características que sejam apreciadas em algum sistema natural, onde é feita uma analogia com sua estrutura, funções e formas, ao que permitam ser aplicados num projeto. Salienta-se que os atributos a ser analisados no organismo, devem estar em acordo ao que se pretenda projetar. Diísto se tem:

- a. **Identificação da Necessidade:** Compreendendo bem a necessidade, poderá elaborar o problema e estipular metas e ações que venham a solucioná-lo. Para isto, a Biônica serve como ferramenta no desenvolvimento de produtos. Ressalta-se que a busca pela solução do problema pode se dar em duas maneiras: a primeira é quando o problema já está elaborado, sabem-se quais são os elementos naturais mais adequados a ser analisado para solucioná-lo. A segunda é quando se desconhece do problema, mas com as observações em sistemas naturais, se obtém características relevantes e adaptáveis à solução dos mesmos. No entanto, é necessário que se estabeleça critérios para verificar a validade da analogia proposta.

Sendo assim, esta pesquisa está pautada na segunda forma de Identificação da Necessidade, pois ainda não se conhecia exatamente o problema a ser resolvido, por se tratar de um conceito, entretanto, criou-se como critério básico algum organismo natural que fosse nativo (ou endêmico) da região/bioma e que fosse característico dele a capacidade de sobrevivência mediante as adversidades contidas no meio (déficit hídrico, temperatura, etc.).

- b. Preparação do problema:** É a partir deste ponto que o designer busca as alternativas (amostras) possíveis que se enquadrem no processo do projeto de produto.
- c. Amostra:** Selecionar as amostras visando as características relevantes ao projeto.
- d. Fontes de Informações:** Está relacionado ao aprofundamento do conhecimento acerca das amostras selecionadas, visando entender seus aspectos e comportamentos. As informações são obtidas por meio de bibliografia especializada e consultas a profissionais da área de ciências biológicas.

Neste trabalho as alternativas pesquisadas que tinham ligação com o problema foram as espécies da família *Cactaceae*, muito comum nas caatingas. Quanto às amostras, dentro das alternativas (lista de espécies nativas) provenientes de bibliografia especializada intitulada Biodiversidade da Caatinga, elaborada pelo Ministério do Meio Ambiente em 2003, selecionou-se o *Cereus jamacaru DC.* por estar mais apto ao problema, assim como por suprir os critérios estabelecidos.

## 2. COLETA DAS AMOSTRAS

Divide-se em duas etapas:

- a. Saída de Campo:** Consiste basicamente na saída ao campo em prol da coleta das amostras. Ressalta que se deve ter conhecimento do habitat onde forem coletadas as amostras. Para a coleta, podem ser utilizados equipamentos como frascos de variados tamanhos com tampa e pinças para auxiliar no manuseio de amostras pequenas. Em caso de insetos utiliza-se álcool

diluído a 80% (1:8 de álcool e água, respectivamente) para conservá-los livres de sujeiras e fungos. Quando se trata de plantas, o ideal é armazená-las em folhas de papel num local livre de umidade. Deve-se ter muito cuidado para não danificar as amostras, para que não venha ao caso do insucesso da análise.

- b. Identificação da Amostra:** A partir da coleta faz-se a identificação da amostra, podendo ser auxiliado por profissionais especializados.

Nesta etapa, foram visitadas as áreas que margeiam o Centro Acadêmico do Agreste, em Caruaru, a fim de localizar a espécie escolhida. Foram identificados vários exemplares, onde se retiraram ramos novos, com aproximadamente 30 cm de comprimento da parte aérea de uma única espécie. Esta parte foi escolhida para a amostra pela facilidade do manuseio, para não agredir em proporções maiores o restante do corpo do vegetal, como também, por não precisar de tamanhos maiores. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em potes plásticos com um pouco de água, para posteriormente ser plantadas em vaso com substrato adequado.

### 3. OBSERVAÇÃO DA AMOSTRA:

Nesta etapa o designer busca compreender todas as características relevantes da amostra para o seu projeto. Salienta-se que o sistema natural a ser investigado passa ser considerado como um protótipo. O foco deve estar para:

- a. Componentes:** partículas, células, organismos, componentes físicos, etc.
- b. Estrutura e Morfologia:** Organização dos elementos que constituem a amostra, organização social (entre mesmas espécies ou não): relações estruturais e funcionais em espécies diferentes de plantas pertencentes ao mesmo ecossistema, ou de células e órgãos de plantas e animais.

- c. **Funções e Processos:** Trata-se dos aspectos fisiológicos do sistema, tomando ciência dos mecanismos reguladores a qualquer nível de organização.
- d. **Distribuição no tempo:** Fatores que repercutem no sistema natural e que estejam relacionados ao tempo.
- e. **Distribuição espacial:** Informações acerca de sua localização e características
- f. **Relação com o meio ambiente:** Trata-se da influência que o sistema atua sobre o seu meio e vice-versa.
- g. **Classificação:** Taxonomia, classificação de ecossistemas, etc.

Com intuito de coletar informações e elaborar um mapeamento de características relevantes da amostra, a observação se compõe da seguinte maneira:

- a. **Observação a olho nu:** Considerado como uma primeira fase, é onde se faz uma análise das características gerais e detalhes visíveis.
- b. **Fotografia Macro:** Uma opção a se utilizar para se obter imagens com detalhes bem definidos através da lente macro 105 mm.
- c. **Lupa Ótica:** Equipamento que possibilita a visualização de detalhes com aumentos, facilitando a identificação de características importantes. Utiliza-se uma câmera acoplada ao equipamento ou o recurso do desenho.

Como pôde ser visto, grande parte desta etapa foi executada através da pesquisa da fundamentação teórica, mais em específico no segundo capítulo, item 2.3., e no terceiro capítulo (integral), abordada na primeira parte deste trabalho. As observações em fotografia macro e lupa ótica, não puderam ser realizadas por falta de acesso ao equipamento adequado.

### 3.1. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA:

Define-se como um **seccionamento da amostra**, onde feita a identificação dos elementos que são importantes ao projeto, são elaboradas incisões com o auxílio de um bisturi, para que se obtenha máxima precisão, a fim de analisar ao

que convém. Deve-se ter cuidado caso a amostra seja pequena, para que não ocorra a sua perda. Indica-se a utilização de luvas para a manipulação e um ambiente bem iluminado para uma boa visualização. Para o auxílio das análises consideram-se os **desenhos e croquis** dos elementos seccionados.

No que concerne a esta etapa, serão abordados mais a frente os processos realizados para esta pesquisa, pois que foram necessários outros conhecimentos laboratoriais referentes às preparações das amostras e análises.

#### 4. ANÁLISE NO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA – MEV:

Trata-se de um processo laboratorial, onde são verificadas as amostras através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), permitindo ter informações microestruturais das amostras. As ampliações produzidas pelo MEV tem uma excelente profundidade de foco, permitindo a verificação de detalhes que não se permitem obter em Microscopia Ótica. Como parte do processo metodológico, deve-se compreender como elaborar os suportes das amostras (*stubs*), como também, realizar as análises dos resultados obtidos pelo MEV com apoio de desenhos e anotações considerando os aspectos de forma e função.

No presente trabalho as análises foram realizadas em microscopia óptica no Laboratório de Farmacognosia da Universidade Federal de Pernambuco, no Departamento de Farmácia, em Recife, Pernambuco.

#### 5. PARAMETRIZAÇÃO:

É a realização de parâmetros através de computador por meio da edição das imagens obtidas. Em outras palavras, criar uma simplificação da forma dos detalhes que estão em foco. Cria-se uma linguagem técnica como uma tradução das informações obtidas. A execução de esboços estruturais do principal elemento cria uma interação entre a ideia criativa e as informações.

#### 6. ANALOGIA DO SISTEMA NATURAL COM O PRODUTO

Nesta etapa do processo, o designer já tem informações suficientes e necessárias para dar início ao estudo das possibilidades de aplicação entre os aspectos do sistema natural com a ideia. No entanto, salienta-se a necessidade do

entendimento da função, da morfologia e estrutura do elemento natural estudado, como também, avaliar se sua aplicação é viável.

#### 6.1. ANÁLISE FUNCIONAL:

Trata-se do estudo fisiológico do elemento natural. Pode-se realizar os seguintes questionamentos: Qual a função? Para que serve? Como é o seu sistema funcional? Etc.

#### 6.2. ANÁLISE MORFOLÓGICA:

Compreender as relações da forma, buscar relacionar com a geometria.

#### 6.3. ANÁLISE ESTRUTURAL:

Compreender as partes que constituem o sistema natural e que o possibilitem suportar esforços, entender a arquitetura, crescimento natural e compreender as relações com intempéries da natureza.

#### 6.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE:

É a etapa de estudar a possibilidade da aplicação das informações e características identificadas num projeto em design, e avalia-lo com parcimônia.

### 7. APLICAÇÃO PROJETUAL:

Após a etapa de viabilidade, são estudadas as adaptações de ordem funcional, morfológica, estrutural, etc., no projeto que se propõe. Faz-se uma análise do funcionamento e, se necessário, um retroalimentação (sistema natural estudado).

Como foi dito na etapa 4 da metodologia, no presente trabalho não foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), e sim, de Microscopia Óptica. Para isto, obteve-se o auxílio do Laboratório de Farmacognosia, do Departamento de Ciências Farmacêuticas, na Universidade Federal de Pernambuco, em Recife, que têm como professores responsáveis a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karina Perrelli Randau e Prof. Dr. Luiz Alberto Soares. Esta pesquisa foi auxiliada

diretamente pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Karina Perrelli Randau e Prof. Msc. Alex Lucena de Vasconcelos, que também faz parte do laboratório.

Os resultados deste tipo de análise dependem da compreensão de processos de anatomia vegetal.

Assim, a preparação das amostras foi constituída por: secção do topo do ramo coletado, retirada das estruturas de espinhos e divisão da nervura central com as extremidades, feito à mão livre com o auxílio de uma faca comum, favorecendo a execução posterior dos cortes mais finos; foram executados de acordo com Sousa (2005) cortes transversais, longitudinais e paradérmicos, à mão livre com o auxílio de lâmina de barbear na região do nervo central e das extremidades do ramo coletado *Cereus jamacaru* DC. para se ter filamentos dos tecidos, de modo que possam ser visualizados com exatidão na aparelhagem (Figura 76).

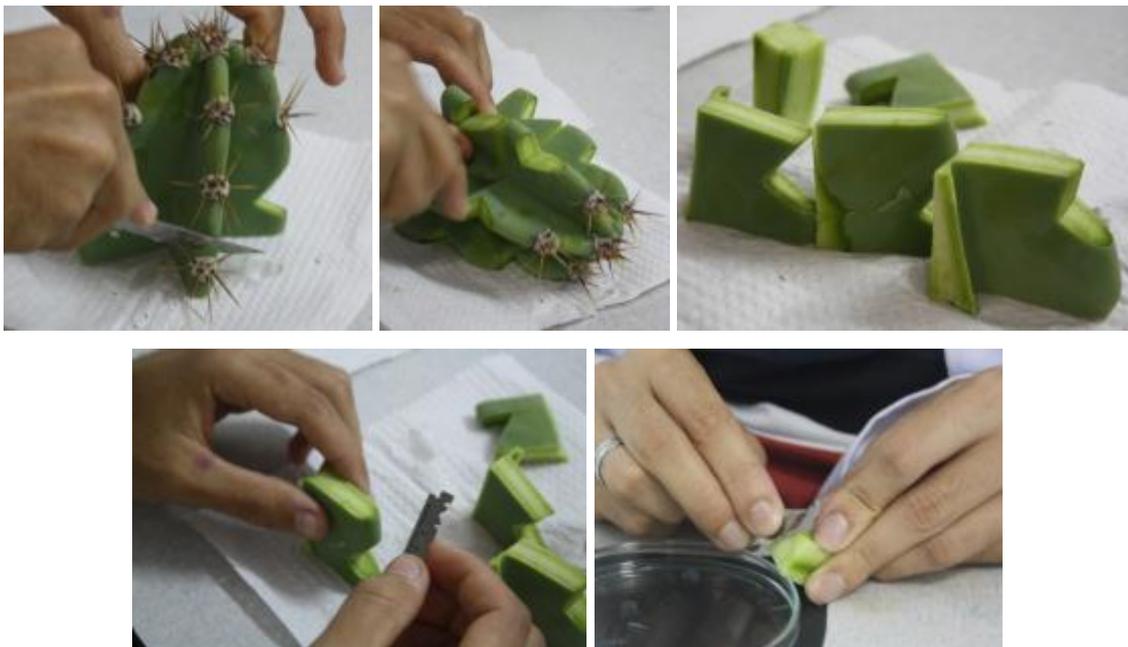


Figura 76. Processo de preparação de lâminas

Fonte: Autor

As análises foram descoloridas em hipoclorito de sódio 50% e coradas a partir do método proposto por Bukatsch (1972) *apud* Sousa *et al.* (2005), onde os cortes são tingidos por azul de astra e safranina em 1%. Em seguida as lâminas foram preparadas com glicerina 50% e vedadas nas extremidades da lamínula (peça de vidro fino que cobre a amostra na lâmina) com esmalte incolor. Todas as lâminas foram identificadas de acordo com o corte realizado (Figura 77).



Figura 77. Lâminas finalizadas

Fonte: Autor

## 2. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados aqui propostos são provenientes de uma série de análises de forma macro e microscópica de um ramo novo de *Cereus jamacaru DC.*, referentes à forma, funções e mecanismos, estruturas, entre outros parâmetros, que são encontrados em quatro partes distintas, sendo a estrutura externa no que se refere à parte em macro, e, os estômatos, o xilema e o parênquima quanto a parte interna. Entretanto, é possível visualizar no Anexo I deste trabalho, os outros resultados não abordados no corpo do texto, onde podem ser utilizados e classificados posteriormente para outra pesquisa tendo o mesmo foco.

Inicialmente é apresentada uma tabela que mostra alguns aspectos que estão ligados às estruturas estudadas da planta associados a sua morfologia, função, abstração para o Design e por fim, exemplos de como são possíveis essas abstrações. Num segundo momento, serão vistos alguns dos conceitos da tabela aplicados a projetos de produtos por meio de *sketches*, fornecendo uma melhor compreensão de como estes parâmetros podem auxiliar o designer.

