

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE DESIGN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Rafael Rattes Lima Rocha de Aguiar

**BIOMIMÉTICA APLICADA AO METADESIGN:** Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru

Recife  
2015

RAFAEL RATTES LIMA ROCHA DE AGUIAR

**BIOMIMÉTICA APLICADA AO METADESIGN:** Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Design, da Universidade Federal de Pernambuco, para a obtenção do grau de Mestre em Design, sob orientação do Prof. PhD. Leonardo Augusto Gómez Castillo.

Recife  
2015

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Jonas Lucas Vieira, CRB4-1204

A282b Aguiar, Rafael Rattes Lima Rocha de  
Biomimética aplicada a metadesign: geração de máquinas abstratas com base no estudo do mandacaru / Rafael Rattes Lima Rocha de Aguiar. . Recife, 2015.  
98 f.: il., fig.

Orientador: Leonardo Augusto Gomez Castillo.  
Dissertação (Mestrado) . Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Design, 2017.

Inclui referências e apêndices.

1. Biomimética. 2. Metadesign. 3. Máquina abstrata. 4. Design paramétrico. I. Castillo, Leonardo Augusto Gomez (Orientador). II. Título.

745.2 CDD (22. ed.)

UFPE (CAC 2017-30)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA  
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
MESTRADO ACADÊMICO DE

**Rafael Rattes Lima Rocha de Aguiar**

BIOMIMÉTICA APLICADA AO METADESIGN: GERAÇÃO DE MÁQUINAS ABSTRATAS  
COM BASE NO ESTUDO DO MANDACARU.+

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESIGN E ERGONOMIA

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o(a) candidato(a) **Rafael Rattes Lima Rocha de Aguiar**

APROVADO.

Recife, 29 de outubro de 2015.

Prof. Leonardo Augusto Gomez Castillo (UFPE)

Prof. Ney Brito Dantas(UFPE)

Prof. Amilton José Vieira de Arruda (UFPE)

Profª. Emilia Cristina Pereira de Arruda (UFPE)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à inteligência suprema, causa primeira de todas coisas, pela criação e ensinamentos que nos dá a cada dia. Aos agentes da natureza, cujo trabalho impecável é reflexo do maestro que conduz essa orquestra.

Aos meus pais, Cristiano e Maria das Graças, que me permitiram vir junto a eles e o tanto me demonstraram pelo caminho do amor a felicidade da vida. Aos meus irmãos, Saninho e Carol, que pelo exemplo tenho tanta admiração. À minha mulher, Gabriela, pela companhia dedicada e fortificante, pelo suporte que sempre me dá, fruto da pureza do sentimento que nos une. E aos meus familiares, que sempre me deram total apoio e força.

Agradeço especialmente ao professor Leonardo Castillo, pela paciência, compreensão, e principalmente, pelo discernimento dado a mim nos momentos necessários.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo e compartilharam desta jornada, em especial: Rodrigo, Zaca, Nelson, André Rangel, André Vieira, entre tantos outros, por estarem ativamente envolvidos com esta fase da minha vida.

Aos professores e alunos da UFPE-CAA, pelo carinho e apoio constante.

Agradeço especialmente à professora Emília Arruda, coordenadora do LAVeg – Laboratório de Anatomia Vegetal do departamento de Botânica da UFPE, pela simpatia e por me amparar nos momentos necessários de conhecimento.

Agradeço especialmente à Paulo Carvalho, arquiteto fundador do BI/OS, pelas conversas, pelo carinho e coração aberto em me amparar no desenvolvimento do script da Máquina Abstrata.

Aos professores Ney Dantas e Amilton Arruda pela atenção e ensinamentos dados no decorrer do mestrado.

Por fim, agradeço ao Mandacaru por me ensinar tanto sobre determinados valores da vida.

Muito obrigado!

% arte é a ideia da obra, a ideia que existe sem  
matéria.+

Aristóteles, filósofo grego (384-322 a.C.)

## RESUMO

A complexidade presente na natureza é incontestável, e cada vez mais designers buscam compreendê-la no intuito de suprir suas necessidades formando o mundo artificial, como se observa na Biomimética. Com isto, observa-se que o Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) apresenta um vasto potencial em parâmetros para design, como por exemplo o tecido parênquimático, abordado como estudo de caso desta pesquisa. No contexto das abordagens e processos, assim como, da atuação na complexidade há o Metadesign, que surge como suporte instrumental e ferramental. Logo, esta pesquisa propõe o desenvolvimento de meta-artefatos a partir da relação Biomimética e Metadesign, por meio da geração de máquinas abstratas como estratégia de processo. Desta forma, foi possível atuar em níveis de abstração diferentes, ao ter obtido uma série de máquinas abstratas a partir de workshops realizados, assim como, trabalhar no espaço de possibilidades no contexto do Design Paramétrico e obter sua concretude através de impressão 3D.

Palavras-chave: Biomimética.Metadesign.Máquina Abstrata.Design Paramétrico.

## **ABSTRACT**

The complexity present in nature is undeniable, and more and more designers seek to understand it in order to meet their needs forming the artificial world, as seen in Biomimetics. Thus, Mandacaru (*Cereus jamacaru DC.*) presents a wide potential in parameters for design, such as parenchyma tissue, which is addressed as a case study of this research. In the context of the approaches and processes, as well as of the performance in complexity there is the Metadesign, which appears as an instrumental and tool support. Therefore, this research proposes the development of meta-artefacts from the Biomimetics and Metadesign relationship, through the generation of abstract machines as a process strategy. In this way, it was possible to act at different levels of abstraction, having obtained a series of abstract machines from workshops held, as well as working in the space of possibilities in the context of Parametric Design and obtain their concreteness through 3D printing.

Keywords: Biomimetics.Metadesign. Abstract Machine. Parametric Design.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases da Pesquisa	19
Figura 2– Diagrama Elementos Essenciais	29
Figura3 – Diagrama dos Princípios da Vida	29
Figura 4– Diagrama dos Princípios da Vida detalhado	30
Figura 5– Diagrama Biomimicry Thinking - Biologia para o Design (à esq.) e Desafio para Biologia (à dir.)	33
Figura6 – <i>Cereus jamacaru DC.</i> em seu habitat (à esquerda). Detalhe de ramos novos com frutos e flores (à direita).	34
Figura 7 – Distribuição geográfica de <i>Cereus jamacaru DC.</i> em território brasileiro	35
Figura8 – 1 - Folha de <i>Pleurothalis rupestris</i> (Orchidaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ) cujas paredes celulares contêm barras de espessamento lignificadas (BE); 2 - Folha de <i>Syngonantus rufipes</i> (Eriocaulaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ).	39
Figura 9– 1-3. Corte transversal de <i>Cereus jamacaru DC.</i> ; 1 – Detalhe do Parênquima Clorofiliano; PA - Parênquima Aquífero; PC - Parênquima Clorofiliano; Fv – Feixe vascular; HPC – Hipoderme Colenquimática; Ep - Epiderme. Barra = 200 $\mu\text{m}$ (1,2); 20 $\mu\text{m}$ (3).	40
Figura 10 – Encapsulamentos de dispositivos em escala gradual, gerando caixas-pretas	53
Figura11 – Exemplo da interface dos componentes no grasshopper	54
Figura 12 – À esquerda, um Modelo de uma estratégia de um sólido no Grasshopper	54
Figura 13 – Variações da Máquina Abstrata de um meta-sólido	56
Figura 14 – Modelo de atuação em projetos de design gerador de máquinas abstratas	59
Figura 15 – Biomimicry Thinking - FASE INVESTIGAÇÃO	61
Figura16 – Atributos da Fase Investigação	62
Figura17 – Biomimicry Thinking - FASE 2 – Gerar	64
Figura 18– Atributos da Fase Geração	66
Figura 19– Biomimicry Thinking - FASE 3 – Propor	67
Figura 20 – Atributos da Fase Ambiente de Possibilidades	68
Figura 21 – Estratégia de Superfície Hidrofílica	75
Figura 22 – Definição de parâmetro para cada hexágono da superfície – Horizontais convexo e Verticais côncavo	75

Figura 23 – Possibilidade de aplicação da estratégia - Parada de ônibus	76
Figura 24 – Representação visual da diretriz Estrutural	78
Figura 25 – Resultado da manipulação de parâmetros da diretriz estrutural	79
Figura 26 – Detalhe da calha na estrutura	79
Figura 27 – Estrutura orgânica associada ao parênquima do Mandacaru	80
Figura 28 – Células com película de acordo com a estratégia	81
Figura 29 – Estrutura da malha interna	81
Figura 30 – Render Final - Estratégia inserida no contexto #01	83
Figura 31 – Render Final - Estratégia inserida no contexto - #02	84
Figura 32 – Render Final - Estratégia inserida no contexto - #03	84
Figura 33 – Resultado impressão 3D - Modelo reduzido. A – Visada frontal; B – Visada posterior esquerda; C – Visada Posterior Direita.	85

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Princípios e Parâmetros do parênquima	65
Tabela 2. Máquina Abstrata a partir da Biomimética	69
Tabela 3. Estratégias, diretrizes e suas relações com Biomimética	71
Tabela 4. Workshop II - Estratégias como resultado, diretrizes e suas relações com a Biomimética	74

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
----------	-------------------	-----------

### PARTE 1 | Referencial Teórico

<b>2</b>	<b>BIOMIMÉTICA</b>	<b>23</b>
2.1	Background Histórico	23
2.2	Biônica	24
2.3	Biomimética	25
2.3.1	Biomimicry DesignLens	28
2.4	<i>Cereus jamacaru DC.</i>	34
2.4.1	Estrutura Especializada . Parênquima	36
<b>3</b>	<b>COMPLEXIDADE, METADESIGN E A NATUREZA</b>	<b>42</b>
3.1	Aspectos Gerais [metadesign]	42
3.2	Metadesign e a Natureza	46
3.3	Metadesign e Design Paramétrico	50
3.3.1	Ferramental e Grasshopper	52

### PARTE 2 | Procedimentos e Análises

<b>4</b>	<b>ESTUDO DECASO</b>	<b>59</b>
4.1	Fase Investigação	60
4.2	Fase Geração	63
4.3	Fase Ambiente de Possibilidades	66
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b>	<b>69</b>
5.1	Workshop Piloto	70

## **Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | **Rafael Rattes L. R. de Aguiar**

5.2	Workshop Final	73
5.3	Máquina Abstrata no Ambiente de Possibilidades	77
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>95</b>
	Apêndice A	96
	Apêndice B	97
	Apêndice C	98

## 1 INTRODUÇÃO

No panorama histórico do Design no mundo, observa-se uma imensa atividade voltada para o aprimoramento da atuação do designer sobre a artificialidade. Inúmeras abordagens e teorias foram criadas e sustentadas até os dias de hoje, cada qual tendo, inquestionavelmente, o seu devido valor. No entanto, todo este cabedal de conhecimento passou pelo tempo sofrendo influências de diversas outras áreas, alcançando maiores suportes para sua atuação, considerando de diversas maneiras pontos difusos no modo de atuar. Assim, observa-se o que antes se dava de maneira empírica, hoje é visto com a junção da Biologia e Projeto, estritamente associada ao campo do Design, através da **Biomimética** (BENYUS, 2003). Como também, observa-se as teorias da complexidade estando presente nos diversos setores do conhecimento e, portanto, na área da Cultura Material não é diferente, criando oportunidade para novas formas de presenciar a realidade e atuar sobre este mundo complexo, tal como é visto pelo **Metadesign** (VASSÃO, 2010).