Para a abordagem dos resultados inclusos neste capítulo, o leitor precisa compreender que se trata de um projeto conceitual, onde os materiais, as tecnologias, os custos financeiros, ou outro parâmetro de qualquer gênero que esteja atrelado ao processo de materialização do projeto, não são considerados como os atuais. São, na verdade, conceitos que permitem a ideia da possibilidade de aplicação, da capacidade que a tecnologia poderá demandar à humanidade quando alcançar suporte para tal feito.

### 2.1. PRINCÍPIOS E PARÂMETROS

Com as informações das análises foi possível abstraí-las para o direcionamento da projeção. Foram encontradas funções que deram margem a uma série de estipulações de possíveis aplicações mediante as necessidades que incorrem nas sociedades humanas. Buscando compreender melhor quais e como

estão fundados estes parâmetros atribuídos a conceitos de produtos, criou-se a Tabela I. Nela, é possível compreender como as estruturas estão associadas aos ramos da biônica e suas propriedades, pautadas respectivamente em Rosendahl (2011) e CD Biônica (2001) *apud* Nascimento Silva (2011), mediante as observações da sua morfologia e função. Dando respaldo à concepção de uma abstração de aplicabilidade na área de atividade do designer, e gerando alguns exemplos cabíveis.

Exemplificando o seu uso, pode-se citar a estrutura dos estômatos para compreender melhor. Ao selecionar a estrutura na tabela, neste caso os estômatos, o leitor irá passar pela sua morfologia, visando compreender seus aspectos básicos da forma, e atributos que o permitem realizar sua função, neste caso, sua forma reniforme e suas paredes espessas e delgadas arranjadas de maneira opostas, permitem seu mecanismo de abertura, por exemplo. Sendo assim, logo em seguida, será percebida a sua função no corpo do vegetal (regulação de transpiração e fotossíntese, termorregulação, etc.), o que irá dar margem, por sua vez, à classificação de acordo com os ramos e propriedades propostos pelos autores supracitados. Portanto, a tabela apresenta as duas classificações distintas.

Ao compreender seus aspectos morfológicos, suas funções no corpo do vegetal e suas características dentro da ciência Biônica, o leitor passa a perceber sua abstração ao uso em Design. De uma maneira generalizada, são abordados alguns aspectos pertinentes e imediatos à observação conforme sua aplicação.

Em resultado destes aspectos abstraídos, e por finalizar a compreensão da tabela, se têm nos exemplos algumas possibilidades enumeradas dentre tantas que podem vir a surgir, onde contribuem para a manutenção das sociedades no gênero projetual e qualidade de vida.

Sendo assim, observa-se os Parâmetros e Princípios na Tabela I:

## TABELA DE PRINCÍPIOS E PARÂMETROS

	MORFOLOGIA	FUNÇÃO	PROPRIEDADES (CD BIÔNICA, 2001 <i>apud</i> NASCIMENTO SILVA, 2011)	RAMOS DA BIÔNICA (ROSENDAHL, 2011)	ABSTRAÇÃO PARA O DESIGN	EXEMPLOS
Princípio macro						
MANDACARU (RAMO COLETADO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recorte no formato de estrela de 5 pontas (vista superior).</li> <li>Espinhos dispostos em cada aréola normalmente apresenta o número de Fibonacci, entre 8 a 13 espinhos por aréola.</li> <li>Estrutura colunar com a ponta do ramo em forma de abóboda.</li> <li>Entre 4 aréolas de espinho existe a razão áurea entre a 1ª e a 2ª aréola.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estrutura de sustentação.</li> <li>Adaptação à incidência solar direta – associada ao calor (resfriamento).</li> <li>Os espinhos auxiliam na captação de água proveniente da humidade do ambiente e protege contra a herbivoria.</li> <li>Abóboda: resistência a intempéries da natureza.</li> <li>Angulação próximo de 72° entre 2 nervuras, pode ser considerado uma canaleta para captação de água (hipótese).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estrutura</li> <li>Proteção</li> <li>Sustentação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biônica dos Materiais</li> <li>Biônica das Estruturas</li> <li>Biônica do Clima e da Ventilação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Base geométrica para concepção de produtos, estruturas, casas, edifícios, praças, etc.</li> <li>Base geométrica para necessidades projetuais de adaptabilidade de incidência solar e resfriamento.</li> <li>Suporte para projetos de produtos para captação de água.</li> <li>Princípios de harmonia estética derivados da razão áurea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Casa conceitual propícia a regiões semiáridas</li> <li>Prédios</li> <li>Cisternas</li> <li>Poste de iluminação pública</li> <li>Produtos adaptados ao meio externo com alta exposição solar</li> </ul>
Princípio micro						
ESTÔMATOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reniformes com paredes espessas próximo do ostíolo e delgadas ao lado oposto a este.</li> <li>Estrutura fibrosa e radial com aproximadamente oito células subsidiárias organizadas de forma radial (paralelocítico).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regulação e controle de fotossíntese e transpiração</li> <li>Responsável pelas trocas gasosas</li> <li>Atua na termorregulação</li> <li>Capacidade de abertura mediante a luz, temperatura e teor de água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recepção</li> <li>Proteção</li> <li>Alimentação</li> <li>Elasticidade</li> <li>Termorregulação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biônica das Estruturas</li> <li>Biônica do Clima e da Ventilação</li> <li>Biônica da Cinemática</li> <li>Biônica de Processamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Termorregulação em função da luz, temperatura e umidade.</li> <li>Mecanismo de abertura mecânica.</li> <li>Mecanismo de trocas gasosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indústria têxtil: Desenvolvimento de mecanismo de controle de umidade e ventilação para tecidos inteligentes.</li> <li>Mecanismo de abertura para garrafas, embalagens, etc.</li> <li>Sistemas de exaustão.</li> </ul>
PARÊNQUIMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paredes delgadas.</li> <li>Normalmente cilíndricas de base circular (percepção em duas dimensões).</li> <li>Disposição em grupo.</li> <li>Grande volume.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Armazenar água.</li> <li>Sustentação e proteção celular.</li> <li>Regeneração de lesões e cicatrização.</li> <li>Elasticidade devido a parede celular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustentação</li> <li>Alimentação</li> <li>Elasticidade</li> <li>Filtragem</li> <li>Regeneração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biônica dos Materiais</li> <li>Biônica das Estruturas</li> <li>Biônica de Processamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coleta e armazenamento de água.</li> <li>Sustentação e proteção de estruturas flexíveis.</li> <li>Aplicação na biomedicina, com foco na regeneração e cicatrização de tecidos vivos.</li> <li>Aplicação na estrutura de materiais para regeneração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vaso para plantas com mecanismo de armazenamento de água.</li> <li>Curativos que auxiliam na regeneração de tecidos.</li> <li>Produtos para restaurações de móveis, plásticos, vidros, etc.</li> <li>Barreira de retenção para absorção de água.</li> <li>Modelo de substrato para agricultura.</li> </ul>
XILEMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arranjados em fileiras longitudinais e sobrepostos.</li> <li>Formas cilíndricas vazadas com placas de perfuração simples nas suas extremidades.</li> <li>Estrutura interna da parede em forma helicoidal.</li> <li>Apresenta pontuações em sua parede.</li> <li>Paredes lignificadas e grossas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suporte mecânico.</li> <li>Extensibilidade.</li> <li>Distribuição e transporte de soluto e água com baixa resistência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustentação</li> <li>Alimentação</li> <li>Elasticidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biônica dos Materiais</li> <li>Biônica das Estruturas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suporte mecânico e estrutural.</li> <li>Suporte para transporte de fluidos com ou sem conexões.</li> <li>Acessórios flexíveis e extensíveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tubulações flexíveis e extensíveis para edificações.</li> <li>Extensões de fios elétricos.</li> <li>Mangueiras.</li> <li>Estrutura de transporte de túneis metroviários.</li> <li>Extensibilidade e flexibilidade de partes constituintes de um transporte público (analogia ao ônibus sanfonado).</li> </ul>

Tabela 1. Princípios e parâmetros coletados através da análise de *Cereus jamacaru DC.*  
Fonte: Autor

Pode-se perceber que quando citado a visualização de forma macro, se fez uma relação com a geometria, divergente do restante que foi analisado. Isto não significa que estes últimos também não possuem essas características, mas foram priorizados aqueles que apresentam com maior relevância as características associadas, naquele caso, a geometria. Percebe-se que esta estrutura pode contribuir com a ciência Biônica, conforme a tabela, nos ramos da Biônica dos materiais, das estruturas e do clima e da ventilação (ROSENDAHL, 2011) e que mediante as propriedades estão para: Estrutura, proteção e sustentação (CD BIÔNICA, 2001 *apud* NASCIMENTO SILVA, 2011). O que permite sua aplicação em diversos tipos de configuração de projetos de produto, pois que sua epiderme apresenta materiais e elementos característicos de eficiência e que asseguram sua segurança e vida, devido ao calor excessivo e herbivoria, entre outros fatores. Da mesma forma se dá a relação da sua morfologia e estrutura com as condições climáticas, onde o sol incide diretamente durante pouco tempo em pequenas áreas do seu corpo, permitindo-o a sua climatização interna e externa.

Os estômatos demonstram uma excelente capacidade para suas funções termorreguladoras e clima e ventilação, conforme abordam os autores citados acima. Há também a possibilidade de sua aplicação nos ramos das estruturas, quando sua configuração morfológica permite a aplicação em projetos de produtos, cinemática com o seu mecanismo de abertura (movimento), e por fim, processamento, por ser responsável pelas trocas gasosas entre o meio externo e interno, por apresentar estruturas com cloroplastos o que permitem a fotossíntese trazendo energia ao corpo vegetal, entre outros processos intrínsecos à estrutura analisada, que não foram abordados nesta pesquisa.

Quando se trata do parênquima, pode-se atribuir-lhes quanto aos ramos da Biônica: dos materiais, das estruturas e de processamento. Por ser considerado como tecido de preenchimento e fundamental, sua capacidade estrutural se torna evidente. Cabendo aí a propriedade de sustentação. Basicamente se encontra nas partes mais internas do corpo do vegetal, que retém água e nutrientes para a planta sobreviver, onde tem a capacidade, nesse caso, de: alimentação, elasticidade e filtragem. Assim, dá margem a elaboração de materiais propícios a projetos de produtos que tenham o foco na solução de problemas com estes valores, seja para

suprir algum mecanismo (alimentação), seja pela sua elasticidade pela diferença de estado de turgidez ou filtragem por manter os alimentos necessários em sua estrutura, exalando o que não precisa.

Ao xilema, observa-se principalmente o ramo da Biônica das estruturas e dos materiais. No que tange ao primeiro ramo, se tem que seus principais mecanismos e funções no corpo do vegetal estão ligados diretamente um ao outro. Dessa forma, dar-se a propriedade sustentação para esta estrutura. Da mesma forma, podem-se considerar os materiais que elaboram as paredes secundárias de seus elementos de vaso, suas estruturas helicoidais e placas de perfuração. Assim como, sua propriedade elástica ou flexível, quando ainda imaturos sofrem pelo parênquima vizinho conforme visto na teoria. Como também a propriedade da alimentação, pois são os responsáveis pelo transporte de solutos e água no decorrer da planta. Portanto, criam-se margens para projetos de produtos que obtenham estas capacidades de estruturas flexíveis, de passagem de fluidos, entre tantos outros que podem ser vislumbrados por esta estrutura.

É importante ressaltar que se atribui outras funções mais determinadas às estruturas quanto à parte fisiológica, no entanto, na presente pesquisa, tais funções foram baseadas no apanhado teórico coletado e relatado. É sabido que existem outras influências quanto às funções, como processos químicos, hormonais, etc., mas foram hierarquizadas as que se apresentam de forma mais mecânica.

Vale ressaltar que nela estão apenas alguns resultados, mediante a vastidão de possibilidades para aplicação em design, mas não significam ser de ordem absoluta, no que se permitem a modificações, exclusões e adições de novos conceitos.

## 2.2. CONCEITOS APLICADOS

### 2.2.1. Projeto residência

A partir da análise em nível macro de *Cereus jamacaru DC.*, compreende-se que o mandacaru apresenta, normalmente, ramos com nervuras em forma estrelar de

cinco pontas. O que permite implicar a geometria em sua composição morfológica. Nota-se que a estrela, conforme visto anteriormente, provém da relação entre o pentágono regular e o pentagrama, que carrega em si a razão áurea em seus lados. Assim mesmo se dá na parte interna da planta, pois quando executado um corte transversal, a própria estrutura apresenta a forma geométrica em sua composição, delineada por elementos condutores (Figura 78).

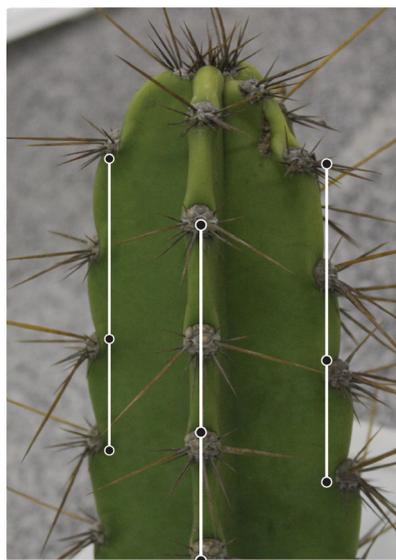


**Figura 78. Relação geométrica do pentágono regular com pentagrama presente no mandacaru**

Fonte: Autor

Para uma melhor visualização, notou-se que após um tempo de executado o corte, ela apresenta o pentagrama com mais exatidão.

Apresenta números encontrados na lei de Fibonacci no quantitativo dos espinhos, em média de 8 a 13, em cada aréola. Entre quatro aréolas seguidas no comprimento de uma mesma nervura, observou-se que a diferença da primeira para a segunda está em razão áurea (figura 79).



**Figura 79. Razão áurea entre o conjunto de quatro aréolas**

Fonte: Autor

Desta forma, pode-se atribuir que o mandacaru apresenta em sua estrutura formal, mesmo com a agressividade dos espinhos, uma harmonia estética, pois que este é um dos princípios da razão áurea. Infere-se, além disto, que a configuração estrutural proveniente das relações geométricas, o permite ter: uma estrutura resistente, no parâmetro de altura, favorecendo-o a combater as intempéries naturais e o aquecimento provocado pela incidência solar direta, dando margem a uma propriedade da Biônica, a termorregulação; a captação de água, também favorecida pelos espinhos e angulação de aproximadamente  $72^\circ$  entre nervuras, formando verdadeiras calhas quando em tempo de chuva; bem como, sua ponta em forma de abóboda, considerada como uma das estruturas mais resistentes, dando mais solidez ao conjunto em concordância com o pentagrama. Daí poderia ser associado a, por exemplo, projetos de edificações urbanas, residenciais, monumentais, etc. Como também, a produtos dos mais variados gêneros que precisassem suprir alguns desses requisitos citados.