Quando se observa a inspiração na natureza como um meio viável ao projeto, entende-se desde sua origem a Natureza 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 na natureza para as necessidades dos homens, por meio das “estratégias evolucionais, as construções e os processos.” (BLÜCHEL, 2009, p.157; RAMOS & SELL, 1994).

Portanto, verifica-se a ciência Biônica, nascendo no fim da década de 1950, que vem se desenvolvendo ao longo do tempo e trata-se de uma atividade multidisciplinar com capacidade para aplicação em diversos campos de atuação, conforme a necessidade e complexidade para o que se destina. Ao que toca suas aplicações, a natureza através de seus organismos vivos, expõe propriedades que se tornam guias de modelos para a ação da Biônica (ROSENDHAL, 2011). De outra forma, aponta-se para um termo já citado, de grande consideração nesta pesquisa e similar ao supracitado em conceito, advindo da década de 70 e retomado pela autora Janine Benyus no ano de 1997, a Biomimética (*Biomimicry* em inglês). Atualmente tem uma abrangência maior, talvez por considerar sua atuação nos pontos de complexidade, e principalmente, sustentabilidade. Já que a Biônica acabou sendo atribuída a outras formas de atividades, ligadas principalmente a inovação

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

tecnológica, se permitindo minguar em diálogos com o discurso da sustentabilidade, por exemplo (WAHL, 2006).

Formas de abordagens e processos estão inseridas nestas duas áreas, porém, percebe-se que ambas têm pontos comuns, quando então, é posto um diálogo entre elas surgem interessantes meios de atuação com possibilidades de resultados inseridos na complexidade, eficientes e passíveis a concretude na realidade do mundo artificial.

Sendo assim, nota-se que se trata de um contexto palpável, porém, se faz necessário tomar o controle do agenciamento da realidade como procedimental, enquanto se atua sobre os níveis de realidade que os artefatos ocupam. Ao considerar a natureza sendo complexa, assim como, seu trabalho, quando busca agenciar suas diversas espécies espalhadas sobre o mundo, os quais podem ser considerados como designs da natureza (SODDU, 1989). Eis então um desafio que existe para os designers e profissionais da área de projeto: Como atuar na complexidade através da inspiração na natureza?

Neste íterim é visto que o ferramental presente nas formas de abordagens apresentam um longo distanciamento entre si, podendo ser considerados como dois pontos de atuação dentro do mesmo cenário. Logo, esta pesquisa considera que tanto a Biomimética quanto o Metadesign, podem trabalhar mutuamente, permitindo ao mesmo tempo a compreensão da complexidade na natureza e tornando-a perceptível conforme o nível de abstração preconizado por quem a observa, da mesma forma que o Metadesign oferece um campo teórico e procedimental que fundamenta a atuação do designer no mesmo contexto da inspiração na natureza. A isto, são promovidas relações de atuação na complexidade, tomando como ponto de partida as estratégias presentes na natureza, transformadas em linguagem de projeto, atuantes em espaços de possibilidades no campo do design. Torna-se, portanto, um refúgio para os atores atuantes neste panorama, que entendemos ser, originalmente, como metadesigners.

Para esta pesquisa, o refúgio de apoio são as lições que a natureza apresenta, mais especificamente o modo que o parênquima está vinculado a forma de lidar com o déficit hídrico e contribui na sobrevivência do Mandacaru, que neste caso em particular, trata-se de uma espécie endêmica do bioma Caatinga, denominada de *Cereus jamacaru* DC. (RATTES, 2013). Diferente de outras espécies endêmicas e similares, esta consegue superar a força gravitacional atingindo até 10m de altura, com mecanismos de defesa surpreendente e é uma das espécies mais icônicas do semiárido brasileiro, entre tantas outras características positivas.

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Trata-se de um exemplo de solucionador de problemas, devido à Natureza se adaptar ao longo da formação do globo terrestre, restando apenas os mais aptos e evoluídos - teoria darwiniana (DARWIN, 2011). Tais soluções são: adaptação ao déficit hídrico, suporte mecânico estrutural, morfologia adaptada ao meio, cladódio como principal elemento principal, etc., ao qual o Homem não se adaptou tão bem e conseguiu atingir o mesmo patamar de associações entre função e natureza. Como ele faz isto? Que mecanismos ele utiliza para armazenar o máximo de água possível num ambiente com baixa pluviosidade e elevados níveis de estresse hídrico (escassez de água)? Será que podemos aprender estas lições com ele? Acreditamos que sim!

No entanto, ao tratar de projeção não é possível mais negar que sua atuação se encontra completamente inserida no contexto da complexidade. Sendo assim, deve-se compreender o projeto dentro da complexidade tomando por bases áreas do conhecimento, tradicionais em seus métodos, estritamente conectadas à Cultura de Projeto e elevando-as a níveis maiores em exploração do conhecimento, identificando a complexidade em suas variadas manifestações, sem obter seu domínio total – características emergentes – mas podendo adequá-las as linhas de projetos, tomando como partido um raciocínio multilateral, ferramental e móvel. E mais, conhecer a complexidade permite o design ser uma potência política e engajada, através de éticas de colaboração e produção, fortalecendo a cultura e as sociedades, estando diluído por todo o meio social (VASSÃO, 2010). Como se vê, é uma abordagem relevante e muito vigente nas discussões atuais dentro de áreas como Arquitetura, Urbanismo, Computação, Filosofia e Design, entre tantas outras. Portanto, tocante a esta pesquisa, como se pode criar um sistema hidrofílico baseado em estruturas especializadas do *Cereus jamacaru* DC.?

Logo, a inspiração na natureza fomentando o design de artefatos inseridos na complexidade, permitindo uma abordagem de design através do que Vassão (2010) denomina de Máquina Abstrata, em que o projeto toma passagens entre níveis de abstração como representações e alude à realidade da mesma forma, com possibilidades de concretude é a proposta desta pesquisa. O que seria uma estratégia de projeto, mantendo-o num âmbito representativo (abstrato), passível a mudanças de acordo com as necessidades em níveis menores, ou se for necessário, considerá-lo em níveis maiores, a depender da complexidade. Permitindo que a entidade complexa seja existente por si só, pela característica ontológica de determinar em certos níveis do que se trata tal sistema complexo. Assimé considerado o propósito do Metadesign nesta pesquisa, e que neste contexto é dado como uma

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

estratégia auxiliar ao design, para abarcar todas as possibilidades, de maneira que se adéque às mais variadas conotações existentes num projeto.

São essas estratégias e diretrizes que podem prover soluções adequadas ao problema da pesquisa. E para torna-las viáveis e entendíveis, ou até mesmo literalmente palpáveis, se obtém o auxílio de ferramentas através da utilização de tecnologias de controle numérico CAD/CAM (*Computer Aided Design / Computer Aided Manufacture*) que permitem manter a informação do início ao fim num processo de design, no entanto neste contexto, utiliza-se essas tecnologias como um meio para a produção de artefatos, e não somente como uma ferramenta de representação. Portanto, passa-se a ser uma ferramenta de geração da forma através do design generativo, ou paramétrico (KOLAREVIC, 2003).

Sendo assim, esta geração de formas e estruturas por meio de parâmetros (Design Paramétrico), facilitam e aceleram o processo de criação, pois permitem a transposição da geometria da natureza ao ambiente computacional (CAD), auxiliando na realização de analogias entre o sistema natural e o design. Além de se adequarem com fidelidade ao contexto de complexidade, pelo fato de conceber formas complexas (sistema natural) e a capacidade de ser ajustável por parâmetros, conforme a necessidade ou condições emergentes (mundo complexo), viabilizando o uso da abordagem estratégica das máquinas abstratas.

Atualmente, dentre alguns softwares a ser utilizado para modelagem paramétrica, o *Rhinoceros* desenvolvido pela *Robert McNeel & Associates* juntamente com o *plug-in* intitulado *Grasshopper*, desenvolvido pela mesma empresa do software, permitem em conjunto a execução da modelagem 3D e do uso de parâmetros matemáticos (algoritmos generativos), providenciando a geração e alternativas de formas.

É desta forma que estapesquisa se propõe, e é através do entendimento por vias de revisão bibliográfica e análise do tecido parenquimático do *Cereus jamacaru* DC., ou popularmente conhecido como Mandacaru, sob o caráter de estudo de caso, de acordo a pesquisa de Rattes (2013), revisada neste trabalho, visando identificar quais os princípios que o permitem armazenar água, de modo que possa responder a características que envolvem a Biomimética tornando-os viáveis à formatação de parâmetros com foco em estratégias de design – considera-se Máquinas Abstratas – de meta-artefatos hidrofílicos, como uma maneira de identificar soluções que se adéquem aos problemas relacionados, principalmente, às populações que habitam as regiões do semiárido, haja vista que a espécie natural em estudo já o fez.

## **OBJETIVOS DA PESQUISA E OBJETO DE ESTUDO**

### **OBJETIVO GERAL**

Propor o desenvolvimento de meta-artefatos em design a partir da Biomimética utilizando o Metadesign como procedimental

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Entender os princípios da Biomimética aplicada ao design
- Compreender as Máquinas Abstratas através do Metadesign e sua relação com a Biomimética
- Aplicar estudo de caso: Gerar máquinas abstratas com foco em estratégias de meta-artefatos hidrofílicos a partir do mandacaru.

### **OBJETO DE ESTUDO**

Nesta pesquisa compreende-se que o Mandacaru, por meio do tecido parenquimático, fundamenta a criação de Máquinas Abstratas, sendo estas o objeto de estudo da pesquisa.

## **METODOLOGIA EMPREGADA**

Neste trabalho, serão estabelecidas etapas a serem concluídas em constante diálogo com a abordagem de design: *DesignLensBiomimicry*, elaborado pelo *BiomimicryInstitute 3.8*, fundado pela autora e pesquisadora Janine Benyus.