Portanto, considerou-se a possibilidade de uma aplicação destes princípios para um melhor entendimento. Para isto, foi elaborada uma casa conceitual, apropriada a regiões semiáridas, que sofrem com o grande aquecimento solar e déficit hídrico (Figura 80).

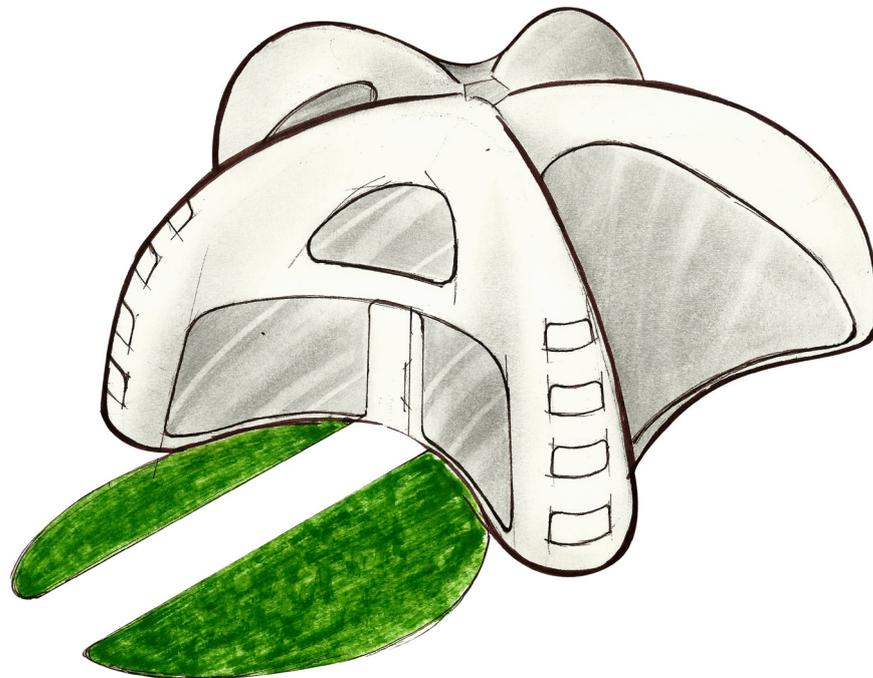


Figura 80. Sketch do conceito da casa baseada no *Cereus jamacaru DC.*

Fonte: Autor

O conceito do projeto da casa sustenta a concepção da estrutura proveniente da relação geométrica entre o pentágono regular e o pentagrama, associado à abóboda. Esta relação estrutural permite que a casa não aqueça como uma casa comum (bases quadriláteras), por manter várias paredes sombreadas e poucas paredes que sofram incidência solar durante longo tempo, devido ao desenho baseado no mandacaru. Entretanto, isto não se torna um empecilho para que a alimentação energética da casa seja por via de energia solar, pois o ápice de sua estrutura, assim como as paredes que recebem incidência direta, propiciam a isto, haja vista o ambiente em que se encontra e que mantém durante quase todo o ano forte incidência. A sua forma permite, também, uma maior passagem da circulação do ar proveniente de suas curvas sinuosas e angulações. Estas curvas também auxiliam na captação da água da chuva, convertendo-se em calhas que direcionam toda a água para reservatórios localizados no nível abaixo do solo.

Os reservatórios são uma continuação das curvas da base, formando um volume circular, que estando associado aos lados curvos da casa, formam um total de cinco reservatórios, o que permitiria obter água suficiente. Há outra forma de captação de água, baseada na função mecânica dos espinhos, onde na casa haverá “janelas” localizadas no perímetro longitudinal das nervuras da casa, que são acionadas por uma tecnologia inteligente, que consegue captar as informações que o meio externo envia, quando está prestes a ocorrer uma precipitação. Caso o usuário necessite realizar alguma atividade manualmente nestas “janelas”, como limpeza, verificação do equipamento, etc., pode se utilizar de um mecanismo de abertura manual, facilitando assim o seu manuseio individual (Figura 81).

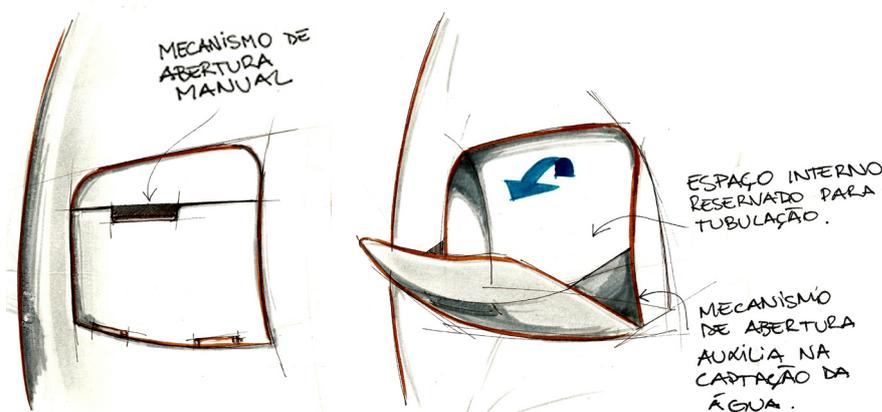


Figura 81. Mecanismo inteligente de captação de água da chuva

Fonte: Autor

Quando abertas, na parte a que chamamos de “janela” será possível visualizar uma calha, como também poderá ser percebida a presença de duas tubulações, uma aberta e uma fechada (Figura 82).

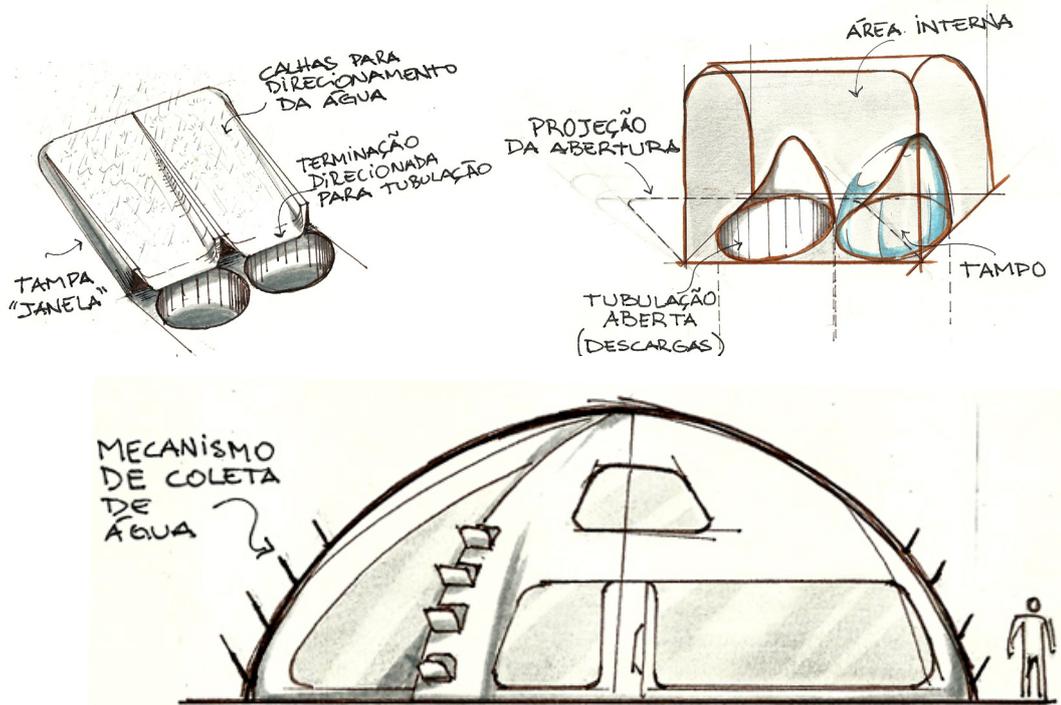


Figura 82. Detalhe da calha e da parte interna da "janela". Vista da casa completa com os mecanismos acionados.

Fonte: Autor

A tubulação aberta servirá para alimentação direta de descargas sanitárias, caso ocorra uma alimentação total, será acionado o fechamento desta tubulação e a abertura da segunda, o que irá direcionar a água coletada para os reservatórios.

Salienta-se que a captação da água da chuva, não é o único veículo que suprirá a demanda necessária do uso familiar na casa. Entende-se como um meio que auxiliará na obtenção de água.

Por se tratar de um produto conceitual, o material, conforme dito ao início do capítulo, que serviria como uma espécie de filtro para que a água da chuva ultrapassasse o solo e chegassem a alimentar os reservatórios, precisaria ser pensado e elaborado, o que não convém a este trabalho no momento.

### 2.2.2. Fio Estomático

Considerando as análises realizadas e identificando o tipo de estômato encontrado no *Cereus jamacaru DC.*, foi capaz de verificar sua forma (reniforme) e compreender de acordo com o embasamento teórico o seu mecanismo de abertura. Notou-se que no cladódio em secção frontal, os estômatos presentes no mandacaru são paralelocíticos, conforme Metcalfe & Chalk (1950), devido ao elevado número de células subsidiárias (CS) em torno das células-guarda (CG), com paredes celulares pouco sinuosas, como indica a Figura 83.

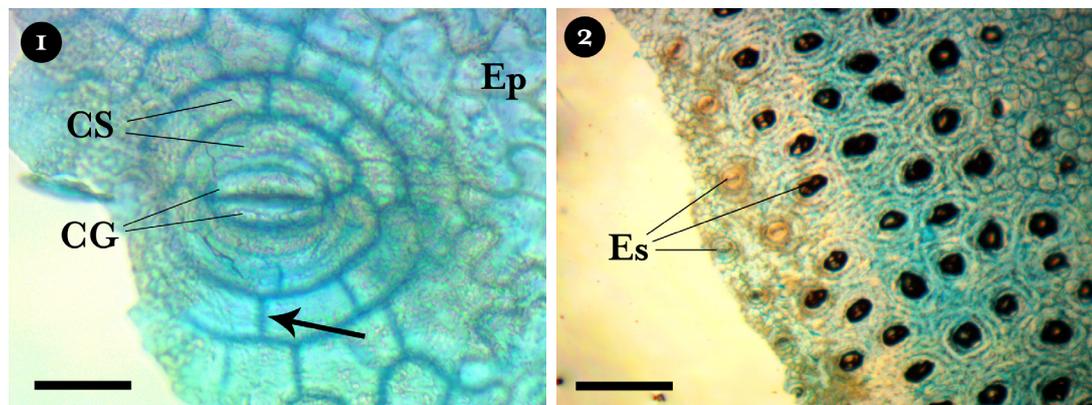


Figura 83. 1. Estômato paralelocítico – vista frontal de *Cereus jamacaru DC.* 2. Disposição dos estômatos numa área da epiderme. CG – Células-guarda; CS - Células subsidiárias; Ep – Epiderme; Es - Estômatos; Seta preta – Parede celular reta; Barra = 20  $\mu\text{m}$  (1); 200  $\mu\text{m}$  (2).

Fonte: Autor

Dião, elaborou-se outro conceito, sendo este focado na indústria têxtil. Consta de um fio têxtil inteligente que apresenta características singulares para proceder conforme a função da estrutura estudada.

Sabendo que os estômatos apresentam em sua morfologia paredes mais espessas ao longo da fenda estomática, e menos espessa do lado oposto, como também, exhibe microfibrilas em sentido radial, o que favorece a abertura do ostíolo por um estado de turgidez, análogo ao exemplo da mangueira com paredes diferenciadas (Cap. 3, item 3.2.1.). Portanto, seu movimento mecânico, baseado nas espessuras das paredes foi associado ao projeto do Fio Estomático.

Como esta abertura dos estômatos está dentre de suas funções para a transpiração do corpo vegetal, o Fio Estomático também estará direcionado para este tipo funcionalidade, quando produzida uma camisa proveniente do tecido com o mesmo.

Isto ocorre pela configuração do fio apresentar em duas extremidades opostas (considerando um fio cilíndrico) estarem composta por um material elástico e mais espesso que as extremidades adjacentes (Figura 84). Desta forma, quando uma pessoa estiver utilizando a camisa, e por acaso, entrar num processo de transpiração, o fio irá absorver o suor, entrará em estado de turgidez e forçará as paredes mais delgadas do fio a dilatarem-se, de modo tal que irão forçar o achatamento das paredes espessas. Em outras palavras, é como se tivesse em mãos um cilindro de um material elástico qualquer, em que se puxassem duas extremidades opostas, provocando o achatamento do mesmo nas extremidades livres.

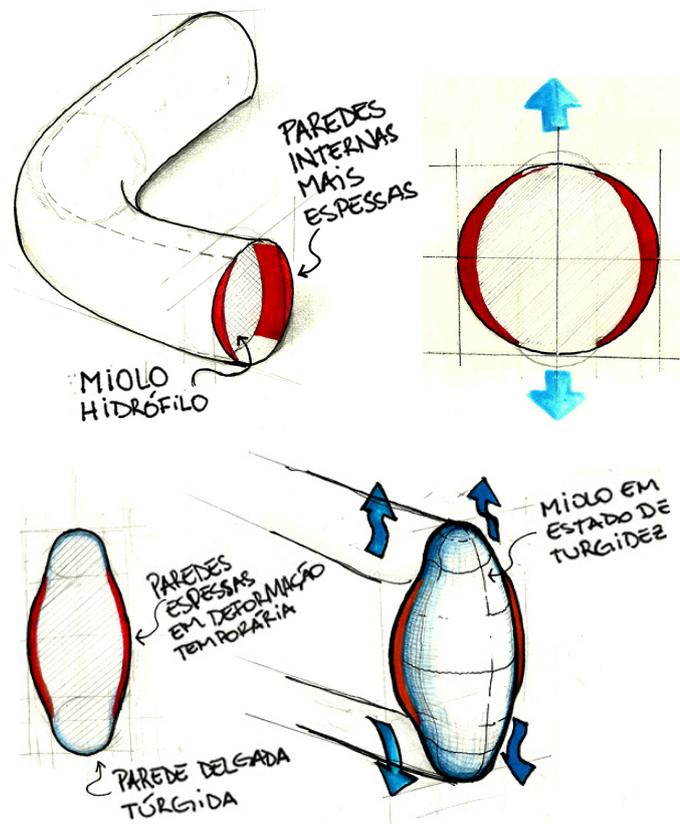


Figura 84.  $\hat{v}p^A s p$  em ampliação da estrutura do Fio Estomático em estado original (seco) e a representação dele quando em ação (turgidez).

Fonte: Autor

Para ocorrer o processo a que se almeja, os fios devem constituir o tecido, considerando os lados mais grossos do fio, deixando-os sempre em paralelo com o próximo fio da trama do tecido, seja acima ou abaixo, na esquerda ou direita (Figura 85). Na ilustração abaixo, figura-se a trama estruturada apropriadamente,

em concordância com a espessura das paredes, entretanto, a malha pode ter a coloração que convier ao produtor.

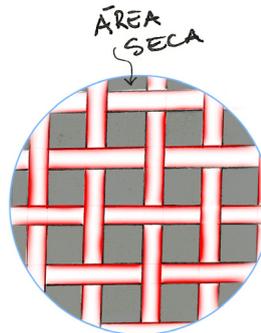


Figura 85. Representação em visualização ampliada da trama com o Fio Estomático seco.

Fonte: Autor

Com isto, de uma maneira mais ampla, na área em que tiver suor o conjunto estará propício a criar aberturas de tamanhos mínimos, invisíveis a olho nu, mas em grandes quantidades, criando uma relação com os estômatos na epiderme do vegetal, em que poderá trocar calor com o meio externo, provocando o resfriamento do corpo do usuário e a secura do tecido, ocasionando o retorno ao estado primário do tecido (Figura 86).

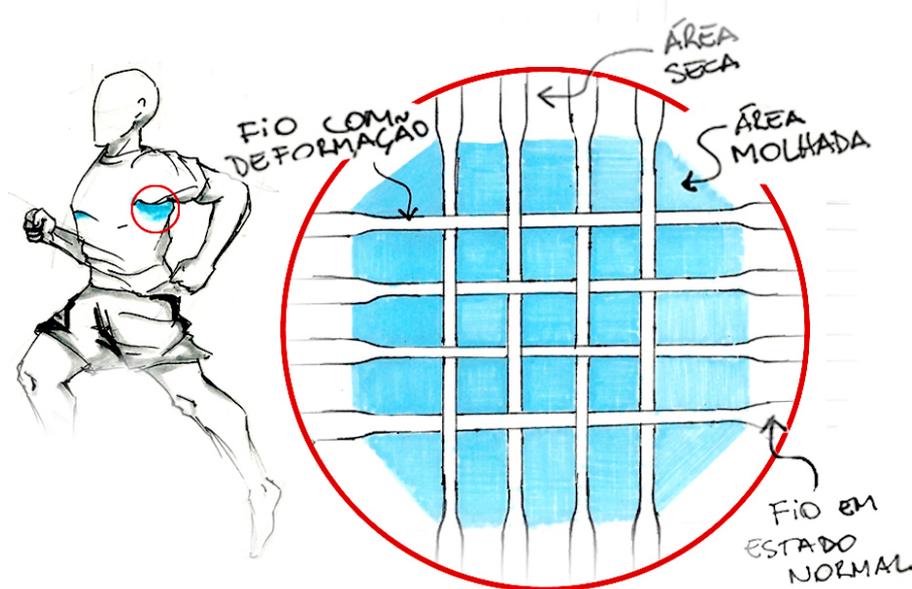


Figura 86. Ilustração representativa da dilatação na trama do tecido com o Fio Estomático proveniente da transpiração do usuário.

Fonte: Autor

De esta forma, pode-se ter um tecido inteligente, por via do fio e da composição exata de sua trama, dando origem ao Fio Estomático, que favorece o usuário um melhor suporte, dando margem à sua saúde, estética e prazer no uso.

### 2.2.3. Tampa Estoma

Baseado no mecanismo de abertura estomático, este produto busca criar uma solução para o despejo de fluidos de diversas ordens, contidos em: frascos, garrafas, cantis, embalagens, etc..

Trata-se de uma tampa com movimento mecânico e manual (livre do estado de turgidez), baseada nos estômatos reniformes, também encontrados no mandacaru (Figura 87).

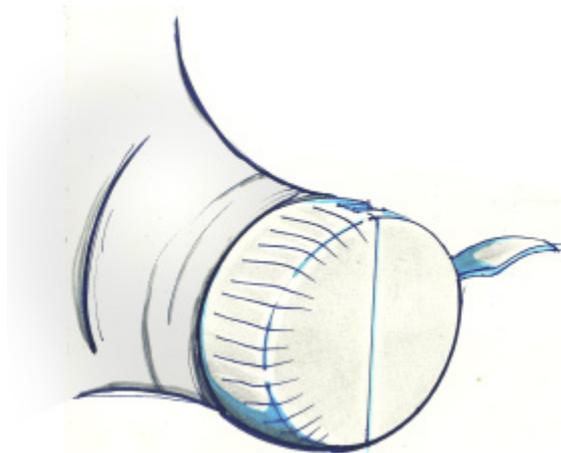


Figura 87. Tampa Estoma

Fonte: Autor

Sua configuração estrutural consiste em apresentar, em sua visualização externa e primária, um material flexível e fixo, com a forma de uma circunferência cortada ao meio, o qual revestem as peças que executam o movimento. Estas são de um material mais rígido, que irá proporcionar a abertura, onde se dará pela força aplicada pelo usuário (movimento com os dedos) através de um pino que aparece saliente ao conjunto. Este pino consiste em ser uma peça única e maior, entretanto, somente uma parte é percebida externamente, mas há uma continuidade na parte inferior ao revestimento flexível, com formato específico para que quando entre em movimento – neste caso circular – irá empurrar as paredes do material que está acima, obtendo o resultado almejado, que no caso, irá depender da força aplicada respeitando o limite (Figura 88). Após o uso, basta soltar a alavanca manual para que retorne a posição inicial automaticamente.

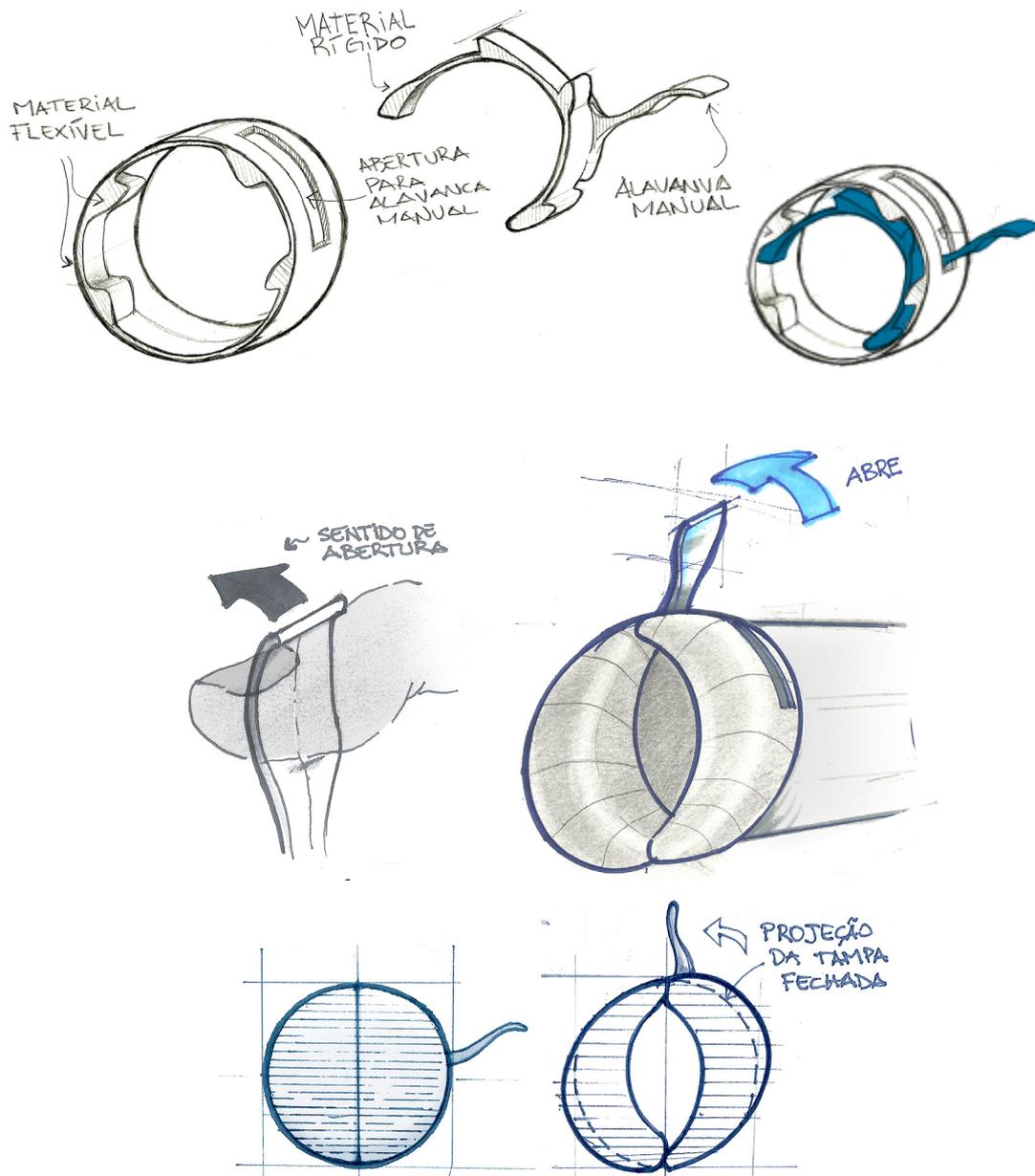


Figura 88. Estruturas internas, separada e composta, ideia do uso com alavanca manual, e vista frontal da Tampa Estoma

Fonte: Autor

Salienta-se que este projeto serve para a reserva de bebidas térmicas em garrafa adequada, pois que a forma e sua estrutura espessa, como também, o material, deve preservar a temperatura interna do recipiente.

Tem-se, portanto, um produto inovador, que propõe uma solução baseada nas estruturas do vegetal em foco e que permite o fácil manuseio, a indução ao uso, e, principalmente, a sua vasta aplicabilidade em produtos dos mais diversos matizes, que estejam associados aos requisitos propícios a aplicação do conceito.

### 2.2.4. Tubulação Hidráulica XMA

Assim como o vegetal precisa de tubos hidráulicos para a sua sobrevivência, uma edificação nos dias de hoje também precisa. De acordo com as análises microscópica de *Cereus jamacaru DC.*, pôde-se notar que sua estrutura de distribuição e transporte de água – o xilema - apresenta elementos de vasos com placas de perfuração simples e paredes secundárias lignificadas em forma helicoidal (Figura 89). Eles são responsáveis (visualização macro) pela formação do pentágono no centro do corpo do vegetal, visto através do corte transversal do cladódio. Na parte interna deste pentágono se encontra o parênquima aquífero, e na parte externa o parênquima amilífero. Ao seu redor está o floema, de acordo com a Figura 89.

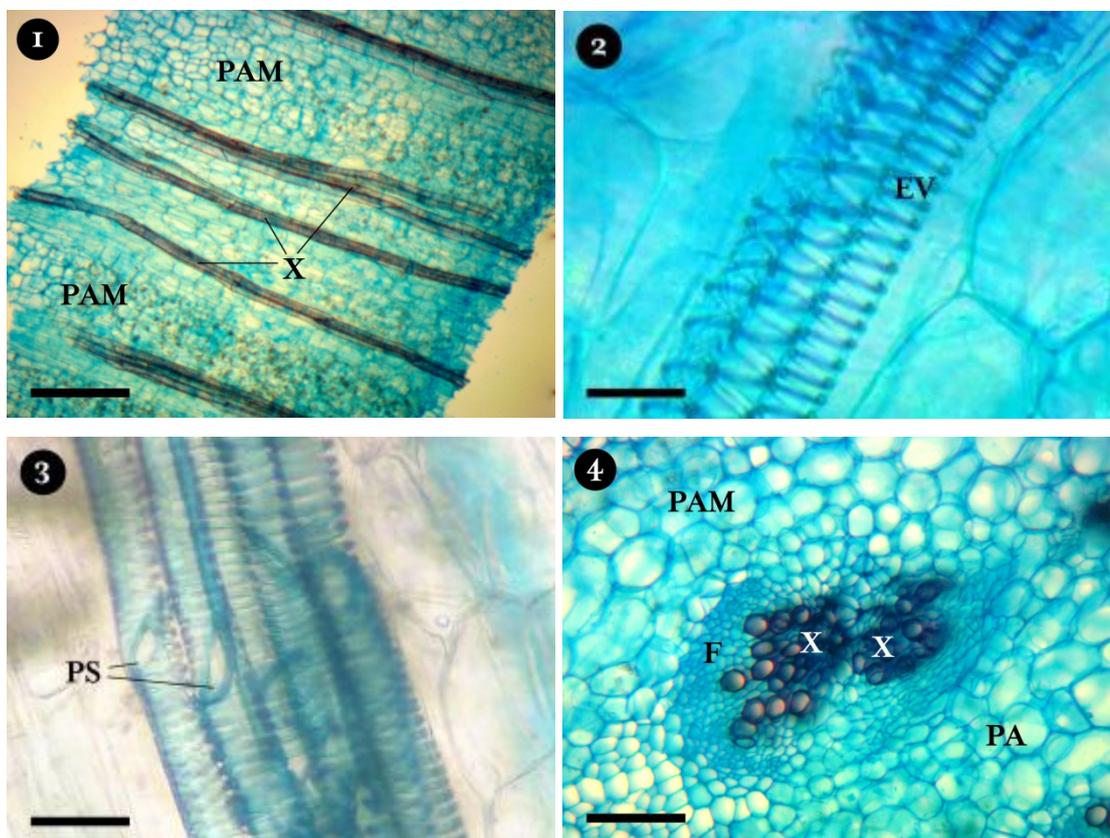


Figura 89. 1-3. Corte longitudinal da nervura central de *Cereus jamacaru DC.* apresentando xilema (1) e elementos de vaso com suas configurações (2 e 3); 4. Xilema visualizado em corte transversal da nervura central de *Cereus jamacaru DC.*. PS – Placas de perfuração simples; EV – Elementos de vaso com paredes helicoidal. PA – Parênquima aquífero; PAM – Parênquima Amilífero; X – Xilema; F - Floema; Barra = 200  $\mu\text{m}$  (1); 20  $\mu\text{m}$  (2,3); 80  $\mu\text{m}$  (4).