Para o entendimento da execução desta pesquisa, optou-se por apresentá-la em tópicos distintos, no entanto, salienta-se que isto é meramente didático e que as etapas são interdependentes, não podendo, então, serem trabalhadas isoladamente.

Sendo assim, esta pesquisa apresenta três grandes fases (Figura 1):

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Figura 1– Fases da Pesquisa



Fonte: Autor

Estas fases estão associadas aos objetivos específicos permitindo nortear a realização da pesquisa.

Cada fase apresenta sua peculiaridade referente ao propósito dos objetivos específicos, portanto, para uma melhor compreensão dos procedimentos a serem realizados no transcorrer da pesquisa, aponta-se a seguir uma breve apresentação das fases deste trabalho. Compreende-se que fica a critério do projetista em terminar o projeto ao atingir o terceiro passo, dessa forma é visto que ele pode tomar um caráter cíclico, permitindo-o a cada vez que se trabalha suas fases, entrar em uma nova fase de maturação, e conseqüentemente, um novo nível de abstração.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Constituindo o intuito de obter bases teóricas e compreensão do estado da arte dos temas presentes na dissertação, como Biônica e Biomimética, Metadesign com foco em utilização de Máquinas Abstratas em projetos, além da identificação e compreensão, por meio da fisiologia e anatomia vegetal do parênquima presente no *Cereus jamacaru* DC., utiliza-se a pesquisa bibliográfica especializada e em publicações científicas – anais, periódicos, dissertações, etc., para constituir a primeira parte do trabalho, localizado nos dois primeiros capítulos.

## FASE 1 É ENTENDER

Além das pesquisas citadas anteriormente, foram necessárias entrevistas com especialistas em cactáceas e coleta de amostra da espécie em campo (habitat natural – semiárido) para verificação em anatomia vegetal, através de método específico, possibilitando a confirmação dos dados obtidos

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

até então. É importante observar que esta pesquisa recebe o apoio do LAVeg – Laboratório de Anatomia Vegetal.

Ressalta-se que parte deste procedimento já fora realizado e incorporado na presente pesquisa, pelo fato de já possuir resultados em microscopia óptica (tecido parenquimático), provenientes de trabalho anterior (RATTES, 2013).

De acordo com a abordagem do *BiomimicryDesignLens*, o *BiomimicryThinking*, esta pesquisa está enquadrada na categoria **Biologia para o Design**, quando a partir de um princípio natural, visualiza-se uma aplicação de um ou mais conceitos em projetos.

Para esta primeira fase da pesquisa aponta-se a compreensão de que ao descobrir os modelos naturais, neste caso o mandacaru como solucionador em armazenamento de água, identifica-se seus caracteres utilizados para tal função, permitindo ser definido o contexto da espécie para a pesquisa.

Após estes passos, inicia-se a fase que cria um estreitamento maior entre as relações com a atividade de projeto.

## **FASE 2 Ë GERAR**

Seguido do processo de imersão nas características próprias a fisiologia e anatomia vegetal, compreendendo as relações das estruturas analisadas da espécie com o armazenamento de água, inicia-se o processo de aplicação destes dados em parâmetros para geração de ideias, através da execução de dois workshops com alunos do curso de Design da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste – Caruaru-PE.

Quanto a abordagem, esta fase se inicia pelas abstrações dadas as estratégias presentes no sistema natural, compreensão e adequação dos Princípios da Vida ao processo, geração de ideias com base em técnicas criativas e no conhecimento prévio dado até então. Assim, consolidam-se estratégias ideias e estratégias de artefatos hidrofílicos, permitindo a formatação de máquinas abstratas, passíveis, principalmente, a modelagem paramétrica pelo plugin *Grasshopper* do software *Rhinocerus*.

## **FASE 3 Ë PROPOR**

Com os resultados da fase precedente em mãos, encaminha-se a pesquisa para sua última fase, que serão propostos modelos em simulação, buscando dar maior ênfase a modelagens paramétricas, de maneira que valide a pesquisa.

Sendo assim, finalizando a abordagem, nesta fase a pesquisa parte para o próximo ponto em que a partir da execução das máquinas abstratas é possível emular o sistema natural e suas diretrizes

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | **Rafael Rattes L. R. de Aguiar**

em potencial, adequando-as ao tipo de uso e tecnologia, e verificar as possibilidades mais viáveis como solução a ser proposta. Desta maneira, propõe-se a execução de uma estratégia realizada no workshop final, promovendo sua adequação a impressão 3D, em escala reduzida, para análises e comprovação da eficácia da abordagem da pesquisa. Por fim, surge a necessidade da verificação do resultado com as declarações iniciais do problema e aferirse estes resultados são positivos, levando em consideração os critérios da natureza.

PARTE I  
**REFERENCIAL TÉORICO**

## 2 BIOMIMÉTICA

A natureza é fruto de investigação ao longo da história do homem. O mundo artificial, em muitas de suas peculiaridades é resultado disto, e atualmente cada vez mais vem se proliferando nichos de atuação através desta relação natureza e homem. Concernente a esta pesquisa, pode-se dizer que esta relação é natureza e projeto.

Neste capítulo serão abordados conceitos que vieram se constituir por ciência no decorrer da história, salientando a busca de inspiração na natureza para a execução de artefatos. Os principais termos vistos na atualidade, dentre uma larga variedade, são: Biônica (*Bionics*) e Biomimética (*Biomimicry*). Nesta pesquisa, considera-se que estes termos têm conceitos bastante similares, porém, Biomimética, tem relevância neste trabalho pelo diálogo aproximado ao contexto da pesquisa, e por isso mesmo, ressalta-se a importância de sua abordagem no campo do design (QUEIROZ, RATTES & BARBOSA, 2015).

### 2.1 BACKGROUND HISTÓRICO

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, por exemplo, e a capacidade de assimilá-las, permitiu que atingissem um patamar de aspecto científico.

Assim, se sabe que os egípcios, gregos 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. Verifica-se em alguns trabalhos deste gênio, a aplicação da proporção áurea em suas obras, como por exemplo em uma das mais famosas: La Gioconda (Monalisa). Mais ainda, além dos padrões geométricos, percebe-se a inspiração na Natureza como subsídio para projetos nos seus estudos sobre os voos dos pássaros, gerando um conceito de uma tecnologia que permitisse um ser humano voar, denominado de Ornitóptero. É certo que Leonardo da Vinci foi um grande inovador, no entanto, muitos outros homens seguiram passos semelhantes até os dias atuais.

São muitos os exemplos históricos notáveis de inspiração na natureza no decorrer da história. Por exemplo, o Palácio de Cristal, sede da Grande Exposição de Londres, em 1851, projetado pelo

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

arquiteto inglês Joseph Paxton (1803 – 1865), baseando-se nas estruturas da parte inferior da folha da vitória-régia (RAMOS & SELL, 1994; LIMA & ANDRADE, 2002). Ou mesmo o concreto armado (1880), patetando pelo seu criador Joseph Monier, arquiteto e paisagista, ao observar as nervuras das folhas dos jardins. Há também, a patente de um distribuidor de partículas, elaborado por Raul H. Francé em 1920, inspirado na cápsula de sementes da papoula (família Papaveraceae), também utilizado como saleiro ou pimenteiro (ROSENDHAL, 2011). A inspiração na natureza também aparece no movimento artístico, tocante ao design e instaurado em países da Europa, o Art Nouveau, por volta de 1890 e 1914 (SCHNEIDER, 2010).

A partir da década de 1950, aparecem nos documentos científicos vários termos sobre associações de atividades humanas frente à natureza. A seguir, tratamos de três termos que são utilizados frequentemente, abordando suas origens: *Biomimetics*, *Bionics* e *Biomimicry*.

O termo *Biomimetics*, do grego *bios*(vida) e *mimesis* (imitação), foi usado pela primeira vez pelo engenheiro biomédico Otto H. Schmitt na década de 1950, objetivando criar uma distinção da Biofísica. O termo se estabeleceu fortemente nas áreas biomédicas, tendo como conceito o estudo, e imitação dos processos, métodos e mecanismos da Natureza “com o objetivo de sintetizar produtos semelhantes através de mecanismos artificiais que imitam os naturais” (BUSHAN, 2009).

Observa-se, portanto, que a inspiração na natureza, promove discussões inovadoras e sua abrangência é recorrente em vários segmentos envolvidos no ato do projeto. Muitos pesquisadores no século XX, passaram a ver a natureza como uma grande solucionadora de problemas. Sendo uma valiosa inspiração para melhorar o desempenho de uma diversidade de artefatos criados pelo homem. É dentro deste contexto que a partir de 1958, a inspiração na natureza torna-se uma ciência, através do termo Biônica. No decorrer de algumas décadas, ao assimilar discussões contemporâneas, como sustentabilidade e complexidade no projeto, surgem outros termos como *Biolearning*, Bioinspiração e Biodesign. Sendo hoje o mais difundido, a Biomimética.

## 2.2 BIÔNICA

Em 1958 surge o termo Biônica – na língua inglesa, *Bionics*, e na alemã *Bioniks*. O major Jack EllwoodSteele responde por sua origem. Ele definiu Biônica por: “Ciência dos sistemas em que o funcionamento é baseado nos sistemas naturais, ou que apresentem características específicas dos sistemas naturais, ou ainda que sejam análogos a estes.”(ARRUDA, 1994, p.19; OLIVEIRA & LANDIM, 2011). Há relatos de que o major buscou criar um sistema de orientação, através das estruturas dos olhos das abelhas (OLIVEIRA & LANDIM, 2011). A oficialização da ciência Biônica ou atividade

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

formalizada se deu por meio de um simpósio, intitulado: *BionicsSymposium*. O evento reuniu profissionais de variados ramos científicos (ARRUDA, 1994; OLIVEIRA & LANDIM, 2011). Sendo assim, algo peculiar por demonstrar seu caráter multidisciplinar desde sua origem.

No campo de projeto, encontra-se na literatura referências à Biônica, entre autores reconhecidos, citamos: Werner Nachtigall, fomentador e criador dos dez princípios da Biônica; Victor Papanek em sua obra “Design for the Real World” (1971); e Bruno Munari com “Das coisas nascem coisas” (1981). Segundo Gruber (2013), com o tempo, o termo passou a ser associado a inovação tecnológica, apenas. A inspiração na natureza, através do termo, foi utilizada para melhorar o desempenho de diversos artefatos, inclusive para indústria bélica. Isso acendeu algumas críticas.