Fonte: Autor

Ao se basear na sua função fisiológica, fora proposto como conceito um tipo de tubulação hidráulica que pudesse ser extensivo e flexível, não necessitando da

utilização de peças adicionais que o mercado sustenta para realizar dobras na tubulação, como curvas e peças em formato “T”. O material a ser utilizado neste conceito deverá apresentar características elásticas, mas deverá também apresentar certa rigidez, para que não ocasione de ocorrer perfurações indesejadas por outros materiais de construção (cimento seco, tijolos, etc.), como também, após longo tempo sem o uso, não deverá romper-se pela inércia obtida. Sua flexibilidade é capaz de realizar curvas por ter sua estrutura interna baseada nos elementos de vaso do xilema visto no mandacaru, com paredes internas em forma helicoidal (Figura 90).

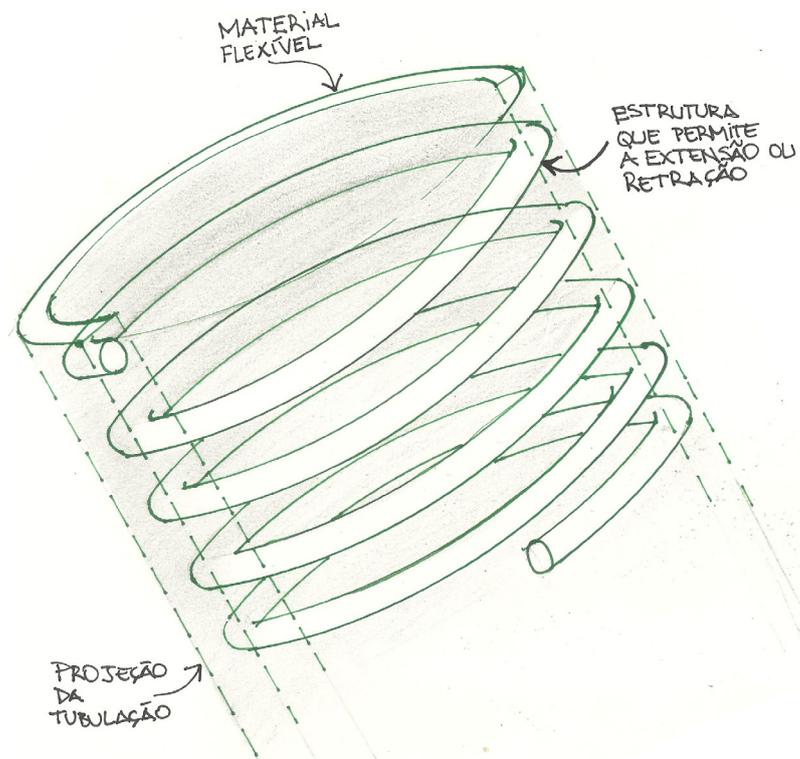


Figura 90. Tubulação em detalhe exibindo sua estrutura externa e interna em forma helicoidal

Fonte: Autor

Assim, o usuário poderá manejar a tubulação durante a obra, considerada nova, ou até mesmo numa reforma, após longos anos de uso, sem causar o comprometimento do produto (Figura 91).

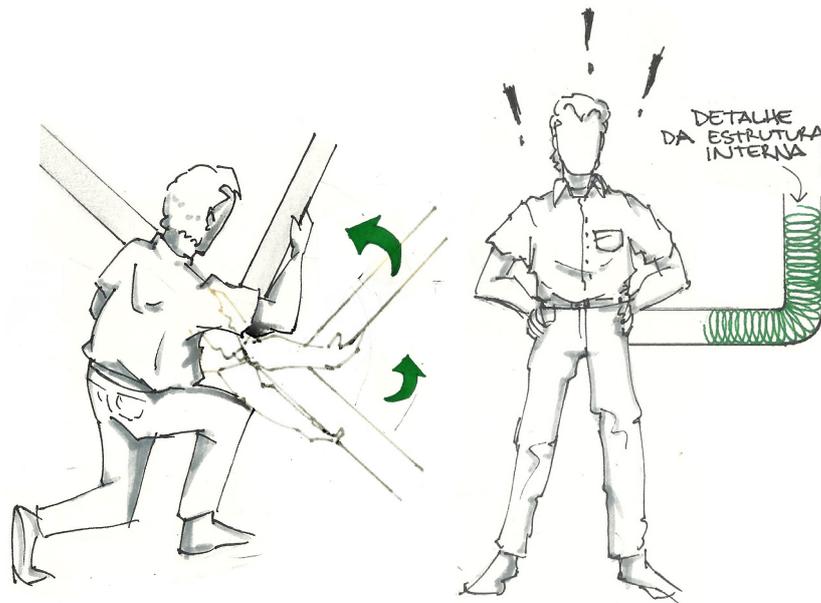
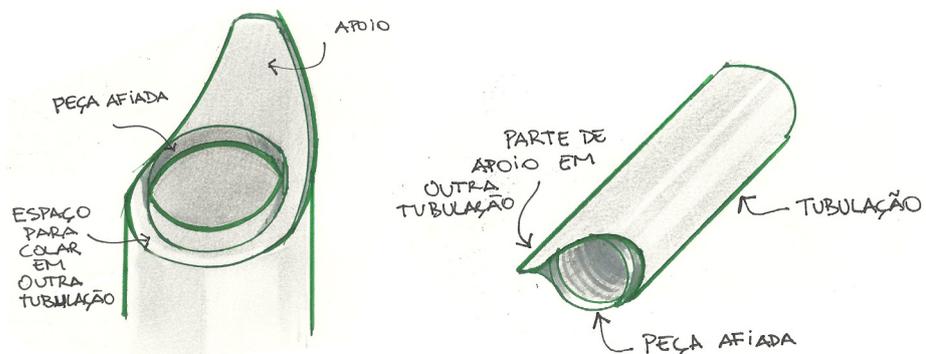


Figura 91. Representação do usuário curvando manualmente a tubulação e o resultado positivo

Fonte: Autor

Para isto precisará de um material que tenha elasticidade até o ponto de deformação limíte proposta pelo produto e que suporte conter e manter água sem que seja danificado.

Para peças secundárias à distribuição hidráulica primária da edificação, peças que permitem a divisão e encaixe para saídas, se configuram da seguinte maneira: no local de encontro com o outro cano haverá uma peça no perímetro da perfuração (similar a placa de perfuração simples) que com força suficiente poderá romper a parede do cano em que se pretenda fazer o encaixe. Esta peça deverá ser de um material afiado e rígido, e recomenda-se o uso de cola especial para vedação visando a eficiência de seu uso. Da mesma forma serve para unir dois canos quando num mesmo sentido (Figura 92).



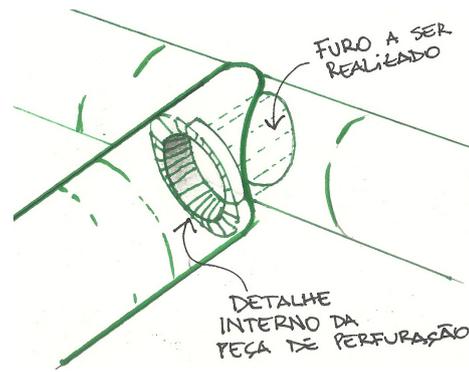


Figura 92. Detalhe da peça secundária e encontro entre dois canos num outro em perpendicular

Fonte: Autor

Quando houver a necessidade da utilização de três canos, quando atualmente se utiliza um “T”, neste conceito basta inverter em 180° um dos dois canos que estará perpendicular ao principal (Figura 93). O processo de encaixe é o mesmo citado anteriormente.

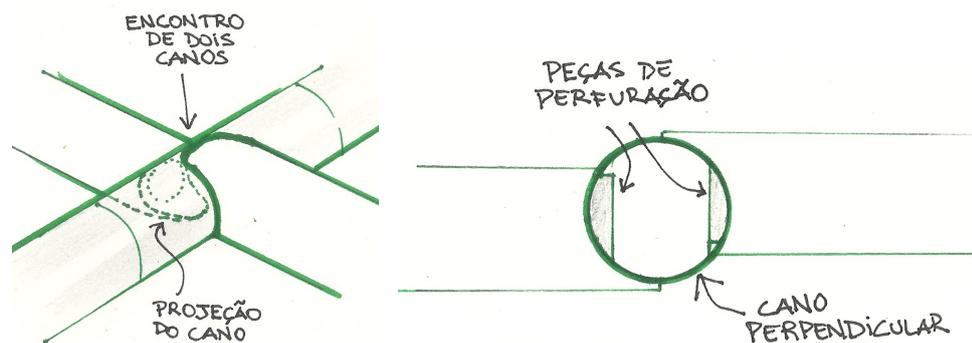


Figura 93. Conceito do encaixe entre três canos, sendo um perpendicular aos outros.

Fonte: Autor

O presente conceito propõe que o gasto de material seja reduzido por parte da indústria, pela falta de necessidade em se produzir peças específicas para divisão ou ligação, que haja um fácil manuseio dentre os usuários, em decorrência de sua flexibilidade e extensibilidade, e ainda dê segurança ao cliente, pois como o material a ser utilizado apresenta especificidade elástica, não poderá ocorrer a quebra. Além disto, que seja eficiente quanto sua função, pois exercerá o fluxo de água contínuo, sem interrupções e resistência de acordo com o princípio encontrado no mandacaru.

### 2.2.5. Vaso Hidrófilo

Dando continuidade aos conceitos elaborados, não diferente dos outros, este está associado à outra estrutura ainda não abordada: o parênquima.

Conforme visto nas análises em laboratório, os parênquimas encontrados no mandacaru são classificados como parênquima aquífero e amilífero, portanto, este conceito foca nas suas funções já vista na primeira parte deste trabalho. Pelas análises o parênquima aquífero se encontra na nervura central, e supõe que está em contato direto com o xilema devido às funções deste último. Já o parênquima amilífero compõe o restante o corpo do vegetal a partir da nervura central até a camada espessa da epiderme, contendo amido e cloroplastos (fotossintetizante). A Figura 94 permite perceber melhor estas características.

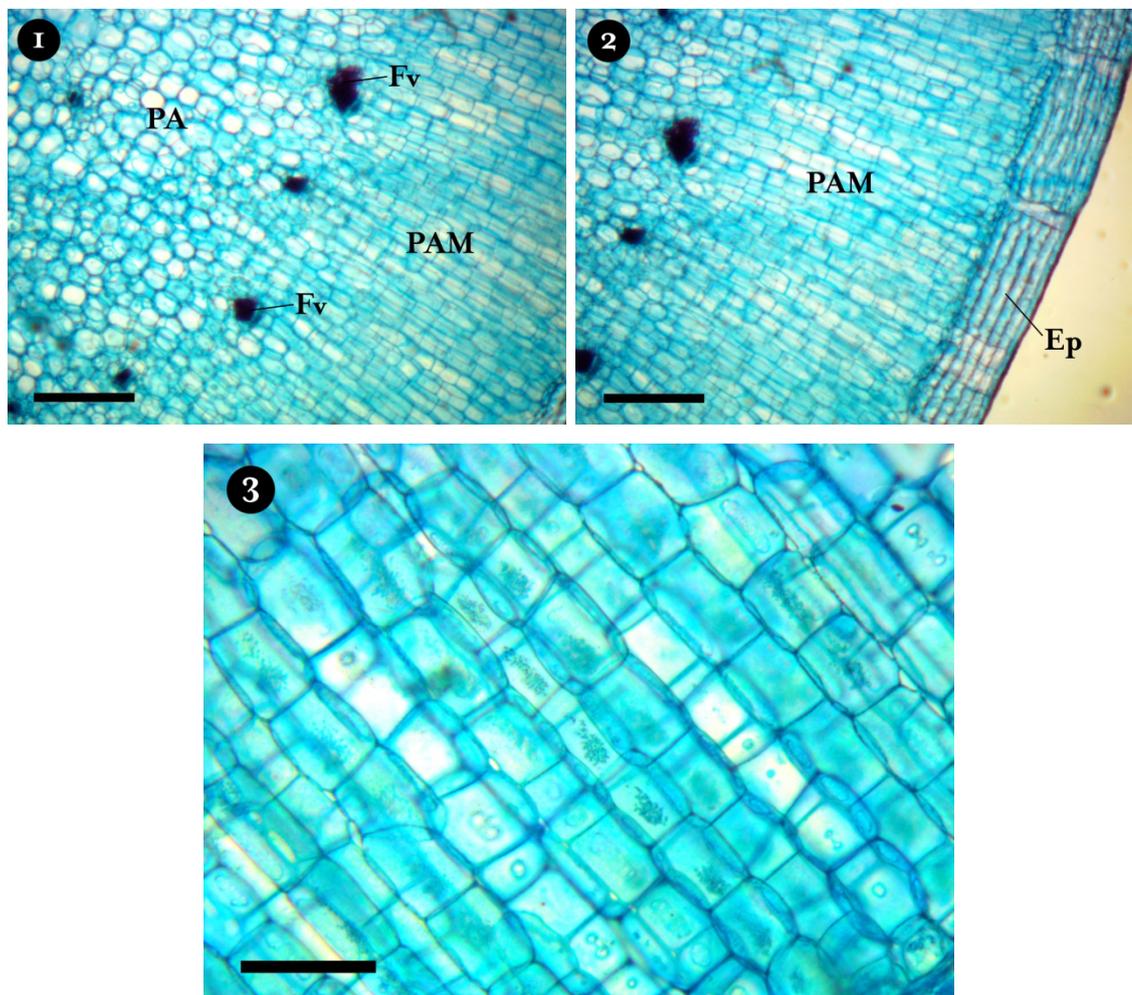


Figura 94. 1-3. Corte transversal de *Cereus jamacaru* DC.; 3 – Detalhe do Parênquima Amilífero; PA - Parênquima Aquífero; PAM - Parênquima Amilífero; Fv – Feixe vascular; Ep - Epiderme. Barra = 200  $\mu\text{m}$  (1,2); 20  $\mu\text{m}$  (3).

Fonte: Autor

O conceito apresentado se trata de um vaso de planta que tem a capacidade de indicar ao usuário que ele está necessitando de água. Haja vista que o parênquima tem a capacidade de flexibilidade de acordo com a quantidade de água que o mesmo apresenta (retenção), o vaso hidrófilo também carrega em si esta função.

Sendo o vaso elaborado com um material flexível nas paredes externas, e outro por entre este último, cuja capacidade é interpretar a umidade do substrato da planta e criar um volume pela presença da água, retendo-a e fazendo com que o vaso esteja no formato natural. Caso ocorra a falta de água no substrato da planta, este material que simula um parênquima irá murchar, indicando ao usuário que a planta necessita de água. Ao adicionar água à planta, o vaso volta a sua forma natural (Figura 95). Este movimento elástico (seco e cheio) irá depender do material utilizado para compor as paredes externas.



**Figura 95.** Desenho esquemático da interpretação da água feita pelo material especial por entre as paredes externas

Fonte: Autor

Como uma forma de facilitar o manuseio da planta no vaso e garantir sua sobrevivência, há uma tela permeável que permite a troca de umidade entre o material específico e o substrato. Esta tela serve também como um pequeno vaso, pois quando se quiser fazer a troca de terra, basta retirá-la e realizar a atividade. Pode-se perceber isto e a escala do tamanho do Vaso Hidrófilo pela Figura 96:



Figura 96. Esquema representativo da composição do Vaso Hidrófilo e sua escala

Fonte: Autor

Assim, a planta poderá continuar o seu crescimento, mesmo ultrapassando com suas raízes a tela permeável, pois irá encontrar um material que conterà água e umidade.

Compreende-se também que este mesmo material utilizado para reter a água e umidade, também pode ser utilizado em plantações no setor da agricultura. Pode ser um facilitador aos pequenos, médios e grandes empresários para a sua utilização e observância das necessidades de seus produtos, ou seja, suas plantas.

A proposta deste conceito serve para os usuários identificarem visualmente a necessidade primordial da planta, neste caso, a água. Tanto para a planta como para o meio ambiente, este elemento natural não pode sofrer tanto desperdício, e é sabido que quando se água uma planta num vaso, boa parte dele escoar pelo fundo. Assim, esta proposta demonstra que toda a água utilizada pode ser reaproveitada de forma integral pela planta, sem desperdício algum. Como também, ter uma relação maior com o produto, por executar esta comunicação interativa com o usuário. Pois é através disto, que a planta sobrevive e a pessoa portadora da planta fique satisfeita em tê-la saudável em sua residência.

# CONCLUSÃO

São inúmeras as possibilidades de abstração das estruturas contidas no *Cereus jamacaru DC.* e sua adaptação ao projeto de produto. Por apresentar excelentes parâmetros de soluções para sua sobrevivência em ambiente árido, por ser uma espécie ícone no repertório cultural da região Nordeste e estar presente por todo o semiárido, área que abrange as caatingas, esta espécie foi selecionada como objeto de estudo. Portanto, este trabalho propôs, somente, a análise de três estruturas em nível microscópico – estômatos, parênquima e xilema – e considerou, também, a morfologia de um ramo novo que fora coletado em campo, com o intuito da aplicação da ciência Biônica no foco em Design.

Tendo em vista estas análises, foi possível perceber a gama de soluções e possibilidades de projetos de Design que o mandacaru exhibe em sua configuração natural, como a geometria que está presente com suas relações de pentágono regular e pentagrama, razão áurea, lei de Fibonacci, entre outras, já há muito utilizado pelos grandes gênios da humanidade. O que implica a grandeza que há, num estudo em que aborde em maior profundidade, e na medida do possível, todas as estruturas, além daquelas que foram abordadas neste trabalho, onde ressaltam a sobrevivência da planta e suas adaptações mediante o meio árido em que se encontra. Estes são princípios ricos em soluções para a sobrevivência de forma harmoniosa, por parte dos homens, no bioma em que se enquadra.

Além das aplicações destes parâmetros para a projeção com foco em design na área de produtos, sabe-se que podem ser utilizados também nas outras áreas, tais como design gráfico, design de superfícies, moda, etc., mas que estejam associados, impreterivelmente, com a ciência Biônica, para a sua eficiência.

Fora assim, portanto, o que se alcançou com os resultados desta pesquisa, através da proposta de uma metodologia por parte de Kindlein Jr. *et al.* (2002), quando associados a quesitos relevantes e enfatizando as possibilidades de projetos de produtos que trazem qualidade de vida para a região dominada pelas caatingas. Demonstrado através de uma tabela indicativa, com o foco no uso quanto à ciência

Biônica e o Design, como também, algumas elaborações de conceitos, por meio de *brainstorm* e *sketches*, provenientes dela. Entretanto, ressalta-se a necessidade de um estudo mais aprofundado acerca dos conceitos expostos nesta pesquisa, a necessidade de análises das mais variadas ordens, que tragam eficiência ao projeto no futuro, o que os permite tomar um caráter passível a modificações, caso necessário. Desta maneira, notou-se o quanto a espécie *Cereus jamacaru DC.* está ligada a soluções de problemas, e como o homem pode aprender com ela.

No decorrer da pesquisa houve algumas dificuldades para a elaboração das análises laboratoriais, tais como: acesso a equipamentos, laboratórios adequados e profissionais específicos da área da Botânica, entretanto, isto não impossibilitou a produção da mesma, haja vista que há outros profissionais capacitados para auxiliar o sentido do trabalho com equipamentos em mesmo nível, tal como ocorreu. Foi possível notar também, uma bibliografia escassa, e de difícil acesso, referente às análises anatômicas de *Cereus jamacaru DC.*, assim como, baixa ou nenhuma disponibilidade em bibliotecas da Universidade Federal de Pernambuco, como também, publicações acadêmicas de todos os gêneros, quando se tratam da anatomia do mandacaru, morfologia, e outros fatores mais específicos. Portanto, foi sentido que talvez este seja um primeiro trabalho em que tenha sido executada uma abordagem destes fatores na espécie relatada.

Referindo-se ainda às análises laboratoriais, pode-se perceber a possibilidade de um vasto campo de pesquisa, para caracterizar e classificar suas estruturas, internas e externas, assim como, conceber novos resultados nas áreas das ciências biológicas.

Ao que se refere à coleta das amostras, pode-se dizer que foram obtidas de maneira fácil, devido a localização do Centro Acadêmico do Agreste ser na cidade de Caruaru, ou seja, está inserida no semiárido, o que permite a distribuição do mandacaru por suas redondezas.

Portanto, conforme visto as possibilidades de projeção com foco em habitações, sistemas hidráulicos, fontes de energias, sistemas de termorregulação, clima e ventilação, sustentação, estrutura, assim como, as relações geométricas encontradas em sua morfologia, mecanismos, processos, entre tantos outros fatores e parâmetros, pôde ser observado numa pequena parcela da configuração

deste sistema natural. Imaginemos se estudássemos a fundo outras espécies deste bioma tão diverso e se fossem feitas comparações e conceitos? Quão rico seria o desenvolvimento das cidades, dos produtos mediante as verdadeiras necessidades das sociedades. Do real sentido do design. Talvez estivesse aí uma verdadeira qualidade de vida.

Eis porque o *Cereus jamacaru DC.*, é considerado nesta pesquisa, como um princípio pró-design!

# REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Sertões e Sertanejos: uma geografia humana sofrida.** In: *Estud. av.*, v.13, n.36, p.7-59, ago. 1999.

AMARAL, Everton; GUANABARA, Andréa Seadi; KINDLEIN JR., Wilson. **Sistemas de Fixação Baseado na Biônica e no Design de Produto: Estudo do Caso “Velcro” a Partir do Fruto do Carrapicho.** In: *Revista Estudos em Design*, v.10, 2002.

ANDRADE, Cássia Tatiana. **Um Estudo Etnobotânico da Conexão Homem/Cactácea no Semi-Árido Bahiano.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana, BA, 2002.

ANDRADE, C. T. S.; MARQUES, J.G.W; ZAPPI, D.C.. **Utilização medicinal de cactáceas por sertanejos baianos.** In: *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*, v.8, n.3, p.36-42, 2006.

APEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz; CARMELLO-GUERREIRO, Sandra Maria. **Anatomia Vegetal.** Viçosa: Ed. UFV, 2006.

ARRUDA, Amilton J. V. **O que é Biônica?.** In: *Revista Arte Comunicação*. v.1, n.1, p.19-24, jun. 1994. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 1994.

ARRUDA, Emilia; MELO-DE-PINNA, Gladys Flávia; ALVES, Marccus. **Anatomia dos órgãos vegetativos de *Cactaceae* da caatinga pernambucana.** In: *Revista Brasileira de Botânica*. v.28, n.3, p.589-601, set. 2005.

ASSOCIAÇÃO CAATINGA. **Caracterização.** Caatinga: Um bioma exclusivamente brasileiro. Disponível em:

<<http://www.acaatinga.org.br/index.php/o-bioma/sobre-o-bioma/caracterizacao/>>. Acessado em: 06 dez. 2012.

ÁVILA, Geraldo; WAGNER, Eduardo; CARVALHO, João Bosco P. de. **Retângulo áureo, divisão áurea e sequência de Fibonacci**. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~anachiaradia/Material/FAMA-%20Retangulo%20aureo-%20avila%20-%20rpm6.pdf>>. Acessado em: 20 mai. 2012.

BELUSSI, Giuliano Miyaiishi; GERALDINI, Daniel Aparecido; PRADO, Enéas de Almeida & BARISON, Maria Bernadete. **O número de Ouro**. 2005. Disponível em: <<http://www.mat.uel.br/geometrica/artigos/ST-15-TC.pdf>>. Acessado em: 24 mai. 2012.

BENYUS, Janine M.. **Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza**. São Paulo: Editora Pensamento, 2011.

BLÜCHEL, Kurt G. **Biônica: como podemos usar a engenharia da natureza a nosso favor**. 1 ed. São Paulo: PHL, 2009.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas e Desenvolvimento Regional. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília, DF, 2005.

BROECK, Fabrício Vanden. **Biônica e Design**. Disponível em: <<http://www.carlosrighi.com.br/177///Bionica/Bionica%20e%20Design%20-%20Vanden%20Broeck.pdf>>. Acessado em: 01 mai. 2012.

BROECK, Fabricio Vanden; MUÑOZ, Arsenio. **As Estruturas na Natureza e na Técnica: Conhecimentos Qualitativos Sobre as Estruturas**. In: *Biônica: Cadernos em Biodesign*. Caderno 1. Tradução de Prof. Amilton Arruda. Recife, 2003.

CÂNDIDO, Luiz Henrique Alves; SANTOS, Sandra Souza; MARQUES, André Canal; VIEGAS, Maurício da Silva; KINDLEIN, Wilson Jr. **Desenvolvimento de elementos de junção/fixação a partir de estudos da Biônica**. P&D: Paraná, 2006

CASTRO, Juliana Pereira de. **Números cromossômicos em espécies de *Cactaceae* ocorrentes no nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2008.

COINEAU, Yves; KRESLING, Biruta. **Biónica y diseño: testimonies de la evolución de esta aproximación**. Disponível em: <[http://tdd.elisava.net/coleccion/10/coineau\\_kresling-es](http://tdd.elisava.net/coleccion/10/coineau_kresling-es)>. Acessado em: 01 mai. 2012.

COSTA, Roberto C. L. da. **Fisiologia dos Estômatos**. 2004. Disponível em: <<http://robertocezar.com/informa%C3%A7%C3%B5es%20do%20site/textos/fisiologia%20dos%20estomatos%20atualizada.doc>>. Acessado em: 28 abr. 2012.

CUTLER, David F.; BOTHA, Ted; STEVENSON, Dennis Wm. **Anatomia Vegetal: uma abordagem aplicada**. Porto Alegre: Artmed, 2011.

DARWIN, Charles. **A Origem das Espécies: no meio da seleção natural ou a luta pela existência na natureza [e-book].v. 1**. Baseado na tradução de Joaquim da Mesquita Paul. Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/ffa/arquivos/abril/darwin1.pdf>>. Acessado em: 01 out. 2011.

DETANICO, Flora Bittencourt. **Sistematização de princípios de solução da natureza para aplicação no processo criativo do projeto de produtos**. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DICIONÁRIOS MICHAELIS. **MICHAELIS**: Dicionário escolar língua portuguesa. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2008.

DOCZI, György. **The Power of Limits**: Proportional Harmonies in Nature, Art, and Architecture. 1981. Disponível em: <  
[http://books.google.com.br/books?id=AF0gAAAAIAAJ&hl=pt-BR&source=gbs\\_similarbooks](http://books.google.com.br/books?id=AF0gAAAAIAAJ&hl=pt-BR&source=gbs_similarbooks)>. Acessado em: 23 mai. 2012.

EVES, Howard. **Tópicos de história da matemática para uso em sala de aula: geometria**. São Paulo: Atual, 1992.

FABRICANTE, Juliano Ricardo; ANDRADE, Leonaldo Alves de; MARQUES, Fábio José. **Caracterização populacional de *Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelburg (Cactaceae) ocorrente em um inselbergue da Caatinga paraibana**. In: Revista Biotemas. v.23, n.1, p.61-67, mar. 2010.

GOMES, Luiz Antônio Vidal de Negreiros. **Criatividade e Design**: um livro de desenho industrial para projeto de produto. Porto Alegre: sCHDs, 2011.

KINDLEIN JR., W.; GEYER, G.; KUNZLER, L. S. Q. **Analogia entre a escama de piava e o pneu Goodyear aquatred**. 4<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Associação de Ensino de Design do Brasil (Textos referentes à sessão técnica Ecodesign). Vol. 1. Rio de Janeiro: AEnD-BR, pg. 0339-44, 2000

KINDLEIN JR., Wilson; GUANABARA, Andréa Seadi; SILVA, Everton Amaral da; PLATCHECK, Elizabeth Regina. **Proposta de uma metodologia para o desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biônica**. V Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2002.

LAURO, Maria Mendias. **A razão áurea e os padrões harmônicos na natureza, artes e arquitetura**. Exa $\tilde{c}$ ta, São Paulo, v. 3, p. 33-48, 2005.

LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.

LIMA, José Luciano Santos de. **Plantas forrageiras das caatingas: usos e potencialidades**. Petrolina-PE: EMBRAPA-CPATSA/PNE/RBG-KEW, 1996.