Atualmente, a Biônica é comumente associada a robótica e a substituição de órgãos e membros, ou partes deles, por versões tecnológicas (GRUBER, 2013). Porém, há vertentes da área de projeto que continuaram pesquisas utilizando o termo no conceito original. No cenário brasileiro, entre tantos, referencia-se o Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LdSM/UFRGS) pela notória publicação em P&D's. Verifica-se também, uma relevante atuação com as pesquisas e desenvolvimento do Laboratório Bidesign da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

O autor Daniel Wahl (2006) faz uma ressalva à atuação da Biônica, segundo o autor, a prática, embora trate da inspiração na natureza, ironicamente, passou a desencorajar propósitos ecológicos e sustentáveis. Muitas vezes, negligenciando questões como a complexidade da atuação sustentável, a ecologia, e questões sociais.

Salienta-se portanto, que existem autores, tais como Nachtigall, que trata a Biônica em diversos níveis de atuação, e com isto, permite localizá-la dentro de um quadro mais recente, quando se trata de projeto de design – aspectos sustentáveis, ecológicos, etc. No entanto, devido ao percurso que a Biônica tomou, de certa forma ofuscou sua essência, tornando-se algo “fora dos padrões” aos conceitos dados pelas teorias mais recentes, que tratam a natureza como ambiente de inspiração para projetos. Uma dessas teorias, e talvez sendo uma das mais reconhecidas atualmente, é a Biomimética.

### **2.3 BIOMIMÉTICA**

Anos após a aparição da Biônica no meio científico, na década de 1970 especificamente, surge um novo termo denominado Biomimética (em inglês *Biomimicry*). Criado pelo casal John Todd e Nancy Jack-Todd, a partir do grupo chamado *The New AlchemyInstitute*.

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Segundo o grupo, as necessidades humanas fundamentais poderiam encontrar soluções mais sustentáveis a partir do estudo da ecologia, biologia e da abordagem de sistemas bio-cibernéticos(WAHL, 2006). Ou seja, observa-se a intenção de compreender a natureza e realizar uma associação harmoniosa entre mundo artificial – idealizada pelos homens – e mundo natural.

Evidenciando a proposta da Biomimética em sua origem através do casal de pesquisadores, Wahl (2006) cita uma lista de preceitos de atuação do design – Preceitos do Design Biológico – como ponto central, sendo uma expressão da intencionalidade das interações e relacionamentos humanos. Inicialmente a tabela compunha por nove preceitos, sendo adicionado um décimo preceito anos depois, sendo eles (idem, p.293, tradução livre):

1. O mundo vivo é a matriz de todo projeto
2. Design deve seguir, não se opor as leis da vida
3. A equidade biológica determina o projeto
4. Design deve refletir a biorregionalidade
5. Projetos devem ser baseados em fontes de energia renováveis
6. Design deve ser sustentável através da integração dos sistemas vivos
7. Design deve ser co-evolucionário com o mundo natural
8. Construções e Design devem ajudar a curar o planeta
9. Design deve seguir a ecologia sagrada
10. Todo mundo é um designer!

Percebe-se uma visão de atuação holística, participativa, responsável, e conseqüentemente, observa-se a ética como peça fundamental, que acaba por caracterizar o seu aspecto sustentável. Logo, este discurso tem caráter atual, e se difundiu nas últimas décadas através do livro lançado em 1997 por Janine Benyus, intitulado “*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*”. Segundo a autora, a aplicação do termo está contextualizado a estudos na área de complexidade.

Para Benyus (2003), Biomimética vem do grego *bios*, vida, e *mimesis*, imitação, e tem como norte os seguintes preceitos:

1. **A natureza como modelo:** A biomimética é uma nova ciência que estuda os modelos da natureza e depois imita-os ou inspira-se neles ou em seus processos para resolver os problemas humanos.
2. **A natureza como medida:** A biomimética usa um padrão ecológico para ajuizar a “correção” das nossas inovações. Após 3,8 bilhões de anos de evolução, a natureza aprendeu: O que funciona. O que é apropriado. O que dura.

**3. A natureza como mentora:** A biomimética é uma nova forma de ver e valorizar a natureza. Ela inaugura uma era cujas bases assentam não naquilo que podemos extrair da natureza, mas no que podemos *aprender* com ela.

A solução de problemas inspirados nas obras-primas da natureza, copiando e usando como inspiração para processos solucionadores de problemas, é o que a autora considera por Biomimética, em outras palavras ela diz (BENYUS, 2003, p.10): “a imitação consciente da genialidade da vida. Inovação inspirada pela natureza”. Esta forma de atuação é considerada como uma revolução na sociedade que é habituada a dominar e “melhorar” a natureza. Para a autora, é a Revolução Biomimética, cuja base está assentada ao que se pode aprender com a natureza, e não extrair dela.

Sendo assim, Benyus (2003) cita que a forma de lidarmos com a vida, tais como, a forma de produzir alimentos, fabricar produtos, aproveitar energia, curar-se, armazenar informações e administrar negócios, quando feito conforme à natureza, resultará em mudanças nesses aspectos.

Em sua obra, a autora ressalta que é possível perceber no decorrer dela estratégias e princípios que a natureza apresenta, são uma série de leis, citadas (BENYUS, 2003, p. 15):

- A natureza é movida a energia solar
- A natureza usa apenas a energia de que precisa
- A natureza adapta a forma à função
- A natureza recicla tudo
- A natureza recompensa a cooperação
- A natureza confia na diversidade
- A natureza exige especialização geograficamente localizada
- A natureza inibe excessos em seu seio
- A natureza explora o poder dos próprios limites

Estas leis são apresentadas com um teor de poema para a autora, e reflete acerca dos biomimeticistas poderem perceber do que a natureza é capaz, obtendo inovações inspiradas nela, é como se houvessem “mãos estendidas para fora do abismo” (idem, p.15), porém, no sentido inverso, ao estendermos as nossas mãos à natureza, ocorre a dúvida em como usar estes modelos e processos. Por fim, ela ressalta uma preocupação pautada nas consequências que o ser humano pode conduzir o uso dessas inovações, sem o devido cuidado, atentando a vida. Neste pensamento a autora pondera: “Talvez, afinal, não seja uma transformação tecnológica que nos levará a um futuro de criações biomiméticas, mas uma mudança de sentimentos, uma humildade que nos permita ficar atentos às lições da natureza”. E ressalta que mesmo o ser humano sendo diferente e obteve um

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

período de sorte, para continuar na Terra, há de se importar que não somos os grandes sobreviventes, e muito menos, imunes à seleção natural.

Com este sentimento de pertencimento e altruísmo, existe também a visão evolucionista, em que a Biomimética aponta para os que estão em busca de aprender com a natureza por Biomimeticistas, e cada vez mais eles descobrem o que funciona na natureza, e entendendo o que dura. Após 3,8 bilhões de anos, a natureza evoluiu e desenvolveu o que vemos ao nosso redor, e portanto, são o resultado do segredo da sobrevivência, e desta forma, quanto mais buscarmos tornar o mundo parecido com a natureza, funcionando como ela, é considerado que haverá uma maior probabilidade de sermos aceitos na Terra, onde chamamos de lar, mas a autora nos alerta, não é somente nosso (BENYUS, 2003).

Sendo assim, deve-se considerar que não estamos aqui para enganar ou controlar a natureza pelo o que aprendemos **sobre** ela, mas buscar adaptação por definitivo à vida na Terra através do aprendizado **com** a natureza (BENYUS, 2003).

Assim é onde contexto do design se insere, trazendo o designer e todos os que permeiam a área de projeto como peças fundamentais, e portanto, para saber atuar sobre o mundo, conforme esta abordagem elucidada por Benyus (2003), faz-se uma observação sobre os fundamentos de abordagem com foco em Biomimética, o *BiomimicryDesignLens*.

#### 2.3.1 BiomimicryDesignLens

Sendo idealizado desde o ano de 1998 e aperfeiçoando-se até então, o *BiomimicryDesignLens* são os fundamentos de abordagem de design do *BiomimicryInstitute 3.8*, representados visualmente através de vários diagramas. Neles são explorados os principais componentes da abordagem: **Elementos Essenciais**, **Princípios da Vida** e **BiomimicryThinking**, cujo propósito é complementar a prática da biomimética e educação, facilitando a compreensão aprofundada de como a vida funciona, que por sua vez auxilia nos projetos do homem, através da inspiração na genialidade da natureza.

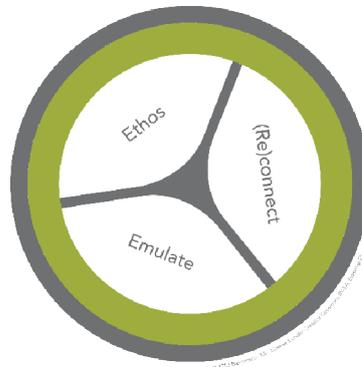
#### Elementos Essenciais

Para os projetos com foco em biomimética, o instituto ressalta que o projeto deve constar três elementos essenciais e interconectados – denominados de *Elementos Essenciais* (Figura 2):

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Figura 2– Diagrama Elementos Essenciais



Fonte: Biomimicry 3.8

- **Ethos** – está associado a representação do respeito, responsabilidade e gratidão da espécie humana pelo planeta.
- **(Re)conexão** – é incontestável que pessoas e natureza estão profundamente entrelaçados, portanto, com esta perspectiva gera-se uma reconexão do Homem com o meio natural.
- **Emulação** – representa as inspirações que a natureza provém ao homem e ao design, através de princípios, padrões, estratégias e funções. A emulação representa um sentimento que instiga a imitar ou a exceder outrem, de forma estimulante e cooperativa.

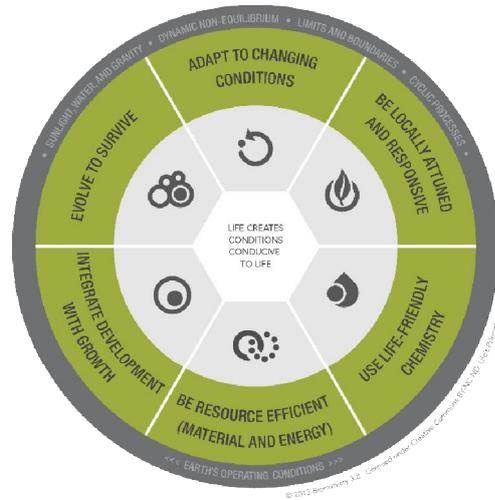
### Princípios da Vida

Como complemento da abordagem, surgem uma série de princípios intitulados por *Life'sPrinciples*, em tradução livre: **Princípios da Vida** (Figura 3). Segundo o instituto eles são as lições que a natureza apresenta em termos de design, conforme pode ser observado na imagem abaixo:

Figura 3– Diagrama dos Princípios da Vida

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

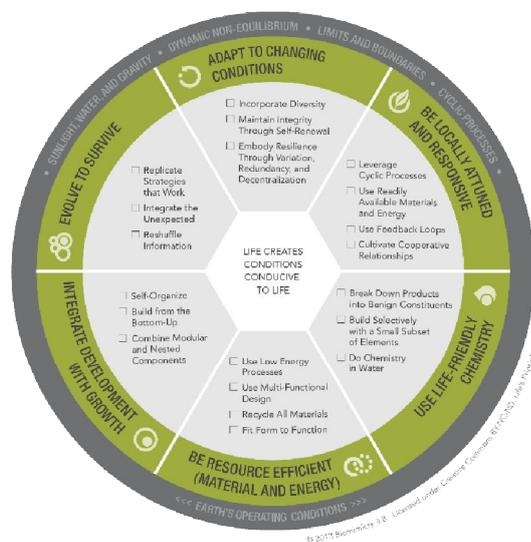


Fonte: Biomimicry 3.8

Considera-se que a natureza evoluiu a partir de um conjunto de estratégias há 3,8 bilhões de anos, logo, os princípios da vida são padrões gerais relativos a estas estratégias que se observa na vida. Fornecem, portanto, lições profundas em design que quando aprendidas favorecem a estratégias inovadoras, com parâmetros sustentáveis e nos permite utilizar a genialidade da natureza como ideais a serem conquistados (BIOMIMICRY 3.8, 2014). Sendo assim, seu conhecimento e aplicação em projetos em design permite uma adequação própria ao artefato artificial no meio natural, inter-relacionando o homem e a natureza.

Em profundidade, os **Princípios da Vida** desdobram-se em seis tipos, sendo eles apresentados conforme o diagrama (Figura 4):

Figura 4– Diagrama dos Princípios da Vida detalhado



**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Fonte: Biomimicry 3.8

Cada princípio pode ser entendido da seguinte maneira:

**EVOLVE TO SURVIVE**

**Evoluir para Sobreviver:** envolve estratégias de gerenciamento de informações. Listando: datar estratégias; identificar abordagens de sucesso anteriores; identificar erros; integrar soluções alternativas a um mesmo problema; e evoluir as abordagens criando novas opções de soluções.

**ADAPT TO CHANGING  
CONDITIONS**

**Adaptar-se as Condições de Mudanças:** incluir soluções que permitam resiliência, redundância e descentralização do sistema. Permitir a adição de energia e matéria, desde que voltado para reparar/sanar e melhorar o desempenho do sistema. Incorporar a diversidade que o rodeia (estudar processos, funções e formas para prover um melhor funcionamento).

**BE LOCALLY ATTUNED  
AND RESPONSIVE**

**Ser Atento e Responsivo a Questões Locais:** usar materiais de fácil acesso (local e energético); cultivar processos de cooperação mútua, onde todos ganham; tirar proveitos de fenômenos locais que se repetem (clima, ciclos, etc); incluir o fluxo de informações em processos cíclicos, nunca lineares.

**USE LIFE-FRIENDLY  
CHEMISTRY**

**Usar Química Amigável a Vida:** usar poucos elementos de uma forma elegante; usar química favorável a vida, ou seja, evitar produtos tóxicos; usar água como solvente.



### BE RESOURCE EFFICIENT (MATERIAL AND ENERGY)

**Ser Eficiente em Recursos (Materiais e Energia):** integrar múltiplas necessidades em soluções elegantes (evitar desperdício); minimizar o consumo energético; buscar fontes renováveis; gerenciar o uso de materiais em ciclo, ou seja, planejar o ciclo de vida. Segundo este preceito, a forma deve seguir o desempenho pretendido.



### INTEGRATE DEVELOPMENT WITH GROWTH

**Integrar Conhecimento e Crescimento:** combinar elementos modulares e sistemas que evoluem do simples para o complexo; compreender o funcionamento do todo e também dos pequenos componentes e sistemas que o compõe; ser capaz de construí-lo de baixo para cima; criar condições para que os componentes interajam de uma forma que o todo consiga ter propriedades de auto-organização.

## BiomimicryThinking

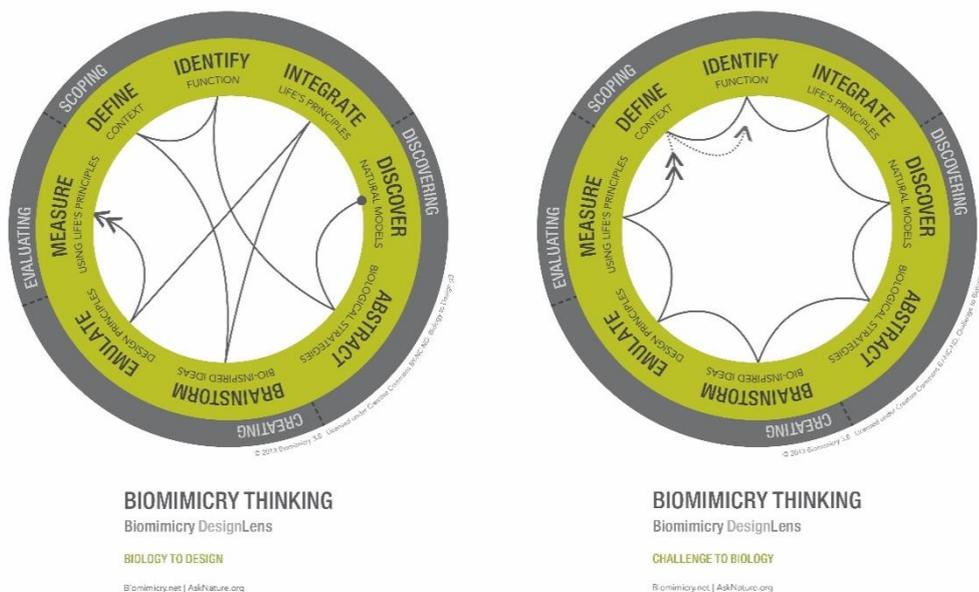
O último diagrama da abordagem é considerado como método ou ferramenta. Neste caso, existem duas formas de abordagens a depender de como será o início da pesquisa. A primeira abordagem é intitulada de **Biologia para o Design** (Figura 5 - esquerda), trata-se de um caminho aleatório, conforme a necessidade do projetista, quando o processo se configura a partir de uma inspiração biológica (por exemplo, quando é identificado algum princípio da vida) e visa realizá-lo através de um projeto. Aponta-se o uso deste diagrama para inventores, empreendedores e estudantes que não tem seu próprio processo de projeto, facilitando alcançar a inovação. A outra abordagem é denominada de **Desafio para Biologia** (Figura 5 - direita), segue o sentido horário com caminho específico e é considerada útil quando se obtém um problema específico e busca na natureza a inspiração para a solução.

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Ambos os casos apresentam caráter cíclico de abordagem, e considera-se que os melhores resultados surgem com o uso do diagrama múltiplas vezes.

Figura 5– DiagramaBiomimicryThinking - Biologia para o Design (à esq.) e Desafio para Biologia (à dir.)



Fonte: Biomimicry 3.8 (2014)

Observa-se nesta abordagem uma forma de atuação pertinente ao que é proposto nesta pesquisa. Nela, é possível identificar características pertinentes para a geração das máquinas abstratas, desde a sua filosofia contextualizando a posição do designer frente ao projeto, passando pelos princípios da vida como entidades fundamentais, chegando até a sua abordagem dada pela possibilidade de identificar na Biologia um pressuposto para projetos, tornando criterioso a adequação da inspiração na natureza ao campo do design. Portanto, compreende-se que a partir do *BiomimicryDesignLens* é possível obter dados relevantes a partir da análise do Mandacaru com foco nas máquinas abstratas.

Para isto, faz-se necessário compreender melhor a espécie, e principalmente, o parênquima, tratado como estudo de caso desta pesquisa.

## 2.4 CEREUS JAMACARU DC.

Quando se busca a inspiração na natureza, considera-se nesta pesquisa, o Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) como um exemplo pertinente ao seu propósito, pois é verificado que possui propriedades e estruturas especializadas tocantes ao gênero do problema deste trabalho. Logo, este item trata de apresentar um panorama acerca da espécie e do tecido parenquimático, possibilitando criar fundamentos para o desenvolvimento do trabalho.

No Brasil, segundo Barroso *et al.* (1978 *apud* ARRUDA *et al.*, 2005), há o registro quanto à família Cactaceae –mesma do *Cereus jamacaru* DC.,popularmente conhecido no Brasil como Mandacaru e pertencente à tribo Cereeae – de 32 gêneros com 160 espécies. Disto, sabe-se que 80 espécies de 18 desses gêneros, estão na região Nordeste (*idem*). De acordo com Zappiet *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 ; 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.

O *Cereus Jamacaru* DC. se trata de um cacto de hábito colunar, apresentando porte arbóreo com capacidade de alcançar até dez metros de altura. Possui tronco multi-ramificado, com artículos 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 – ver Figura 6 (LIMA, 1996; ROCHA & AGRA, 2002; RITO *et al.*, 2009).

Figura 6–*Cereus jamacaru* DC. em seu habitat (à esquerda). Detalhe de ramos novos com frutos e flores (à direita).

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar



Fonte: [exploradordosertao.blogspot.com](http://exploradordosertao.blogspot.com) | [casadopoetapg.com.br](http://casadopoetapg.com.br) | [ruralcentro.uol.com.br](http://ruralcentro.uol.com.br)

É uma espécie brasileira – endêmica – 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 Tayloret *al.* (2014) pode-se dizer que ela se encontra por todo o Nordeste, parte do Sudeste, especificamente no Estado de Minas Gerais, na região Norte, Estado de Tocantins e Centro-Oeste no Estado de Goiás (Figura 7).

Figura 7– Distribuição geográfica de *Cereus jamacaru* DC.em território brasileiro



Fonte: Adaptado de Taylor et al. (2014)

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.

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 costelas se distanciam ou se aproximam de acordo com a disponibilidade de água. Isto se dá pela presença do colênquimahipodérmico. Continuam os autores ao afirmar que a forma estrelada gerada pela disposição de suas colunas, ajudamna redução de intensidade 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 costelas. Estes espinhos e costelas 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, também, têm fundamental importância em evitar a herbivoria, ou seja, que os animais venham se alimentar do vegetal, provocando até certo ponto a sua morte.

Nota-se, portanto, que no decorrer do processo evolutivo, esta espécie se adequou de maneira primorosa no semiárido, e conseqüentemente, é observado a sua importância na vida das populações residentes nas áreas que são abrangidas pelas caatingas, como um modo de sustentação da vida. Em contrapartida, infelizmente ainda há um baixo grau de 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.

No contexto desta pesquisa, dentre todas as estruturas que favorecem o Mandacaru a gerar sua adaptação e, conseqüentemente, sua sobrevivência no clima semiárido, optou-se por se aprofundar no estudo do tecido parenquimático para desenvolvimento do que se propõe o trabalho, conforme será visto adiante.