LIMA, A. M. de. ; ANDRADE, M. G. de. **A natureza e sua interface com o design**. ANAIS DO P&D DESIGN 2002 – 1º Congresso Internacional de Pesquisa em Design. 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Associação de Ensino de Design do Brasil (Textos referentes à sessão técnica Ecodesign). Vol. 3. Rio de Janeiro: AEnD-BR, 2002.

MASCARENHAS, João de Castro *et al.* (org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Maxaranguape, estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

MEDEIROS, Lígia Aíra de; RIBEIRO, Roberval Cássia Salvador de; GALLO, Luiz Antônio; OLIVEIRA, Enio Tiago de & DEMATTÊ, Maria Esmeralda Soares Payão. *In vitro propagation of Notocactus magnificus*. In: Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). v.84, n.2, p.165-169, fev. 2006.

METCALFE, C. & CHALK, L.. **Anatomy of the Dicotyledons**. v.2. Oxford: Claredon Press, 1950.

MUNARI, Bruno. **Das Coisas Nascem Coisas**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NASCIMENTO SILVA, Danilo Émmerson. **Princípios da Biônica**. Caruaru: Universidade Federal de Pernambuco, 2011. Material didático adaptado do CD Biônica 2001 produzido pelo LDSM/UFRGS, 63 slides, color. Acompanha texto.

NOBRE, Fernando. **Estudo Programado de Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Nobel, 1957. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=NvpUzhhSp8sC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.br/books?id=NvpUzhhSp8sC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>. Acessado em: 07 nov. 2012.

NOTÍCIA DC. **Mercedes-Benz apresenta o veículo conceito Bionic Car, com formas inspiradas em um peixe**. Disponível em: <[Www.daimlerchrysler.com.br/noticias/Junho/Bionic\\_Car/popexpande.htm](http://www.daimlerchrysler.com.br/noticias/Junho/Bionic_Car/popexpande.htm)>. Acessado em: 10 fev. 2005.

OEFFNER, Johannes; LAUDER, George V. **The hydrodynamic function of shark skin and two biomimetic applications**. In: The Journal of Experiment Biology, v.215, p. 785-795, mar. 2012.

OLIVEIRA, Emilio; LANDIM, Paula. **Biônica e Biomimética: diferenças e aproximações à luz da sustentabilidade**. Simpósio Brasileiro de Design Sustentável, 2011 set 11-13, Recife. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2011.

PAGANI, Clovis; BOTTINO, Marco Cícero. **Proporção áurea e a Odontologia estética**. J Bras Dent Estet, Curitiba, v.2, n.5, p.80-85, jan./mar. 2003

PAZMINO, A. V. et al. **Aplicação das ferramentas: análise funcional, análise estrutural e matriz morfológica na biônica**. 4º Congresso Internacional de Pesquisa em Design. Rio de Janeiro, 2007.

PRADO, D.E.. **As Caatingas da América do Sul**. In: Leal, I.R., Tabarelli, M., Silva, J.M.C. (eds.). Ecologia e Conservação da Caatinga. p. 3-73. Univ. Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

PRIBERAM. **Dicionário Priberam da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/>>. Acessado em: 12 Abr. 2012.

PRISCO, José Tarquinio. **Introdução à Fisiologia Vegetal: Conceito E Aplicações**. In: Lacerda, Claudivan Feitosa de; Enéas Filho, Joaquim; Pinheiro, Camila Barbosa (org.). *Fisiologia Vegetal*. p. 1-7. Apostila da disciplina Fisiologia Vegetal. Fortaleza: Ceará, UFC, 2007.

RAMOS, Jaime; SELL, Ingeborg. **A Biônica no Projeto de Produtos**. *Prod.*, São Paulo, v. 4, n. 2, Dec. 1994. Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65131994000200001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65131994000200001&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 01 mai. 2012.

REIS, Tiago Fonseca dos. **Calçado para corrida na areia**. Monografia. Universidade do Estado de Minas Gerais: Escola de Design, Belo Horizonte, 2009.

RICARD, André. **La Aventura Creativa: Las Raíces del Diseño**. Barcelona: Editora Ariel, S.A., 2000.

RITO, Kátia Fernanda; ROCHA, Emerson Antônio; LEAL, Inara Roberta & MEIADO, Marcos Vinicius. **As sementes de mandacaru têm memória hídrica?** In: *Boletyn de La Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Caetéceas y otras Suculentas*. v.6, n.1, p.26-31, jan/abr, 2009.

ROCHA, Emerson Antonio; AGRA, Maria de Fátima. **Flora do Pico do Jabre, Paraíba, Brasil: Caetéceae juss**. In: *Acta Bot. Bras.*, vol.16, n.1, p.15-21, jan 2002.

ROSENDAHL, S.. **A Disciplina de Biônica no Curso de Design na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias**. *Caleidoscópio - Revista de Comunicação e Cultura, América do Norte*, 0, Jul. 2011. Disponível em:  
<<http://revistas.ulusofona.pt/index.php/caleidoscopio/article/view/2294/1803>>. Acessado em: 01 Mai. 2012.

SANTOS, Durvalina M. M. dos. **Estômatos**. 2005. Disponível em:  
<[http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/EXTO\\_24\\_Estomatos\\_2005.pdf](http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/EXTO_24_Estomatos_2005.pdf)>. Acessado em: 28 abr. 2012.

SCHNEIDER, Beat. **Design – Uma introdução**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

SILVA, José Maria Cardoso da *et al.* (org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SILVA, Suelma Ribeiro *et al.* (org.). **Plano de ação nacional para a conservação das Cactáceas**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBIO, 2011.

SOUSA, Gardene Maria de; ESTELITA, Maria Emília Maranhão; WANDERLEY, Maria das Graças Lapa. **Anatomia foliar de espécies brasileiras de *Lpns x pl* subg. *Ns pD vtp}l* (Gaudich. *pÉ* Beer) Baker, Bromelioideae-Bromeliaceae**. In: Rev. bras. Bot. 2005, vol.28, n.3, p. 603-613.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Área de Atuação da SUDENE - O Semiárido Nordestino**. Disponível em:  
<<http://www.sudene.gov.br/site/extra.php?cod=130&idioma=ptbr>>. Acessado em: 18 abr. 2012.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

UFLA. **Solos do Cerrado**. Glossário. Disponível em:  
<<http://www.dcs.ufla.br/Cerrados/Portugues/CGlossario.htm>>. Acessado em: 06 dez. 2012.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **Estruturas da Natureza**: um estudo da interface entre biologia e engenharia. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

VERSOS, Carlos Alberto Macedo. **Design Biônico**: a Natureza como inspiração criativa. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior: Departamento de Engenharia Electromecânica, Covilhã, 2010.

VIEIRA, Elvis Lima; SOUZA, Girlene Santos de; SANTOS, Anacleto Ranulfo dos; SANTOS SILVA, Jain dos. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010.

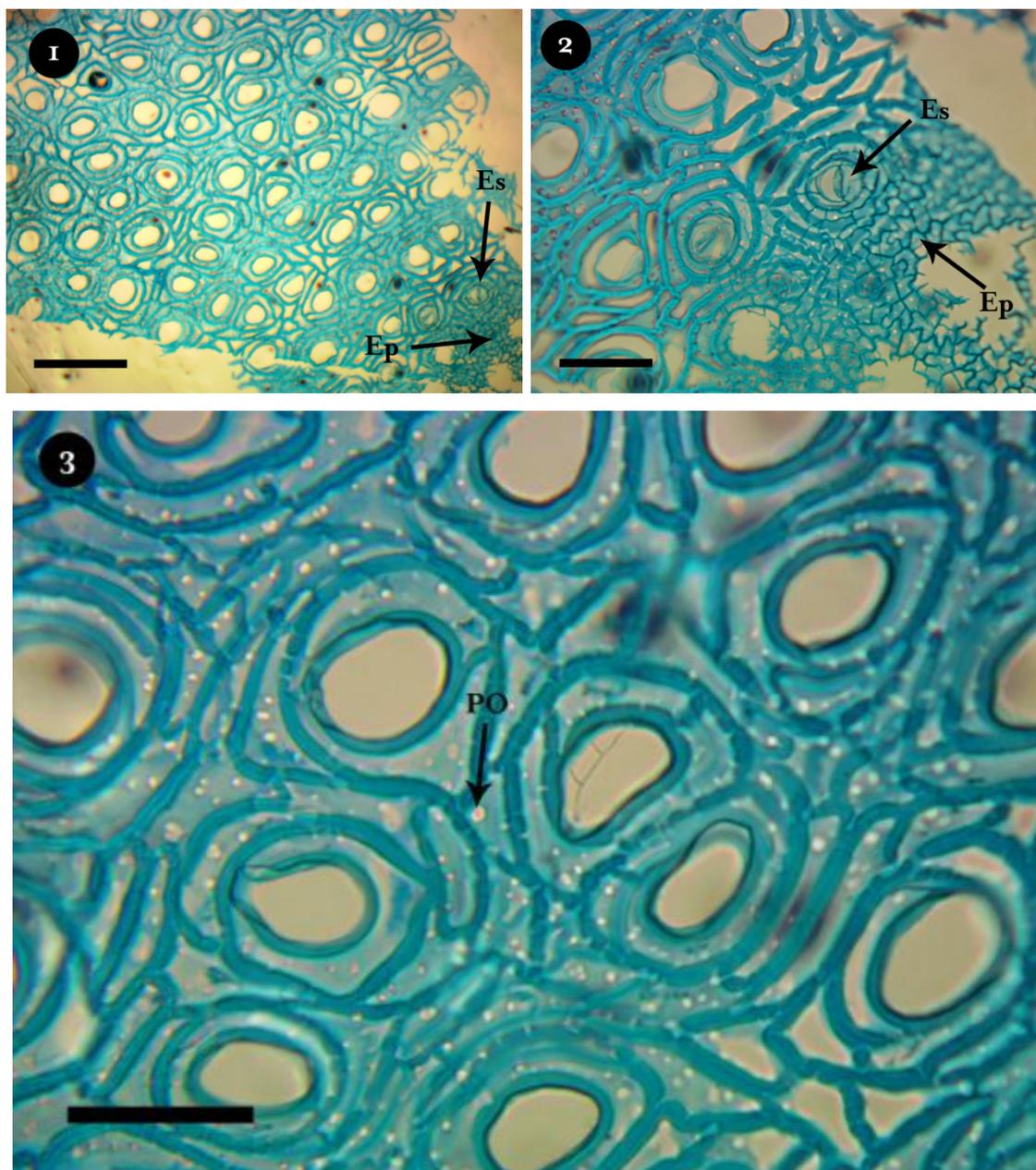
ZAPPI, Daniela; ROCHA, Emerson A. & TAYLOR, Nigel. **Checklist das Plantas do Nordeste Brasileiro: Angiospermae e Gymnospermae**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.

ZAPPI, D.. **Fitofisionomia da Caatinga associada à Cadeia do Espinhaço**. In: MEGADIVERSIDADE, Belo Horizonte - MG, v. 4, n. 1-2, p. 34-38, dez. 2008.

ZAPPI, D., TAYLOR, N., MACHADO, M. *Caftaceae* **in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB001447>>. Acessado em: 26 abr. 2012.

# ANEXO I

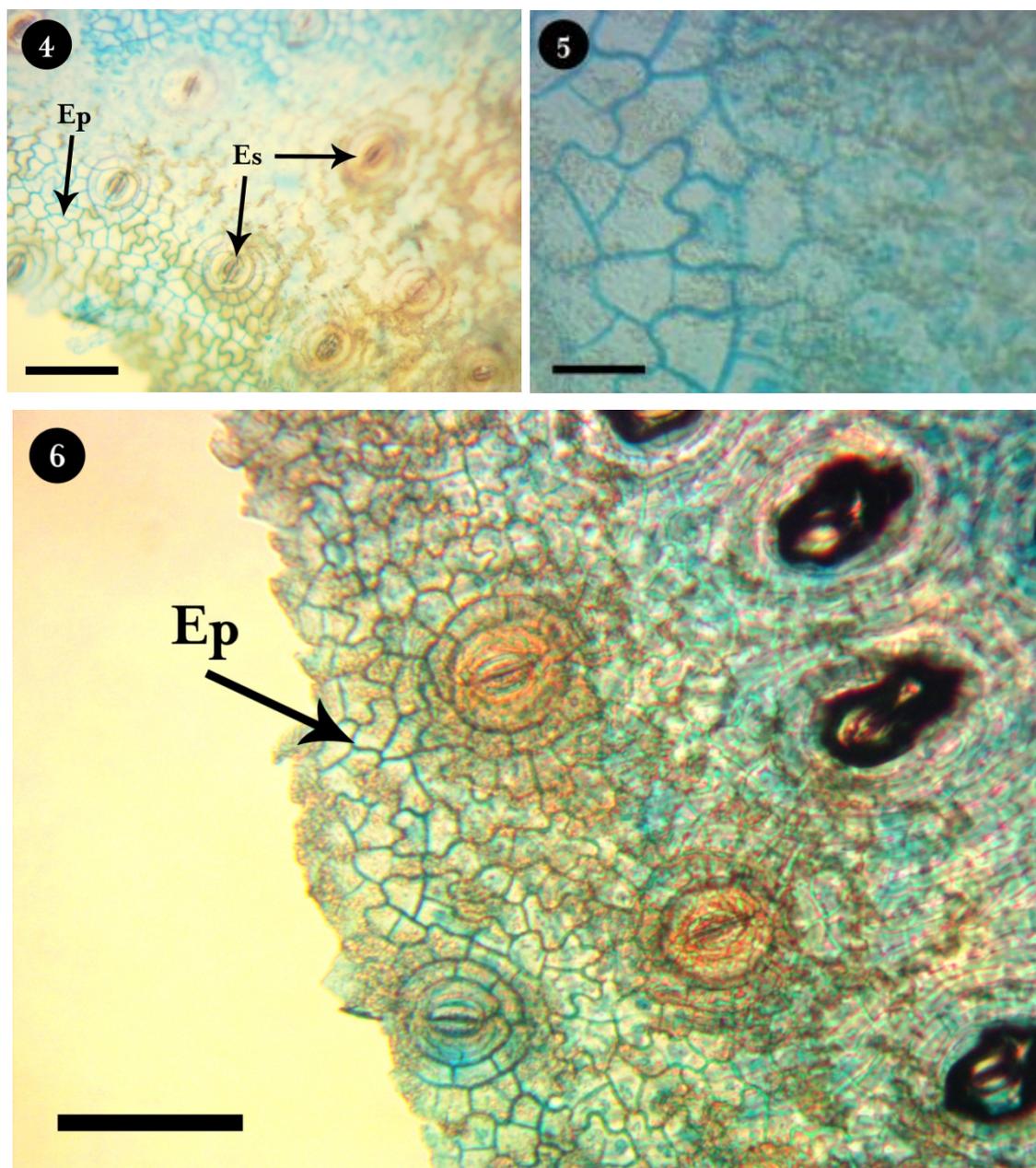
Sequência de imagens provenientes das análises em laboratório:



Anexo I. 1-3 - Corte frontal de *Cereus jamacaru* DC., apresentando película de revestimento à epiderme com paredes sinuosas, pontoações e furos onde se localizam os estômatos paralelocíticos.