#### **2.4.1 Estrutura Especializada É 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 “esparramado 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>1</sup> ou procâmbio<sup>2</sup> 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 poder 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).

Suas células apresentam 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 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 adjacentes aos elementos de transporte. Assim, quando encontrado no xilema ou no floema representa grande importância pela movimentação de água e elementos orgânicos no sistema vascular pelas partes vivas ou não-vivas da planta (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

---

<sup>1</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>2</sup> “A parte do meristema do qual se origina o câmbio e outros tecidos vasculares primários.” (Ibid.).

Segundo Apezatto-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006) devido aos diversas funções que este tecido apresenta, é comum categorizá-lo em três diferentes tipos: preenchimento ou fundamental, clorofiliano ou clorênquima e reserva. No presente trabalho serão abordados os que estão em consonância aos tipos de tecido encontrado no Mandacaru, de acordo com Rattes (2013).

#### *Parênquima de Preenchimento*

Também conhecido como PARÊNQUIMA FUNDAMENTAL. Com células de formas poliédricas, cilíndricas ou esféricas, contêm 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 principais ou medianas das folhas (APEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

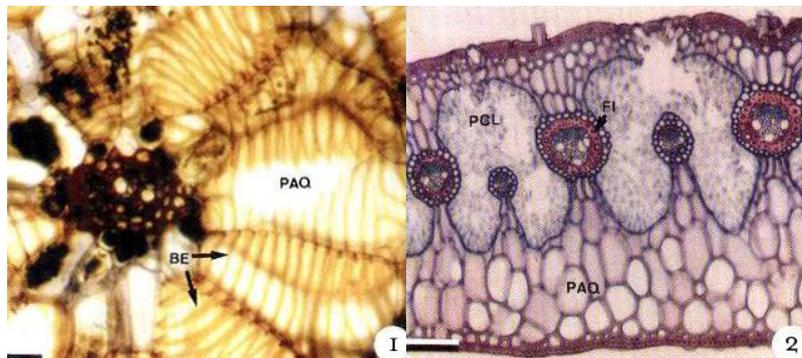
#### *Parênquima de Reserva*

Tem como função principal o acúmulo de substâncias do metabolismo primários dos vegetais. As reservas podem ser de soluções açucaradas, partículas sólidas ou líquidas. Distribuídas 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.

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | **Rafael Rattes L. R. de Aguiar***Parênquima Aquífero*

Segundo Apezatto-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2006), o Parênquima Aquífero (Figura 8) 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. Essas barras permitem uma proteção às camadas celulares quanto a um eventual colapso em decorrência do estresse de seca.

Figura 8– 1 - Folha de *Pleurothallis rupestris* (Orchidaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ) cujas paredes celulares contêm barras de espessamento lignificadas (BE); 2 - Folha de *Syngonanthus rufipes* (Eriocaulaceae) com Parênquima Aquífero (PAQ).



Fonte: Adaptado de Apezatto-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.

No mandacaru, o parênquima pode ser atribuído aos ramos da Biônica (ROSENDAHL, 2011): dos materiais, das estruturas e de processamento. Por ser considerado como tecido de preenchimento e fundamental, sua capacidade estrutural se torna evidente, formando uma relação com a característica de sustentação. Basicamente por se encontrar nas partes mais internas do corpo do vegetal, retém água e nutrientes para a planta sobreviver, onde tem a capacidade, nesse caso, de: armazenamento e elasticidade. 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 (armazenamento) ou seja por sua elasticidade pela diferença de estado de turgidez.

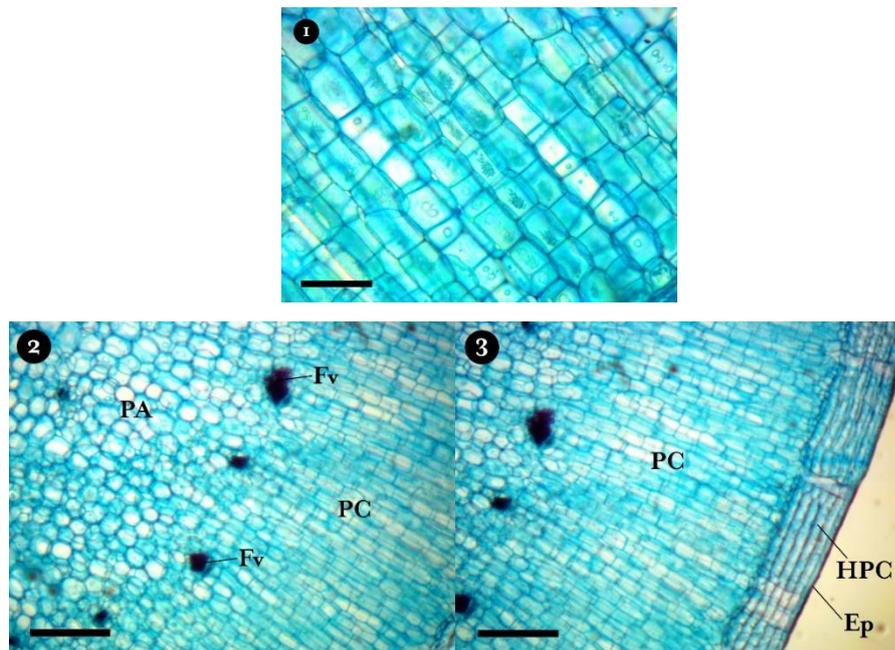
Conforme visto nas análises em laboratório realizado por Rattes (2013) e revisadas nesta pesquisa, o parênquima encontrado no mandacaru é classificado como parênquima armazenador. Pelas análises o parênquima aquífero se encontra na parte central do cladódio, e supõe que está em

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru [Rafael Rattes L. R. de Aguiar

contato direto com o xilema devido às funções deste último. Já o parênquima clorofiliano compõe o restante do corpo do vegetal a partir da região medular do cladódio até a camada espessa da epiderme, contendo amido e cloroplastos (fotossintetizante). A Figura 9 permite perceber melhor estas características.

Figura 9– 1-3. Corte transversal de *Cereus jamacaru* DC.; 1 . Detalhe do Parênquima Clorofiliano; PA - Parênquima Aquífero; PC - Parênquima Clorofiliano; Fv . Feixe vascular; HPC . Hipoderme Colenquimática; Ep - Epiderme. Barra = 200 µm (1,2); 20 µm (3).



Fonte: Autor

Além destas estruturas, sabe-se que existem outras que participam do processo da água no corpo do vegetal, como o xilema e as raízes. Porém, percebe-se que talvez haja outras estruturas que tenham relação ao fenômeno da água no corpo do vegetal, mas pela falta de informações através de pesquisas da própria espécie, ainda não é dado relatá-las, e conseqüentemente, aprofundar-se em suas características. Atenta-se para as estruturas dos tricomas e espinhos, localizados nas aréolas, servindo talvez de apoio para o movimento mecânico da água, advindo, por exemplo, da umidade do ar.

De posse dessas informações e das que poderão surgir, compreende-se que é possível desenvolver diretrizes e parâmetros para projetos com foco em design, gerando estratégias que possam auxiliar em campos projetuais tocantes a: armazenamento, resfriamento, estrutura, entre outros. Assim, se consegue visualizar as possibilidades de artefatos que possam se adequar ao clima

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | **Rafael Rattes L. R. de Aguiar**

semiárido, auxiliando nas questões relativas à escassez de água, favorecendo a qualidade de vida dos residentes desta região, impactando positivamente no seu desenvolvimento.

### 3 COMPLEXIDADE, METADESIGN E A NATUREZA

É inevitável conceber a complexidade existente na natureza. Observando o universo ou uma célula, encerra-se neles os mais variados tipos de sistemas, formas, padrões, estratégias, entre tantas outras infinitas características. Sua capacidade de prover diferenciações em suas estruturas, formando novos corpos animados ou inanimados, está atrelada a necessidade de criação de estratégias, que fundamentam sua sabedoria, conforme elucida Benyus (2003), ao compreender a natureza como mentora.

Seria o ser humano capaz de construir algo proveniente da complexidade existente na natureza? Muitos consideram a complexidade como algo irredutível, além da compreensão, um todo formado por numerosas partes mais simples, ou de outra forma, que não é algo simples. E assim sendo, há quem entenda a redução ou simplificação da complexidade algo fatal ou há quem a considere (VASSÃO, 2010). Neste último caso, é entendido por esta pesquisa, em que se encontram os designers, principalmente os que atuam em projetos biomiméticos. No entanto, os resultados são variáveis, a depender de quem e como os encontrem, e ainda mais, deve ser levado em conta o aspecto subjetivo desta ação, pois qualquer tentativa de compreensão e atuação do real e sobre o real (natureza), proveniente de um ato criativo, não pode ser considerado completamente objetivo, assim como, os resultados são temporários e limitados (VASSÃO, 2010).

Portanto, neste capítulo serão dados alguns conceitos de meios perceptivos com foco no cenário complexo, levando em consideração uma atuação estratégica, a partir das relações encontradas entre o **Metadesign** e a **Natureza**, num mundo complexo. Sob a ótica da inspiração na natureza, sabe-se que se trata de um tema bastante recorrente, principalmente na atualidade, porém, de acordo com nosso entendimento – limitado, diga-se de passagem – tais atuações podem se robustecer com reforços relevantes em suas formas de abordagens, que pode vir a dar um ganho em tempo e resultado, tendo cada vez mais a necessidade de sua abordagem e discussão com maior intensidade.

#### 3.1 ASPECTOS GERAIS [METADESIGN]

Ao retomar o questionamento feito acima, acerca da capacidade do ser humano, acredita-se que o Metadesign seja uma possibilidade de atuação sobre um mundo cada vez mais complexo, e que venha a dar suporte para as mais diversas atividades a serem exercidas. A palavra de ordem que se contempla como base estrutural dessa abordagem é: Estratégia. Através de ferramentas que possibilitam gerir estratégias adequadas e capazes de originar um montante de produtos com

variações adequadas as necessidades a que se dedicam – nesta pesquisa, considera-se o conceito de **Máquina Abstrata** como tal, conforme Vassão (2010) elucida e que será abordado mais adiante.

O termo Metadesign não é tão recente, sendo compreendido a partir da década de 1960, pela definição de Andries Von Onck, em que se tratava em ser o “processo de projeto do próprio processo de projeto” ou “projetar o projeto” (VASSÃO, 2008; VASSÃO, 2010, p.19; GIACCARDI, 2003, p.2). Logo após, na década de 1980, o termo foi atribuído ao uso de tecnologias da informação, e basicamente até o início do século XXI, Metadesign tem aparecido como uma questão teórica ou uma metodologia operacional, porém isto é um conceito isolado que não contribuiu com a produção em qualquer um destes campos de atuação (GIACCARDI, 2005). Na verdade, segundo a tese realizada pela autora, não existe uma única definição do que seja. No entanto, ela identifica que várias áreas profissionais apresentem o seu uso de alguma forma, tais como: Engenharia de Software, Design de Interfaces, Design da Informação, Design Industrial, *Sociotechnical Design*, *Biotechnological Design*, Arte e Telecomunicação, Estética Experimental e Arquitetura.

No que se trata do “projeto do processo de projeto”, Vassão (2008) faz compreender que não se trata de uma abordagem direcionada a produtos acabados, mas antes focada em projetar os processos. Desta maneira, não implica no demérito da concretização de um produto, ou até mesmo, que o Metadesign venha a se manter no nível de projetos de conceitos desmerecendo a realização. Portanto, refere-se ao trato do projeto de processo como uma criação/realização, da mesma forma que para um produto finalizado é efetivamente dado aos processos de projeto.

Logo, é compreendido que Metadesign é uma cultura de design que emerge do contexto das teorias do design atuais. Não se trata de uma disciplina estabelecida ou uma teoria coerente (GIACCARDI, 2003). Assim, complementa a autora:

É, antes, a expressão de preocupações e intenções que podem ser conduzidas de volta a um campo interligadas de significados e conceitos, compondo o tecido de uma cultura de design consistente, e como uma resposta tão original para as mudanças que ocorrem nas nossas condições materiais e existenciais. (GIACCARDI, 2003, p.69 – Tradução Livre).

Para Vassão (2010), essa ideia de reflexão dada pelo Metadesign está atrelada a etimologia do termo, com o prefixo “meta-“, que carrega em si a acepção de reflexão de autoconhecimento ou auto-observação, como se observa na Metafísica de Aristóteles. Designa-se como uma forma de compreender um campo por meio dele mesmo. Segundo Giaccardi (2003) o prefixo tem origem grega e pode ter até três significados de acordo com o dicionário *The RocciOldGreek* (1983), que são: “por trás/depois” (*behind/after*), “entre/entre” (*between/after*) e “junto/com” (*together/with*). Decorrente destes significados se chega a uma vasta coleção de abstrações, o que permitiu a origem de várias ideias e palavras no decorrer da história cultural. A autora cita que comumente pode-se encontrar o prefixo

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

“meta-“ em dois conjuntos de ideias e palavras. Na primeira, corrobora-se com a apresentada por Vassão (2010), porém acrescenta que também pode ser associado a algo que esteja numa posição ou nível superior. Na segunda, o valor dado está associado a ideia de mudança, transformação e alteração – por exemplo, Metamorfose ou Metabolismo. Neste pensamento Vassão (2010, p.19) define um sentido de Metadesign em se tratar de:

(...) um design de entidades que possam operar essa mobilidade e alterabilidade de conceitos: objetos do Metadesign seriam projetos que possam operar a transposição de princípios de projeto de contexto a outro, e que possam superar as diferenças entre casos específicos, em função de uma operação genérica que se aplique em muitos casos diferentes.

Neste contexto, o autor ainda cita mais dois tipos de atuações em projetos que são utilizados o termo Metadesign. Uma das atuações é proveniente do urbanista Varkki George, tendo a abordagem do Metadesign como uma forma abstrata de projeto, em que as entidades resultantes do processo não são concretas, mas sim abstratas. Como exemplo, o autor cria a analogia conforme sua especialidade de atuação, em que ao invés de focar nos edifícios ou ruas (concretos), ele foca nas regras de construção de edifícios e ruas (abstratos). Para Vassão (2010) pode-se ainda ampliar este raciocínio e pensar em entidades abstratas guiando a criação de outras entidades abstratas. Em outras palavras, entende-se por ser uma abordagem focada nas diretrizes fundamentadoras para um projeto com possibilidades a se encontrar em nível concreto – artefato.

Neste contexto, partindo da premissa do Metadesign ser uma estratégia, verifica-se a capacidade de localizar as entidades (ou estratégias) em níveis ou pontos de abstração superiores, conforme o sentido dado por Giaccardi (2003), onde automaticamente podem ser geradas hierarquias, no entanto, não são percebidas como determinantes, e sim correlatas.

A outra ideia dada por Vassão (2010, p.21) ao termo Metadesign, está associada a capacidade de “uma entidade projetar a si mesma”. Não está associada a ideia de uma entidade abstrata gerar uma outra entidade abstrata, mas criar uma entidade através dos parâmetros que estruturam a si mesma. Para Vassão (2008) isto é considerado como a possibilidade máxima do que possa ser o Metadesign e percebe-se algo similar dado por Soddu (1989 *apud* GIACCARDI, 2005) quando considera a possibilidade da criação de um elemento capaz de conter e gerar outro elemento. Com esta composição para um sentido do termo, Vassão (2010) se apoia em Maturana e Virilio, compreendendo que estas concepções estão associadas à Complexidade, e observa-se que a depender do resultado desejado, o Metadesign se torna um conhecimento **transdisciplinar**, tratando de diversos conceitos da biologia, política, emergência, tecnologia, etc.. Adiciona-se a este conceito, a capacidade do

Metadesign influenciar na transformação do ser humano e da cultura, pois se trata de uma investigação crítica e criativa (THACKER, 2002 *apud* GIACCARDI, 2005).

É salientado, tanto por Vassão (2010) quanto por Giaccardi (2005) que Metadesign não se trata de um método ou uma nova metodologia. É tratado como uma relação que gera, ou pode gerar, um diálogo entre um ou outros métodos, sem redução destes enquanto ação, aplicando isto nas áreas do conhecimento, projetos, etc., assim como, pode-se dizer que está associada como um desenvolvimento cultural no campo do projeto, viabilizado pelas tecnologias da informação, que geram um quadro de processo criativo no aspecto emergente e inventivo do mundo (VASSÃO, 2010; GIACCARDI, 2005).

Diante deste contexto, observa-se no discurso dos autores um caráter relevante quando se trata do usuário e as relações que existem no processo entre Metadesign e estes. Para Giaccardi (2005) os comportamentos, as situações, necessidades e tarefas realizadas pelos usuários não se caracterizam como algo rígido e absoluto, havendo a possibilidade de previsão ou antecipação quando em processo de design, pois normalmente são mal definidos e tem caráter efêmero. Para a autora, os usuários devem estar envolvidos no processo. Esta característica participativa é vista em diversas pesquisas acerca do tema. Para Vassão (2010), o Metadesign apresenta características de **Emergência**, que circundam o conceito dado por Giaccardi. A falta de previsão e domínio desta característica, pode vir acontecer com um objeto na complexidade e são bem relevantes em seu discurso.

Sendo assim, Metadesign apresenta pontos cruciais, vistos por Giaccardi (2005) após revisão de teorias e aplicações do mesmo, que para ela são: ao invés de focar em objetos fixos e conteúdos, debruça-se sobre concepção de estruturas e processos gerais; métodos e técnicas fluidas; ambientes de atuação que possam evoluir; por fim, necessidade de um ambiente de atuação passível a sistemas baseados em “processos que afetem e sejam afetados” mutuamente e abertamente. Estes aspectos dialogam com os pontos vistos por Vassão (2008, p.204), porém pode-se dizer que é feita uma leve crítica a autora, pois o campo de visão dela está atrelado à emergência das mídias digitais, deixando de mencionar a autoria de Van Onck na década de 1960, que tratava do Metadesign associado a “metodologia de design integrada a processos industriais e de gestão comercial”. Desta forma geraria uma abrangência maior no campo do projeto, aproximando áreas como arquitetura e design industrial. Na percepção de Vassão (2008), resumidamente, o Metadesign torna acessível conceitos de modularização, níveis de abstração, níveis de complexidade, formalização em si mesma e seus níveis, permitindo uma banalização dos processos; trata dos projetos de processos e não especificamente de produtos; fundamenta-se ao rigor informacional para projetar os processos dando caráter instrumental, tendo a possibilidade de considerá-las como “máquinas que convertem entidades formalizadas em um sistema em entidades formalizadas em outros sistemas” (Ibid., p.202).

Nesta pesquisa, em determinado nível de abstração e percepção da natureza, é entendido que ela apresenta tais características, principalmente no que tange ao conceito de máquinas, debruçadas sobre toda a gama de espécies existentes nos ecossistemas. Portanto, se fez necessário aludir a alguns pontos trazidos por Vassão (2010) quanto ao Metadesign e suas relações com a natureza.

### 3.2 METADESIGN E A NATUREZA

Se se observar atentamente, é possível dizer que a forma que a Natureza provém seus “designs” se assemelha com o Metadesign. Isto se dá pela forma de percebê-la num nível em que apresenta em seu amplo catálogo de produtos (sistemas naturais), nichos ou conjuntos de tipos de designs. Tomemos como exemplo as plantas. Ao compreender que num ambiente árido ou semiárido, como o é encontrado na região nordeste do Brasil, foi preciso a natureza gerar de alguma forma seus designs de plantas ou estratégias, e assim sendo, a grosso modo, pode-se dizer que uma das estratégias é criar espécies que se adequem ao clima e contribuam na ecologia. Porém, mediante a complexidade com qual ela trabalha, inúmeros tipos de produtos foram lançados atendendo a estratégia inicial, e cada qual, contém mais estratégias específicas em suas propriedades, num processo ininterrupto com um fim ainda não observável (visto o trabalho árduo da biologia), e desta forma, encontramos a diversidade entre as espécies, famílias, etc..

Podemos observar este fenômeno segundo Soddu (1989), como a produção da natureza e sua característica evolutiva, para ele é uma visão parcial, mas define que “o projeto ‘natural’ é na verdade o mesmo, e sua representação física é o DNA” (SODDU, 1989, p.60, Tradução Livre). Para o autor, identificamos as espécies, sem erros, ou seja, um gato será sempre um gato, porém, cada gato apresenta diferenças físicas de outro.

Para Vassão (2010), esta maneira de percepção é dada através de **camadas**, ou níveis, pois é uma forma de se compreender a complexidade quando esta é abordada no sentido em que o todo se compõe por coisas mais simples. Portanto, a ideia parte de sobreposições de camadas – das mais simples para as mais complexas – dando a possibilidade da compreensão, por exemplo, da complexidade da natureza. Assim, pode-se partir de um ponto inicial: os átomos, e o seu acúmulo geram as moléculas, que o conjunto destas geram as organelas, e assim sucessivamente, chegando a níveis de complexidade muito maiores, como os ecossistemas, por exemplo. Tais camadas são consideradas como abstrações em níveis (menores ou maiores), são interdependentes, que acabam influenciando umas às outras, qualquer que seja o nível (camada superior ou inferior) em que se encontre.