Es – Estômatos; Ep – Epiderme; PO - Pontoações.

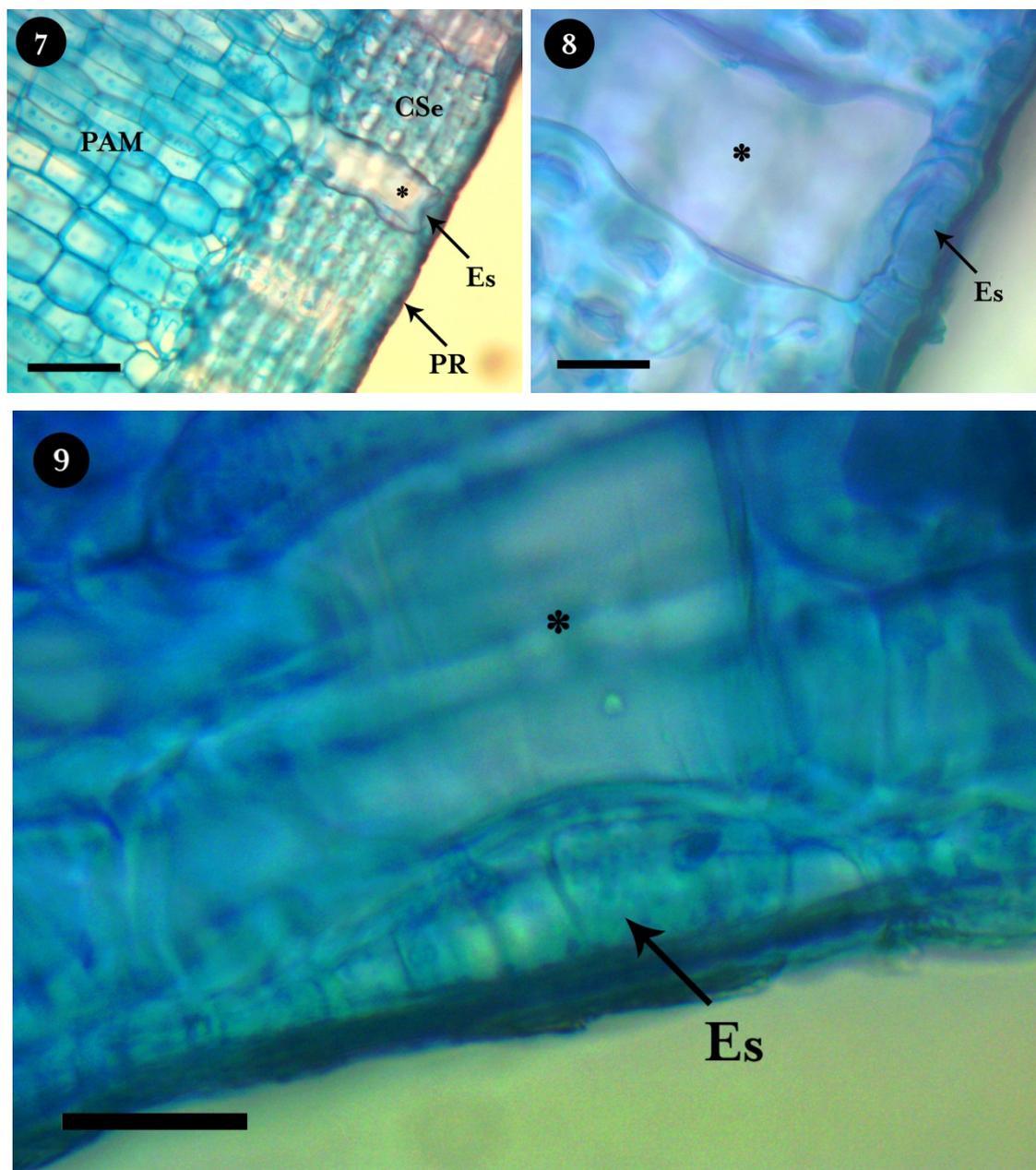
Barra = 200 µm (1); 80 µm (2 e 3)



Anexo 2. 4-6 - Corte frontal de *Cereus jamacaru* DC.. apresentando película de revestimento à epiderme com paredes sinuosas, pontoações e estômatos paralelocíticos.

EP – Epiderme; ES – Estômatos.

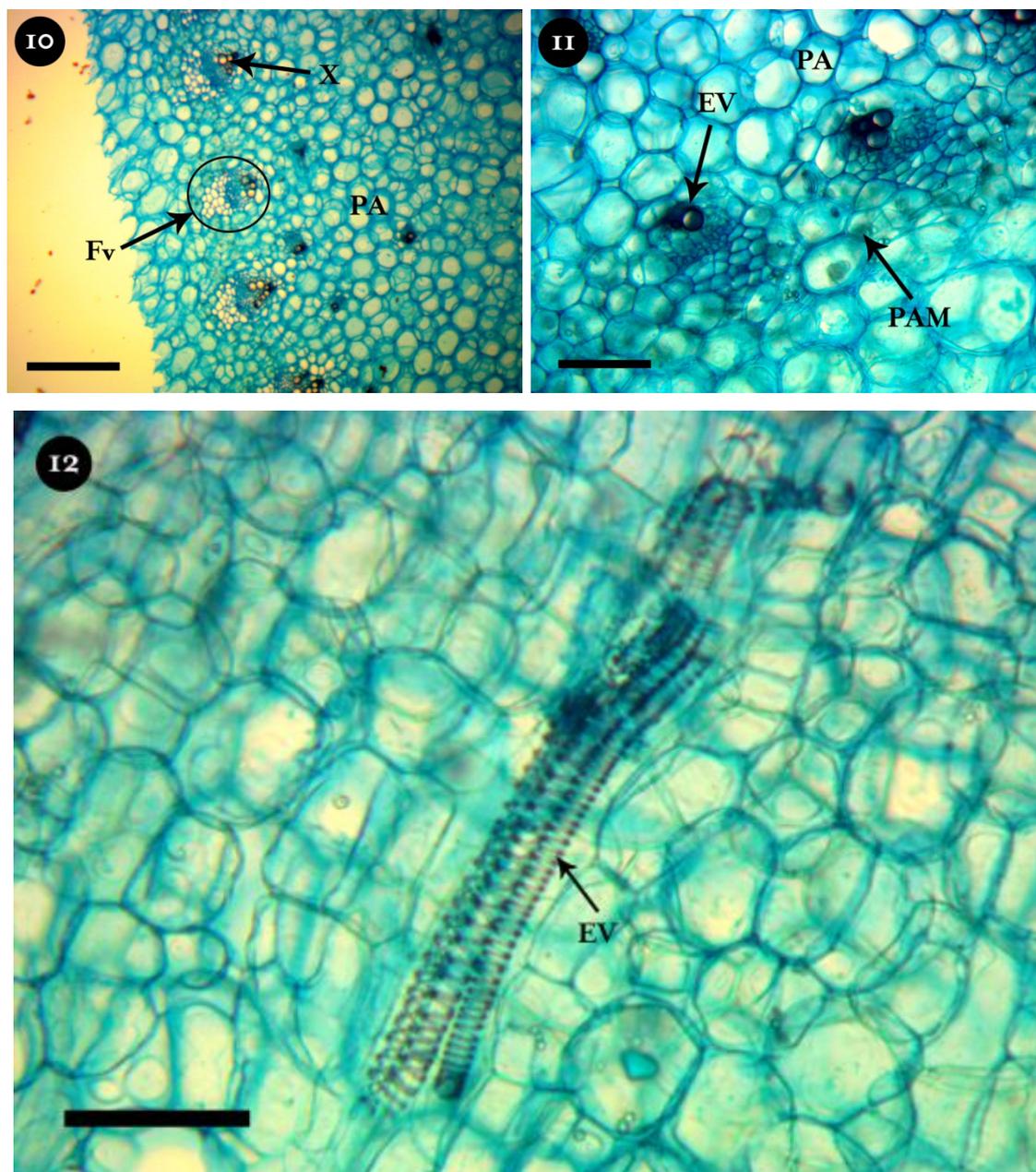
Barra = 80  $\mu$ m (4 e 6); 20  $\mu$ m (5)



**Anexo 3. 7-9 - Corte transversal do ramo de *Cereus jamacaru* DC., exibindo parênquima amilífero, células da subepiderme, película de revestimento (linha tênue em vermelho), câmara estomática e estômatos, situados ao mesmo nível da das demais células epidérmicas. 8-9. Detalhe dos estômatos em corte transversal.**

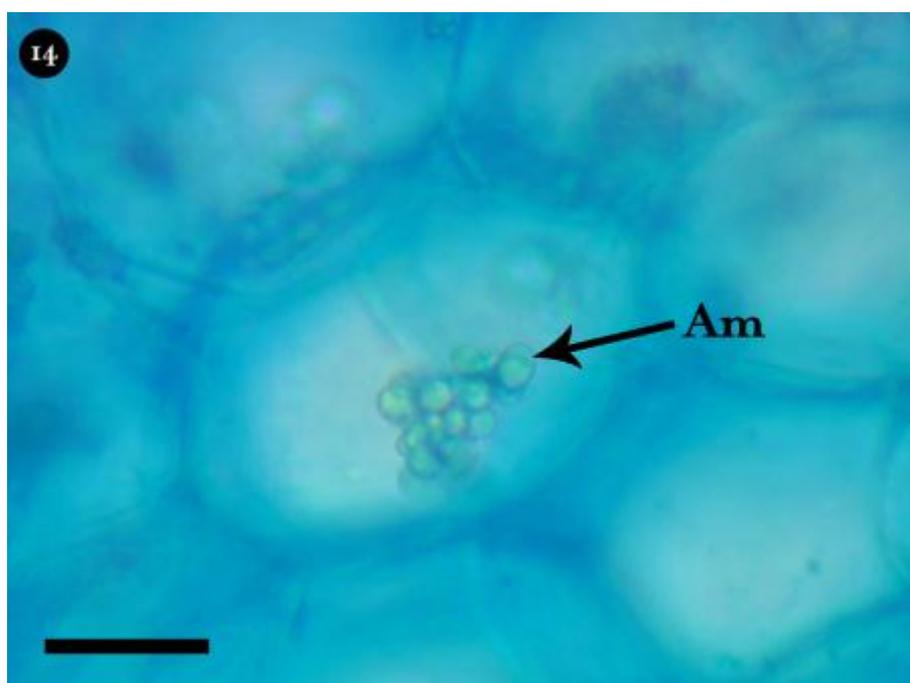
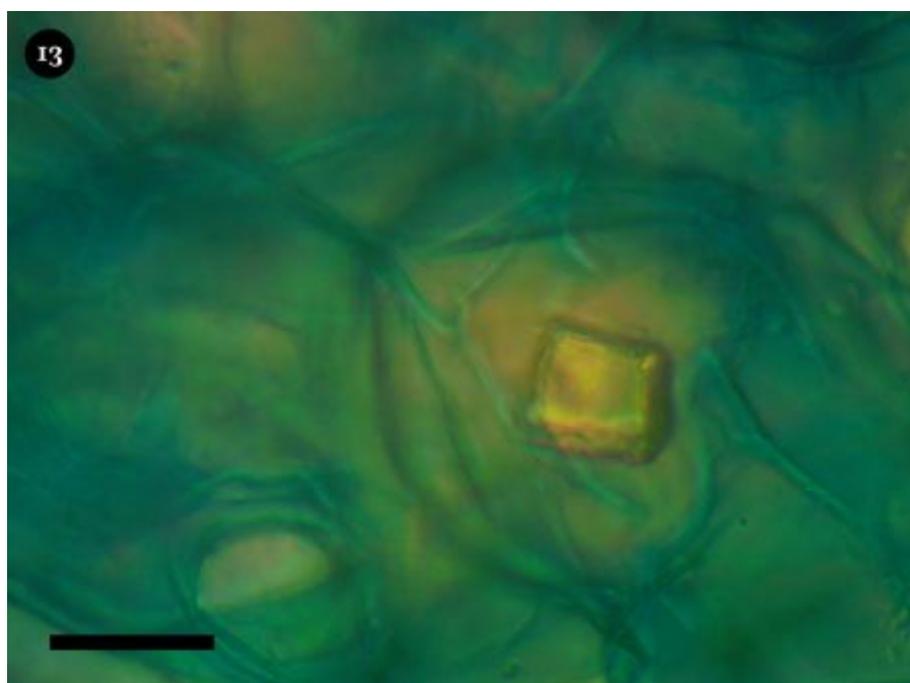
**PAM – Parênquima Amilífero; CSe – Células Subepidérmicas; Es – Estômatos; PR – Película de Revestimento; \* (asterisco) – Câmara subestomática.**

**Barra = 80  $\mu$ m (7); 20  $\mu$ m (8 e 9)**



Anexo 4. I0-I1 - Corte transversal da nervura central de *Cereus jamacaru* DC., com conjunto de feixes vasculares, parênquima aquífero, parênquima amilífero com acúmulo de amido seguindo o alinhamento dos feixes vasculares; I2 - Corte longitudinal da nervura central de *Cereus jamacaru* DC., exibindo um fragmento de elementos de vaso do xilema apresentando estrutura helicoidal.  
Fv – Feixes Vasculares; X – Xilema; PA – Parênquima Aquífero; PAM – Parênquima Amilífero; EV – Elemento de Vaso.

Barra = 200  $\mu$ m (I0); 80  $\mu$ m (I1 e I2)



Anexo 5. 13 e 14 - Corte transversal em *Cereus jamacaru* DC. exibindo parênquima amilífero. 13. Detalhe de uma inclusão celular do tipo inorgânica - cristal prismático, provavelmente de oxalato de cálcio; 14. Detalhe de inclusão celular orgânica - grãos de amido.

Am - Amido

Barra = 20  $\mu$ m (13 e 14)