Quando se trata de **Abstração**, segundo Vassão (2010), entende-se por um conceito dado em que as entidades são percebidas através de escalas e o modo como operamos uma simplificação delas para obter um todo (sistemas), podendo colher consequências negativas por essa redução simbólica, muito comum nos meios produtivos atuais, como indústrias, mas que por outro lado, é algo inerente ao ser humano, por tratar das entidades existentes a partir de uma representação, que tem caráter subjetivo e está sujeita a variantes como contexto cultural, político, social, etc.. Tudo isto, se adéqua ao entendimento e percepção da complexidade a partir da simplicidade, ou de entidades menos complexas, e aos poucos ir adentrando cada vez mais no entendimento e compreensão do conjunto dessas entidades mais simples, ao que se encontra em camadas mais baixas, ou em sentido contrário, atingindo o ápice em que há o acúmulo dessas, ocorrendo a abstração de níveis e tendo a compreensão dentro de suas relações totais e parciais com a complexidade.

Assim, quando se busca compreender entidades de complexidade imensurável, tal como a natureza ou uma cidade, como é abordada por Vassão (2010), faz-se necessário mergulhar no conhecimento do maior número possível de seus componentes em níveis mais baixos, porém não ficar somente aí, mas também compreender níveis de maiores acúmulos e observar como um todo. O autor elucida que um aspecto interessante é que o universo tende a se organizar de uma maneira que em qualquer que seja a escala de complexidade em que se esteja, haverá “entidades compreensíveis” (VASSÃO, 2010, p.27), porém, ele aponta que vários filósofos e pensadores tomam isto como uma organização dada em camadas de complexidade, sendo consequência da representação, percepção e conhecimentos do real, feitos pelo observador. De uma forma ou de outra, isto ocorre de maneira natural e contribui para os profissionais da área de projeto, quando buscam manipular os conhecimentos advindos de entidades complexas, recorrendo aos níveis que lhe são afins e que são relevantes ao resultado almejado.

Podemos entender que isso seria uma técnica para lidar em tempo hábil com um sistema complexo, por exemplo, sem que haja uma abordagem minuciosa dos mais variados entes complexos que o constituem. No entanto, isto se relaciona com as interações existentes entre cada sistema, as integrações, decorrentes de uma relativa independência das entidades em níveis menores. Assim, há o termo **Máquina Abstrata** abordado por Vassão (2010), onde ele toma as passagens por entre os níveis de abstração como representações, e alude à realidade da mesma forma, com possibilidades de concretude. O que seria uma estratégia de projeto, mantendo-o num âmbito representativo (abstrato), passível a mudanças de acordo com as necessidades em níveis menores, ou se for necessário, considerá-lo em níveis maiores, a depender da complexidade. Permitindo que a entidade complexa seja existente por si só, pela característica ontológica de determinar em certos níveis do que se trata tal sistema complexo. Assim, o autor começa a construir o entendimento do propósito do Metadesign,

neste contexto como uma estratégia auxiliar ao design, para abarcar todas as possibilidades, de maneira que se adéque às mais variadas conotações existentes num projeto.

Para Celestino Soddu (1989) o Metadesign está atrelado ao projeto de um **DNA artificial**, tão como o é dado pela natureza, como fora visto acima. Para o autor o principal objetivo é o design de “**espécies de design**”, em que o designer cria a estratégia ou uma ideia executável, a partir da proposta de um código generativo, em que o consumidor possa definir as realizações que queira com esta ideia, de acordo com suas necessidades e possibilidades de aplicação. Assim, a ideia é vista como uma semente capaz de gerar inúmeras variações manipuláveis e adaptáveis a mudanças conforme as vontades do usuário, com caráter evolutivo assim como o é na natureza. No contexto desta pesquisa, entende-se que este “DNA artificial” é reconhecido como a estratégia no espaço de possibilidades, sendo ou fazendo parte de uma máquina abstrata, independentemente do nível de abstração em que esteja. Ou seja, não se empenha em trabalhar um objeto final individualizado, mas sim em trabalhar o projeto do processo a partir de estratégias que permitam ter as características flexíveis conforme é dada ao Metadesign. Que conduza ao projeto de vários outros produtos (sejam eles finais ou não) seguindo características pertinentes ao desejado no resultado. Desta forma, é possível vislumbrar uma gama de tipos de produtos provenientes de uma estratégia generativa, da mesma forma que se observa na natureza a diversidade das espécies.

Concordando com Vassão (2010) aponta-se para a máquina abstrata, como suporte de design para este cenário complexo e que leve em consideração as interações e propriedades emergentes, que venham a contribuir como uma estratégia para o design no mundo complexo, considerando todos os contextos existentes neste núcleo.

De certa forma, pode-se dizer que há uma simplificação da complexidade, e o Metadesign tem seu papel neste contexto quando está em perceber que a simplicidade (do real) é subjetiva mas conforma uma realidade, que Vassão (2010, p.16) atribui a ideia de “realidade compartilhada” entre grupos, seja num trabalho, comunidade, online, etc.. Para ele, o fato de reconhecer a realidade como uma representação do mundo, e que é muito provável que não se alcance sua compreensão definitiva, torna-se um objeto de trabalho, individual e/ou coletivo, onde neste último caso, acaba por ser outro processo que constrói uma “realidade comungada”. Aí, enxerga-se um ponto de apoio para o designer, de como a conformar o Metadesign tal qual suporte a contextos no tocante aos objetos do cotidiano.

No quadro da Cultura de Projeto ou da projeção inserido na complexidade, pode-se compreender e localizar, seja no espaço físico ou não, o conjunto das entidades complexas, que formam um todo complexo, categorizados e estabelecidos pelas suas conexões ou relações, em níveis de hierarquias ou em níveis colaborativos. Isto, em camadas menores ou maiores de abstração, dando margem ao entendimento dos processos existentes na complexidade em que nos encontramos (VASSÃO, 2010).

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Quando se trata de atuação neste panorama, para Vassão (2010) abordagens do gênero *top-down* para construção de modelos e/ou ontologias, tendem a apresentar pouca inovação – que implica em projetos com altos níveis de abstração independente das implicações (o que existe ou existirá) em níveis mais baixos, estes que por sua vez, são mais concretos e específicos. Em contrapartida, numa abordagem oposta, projetos do gênero *bottom-up* tendem a ser mais inovadores, em que entidades são construídas ocorrendo suas abstrações de maneira gradual, resultado das consequências de relações concretas, ou seja, a entidade vai sendo utilizada ao que é necessário e tomando cada vez mais níveis de complexidade, a depender da forma de uso e aplicação que lhe é atribuída. Nesta linha de pensamento o autor complementa:

A atitude *top-down* implica, em geral, a imposição das representações sobre o mundo concreto. Entretanto a atitude *bottom-up* implica, em geral, construir entidades abstratas a partir de percepções concretas sobre entidades concretas, que vão sendo apropriadas pelos modelos, ontologias, taxonomias e módulos para a construção de sistemas. (VASSÃO, 2010, p.43).

Desta forma, pode-se fazer uma relação no ponto que toca a natureza quando em seus elementos ou entidades são substanciais para a construção de novas entidades, partindo de níveis de abstração menos complexos, tentando compreender determinadas estratégias contidas nas mais variadas manifestações dos sistemas naturais. Portanto, compreende-se que este caminho seja o mais razoável para a consolidação de um resultado proveitoso e alinhado com as características de um mundo imerso na complexidade.

Ao mostrar conceitos de complexidade e a relevância de sua compreensão, aponta-se para os meios digitais, pois cada vez mais a Cultura de Projeto se alastra neste âmbito, o que consolida a “Computação Ubíqua”. Além disto, Vassão (2010) dita que conhecer a complexidade que permeia este quadro permite com que o design seja uma potência política e engajada, através de éticas de colaboração e produção, fortalecendo a cultura e as sociedades, estando diluído por todo o meio social. Assim o Metadesign se estabelece como um ponto chave na realização da Cultura de Projeto, inserida na complexidade, a partir do momento que se fundamenta em todo o conhecimento necessário para se projetar num ambiente complexo.

No campo do design gráfico e industrial, particularmente, segundo Giaccardi (2005) Metadesign está primeiramente atrelado a ideia de projetos de alto nível, cujos trabalhos são assistidos por computador. Neste sentido, os objetos computacionais têm estruturas discretas que permitem que suas partes sejam facilmente acessadas, modificadas e substituídas por outras, portanto, não são fixas e absolutas, o que permite serem manipuladas e geradas sem estar projetando diretamente sua forma. Seguindo este pensamento, De Kerckhove (1995 *apud* GIACCARDI, 2005) entendia Metadesign como

uma qualidade das novas formas de artes que emergiam na Web em seus primeiros anos, e o tratava como um tipo de projeto que concebe aos usuários a ferramenta no lugar do objeto de design, e que se atém na definição das condições para o processo de interação – ao que compreendemos como uma estratégia – em vez de focar no próprio processo. Porém, mais adiante é tratado em outra publicação sua que o Metadesign é um modelo de projeto mediado pelo meio digital, ao invés de uma qualidade emergente de projeto promovida pela arte experimental. Logo, há uma flexibilidade infinita na adaptação do produto industrial, quando permite inúmeras opções diferentes a serem escolhidas pelo usuário final, que por sua vez, assume o projeto final. Desta maneira, entende-se o Metadesign como uma estratégia que gera ferramentas, parâmetros e condições operacionais para o projeto (GIACCARDI, 2005).

Outro ponto a se destacar é a posição do usuário como consumidor, pois é um ator proativo, porém, elucida Giaccardi (2005) que Soddu (1989) não questiona o papel do usuário como designer. Quando se reporta a evolução, não se refere as consequências da participação do usuário no processo de projeto, mas somente da execução de uma notação, portanto, a “semente” só pode ser manipulada pelo designer. Quanto a isto, remete-se ao entendimento, já visto aqui, que Giaccardi (2005) e, principalmente, Vassão (2010) dá ao tratar do aspecto de Emergência encontrado nos objetos de um cenário complexo. Entende-se que mesmo não podendo haver o controle das emergências geradas pelo produto no cenário de complexidade em que se insere, o designer deve considerar a capacidade de um sistema se auto-organizar com o passar do tempo. Para Vassão (2010) esta característica está associada aos seres vivos, ou seja, a natureza.

### **3.3 METADESIGN E DESIGN PARAMÉTRICO**

Fazendo mais sentido ao propósito do design na complexidade, Vassão (2010) reafirma a condição do uso de meios digitais. Ao abordar o uso de algoritmos, ele cria uma relação estrita entre o projetista e o uso da computação, tomando estes algoritmos como uma máquina, ou elemento desta, pois, ela define de fato, e cria parâmetros para os projetos. Este ambiente de atuação, delimitado por regras e condicionantes, fórmulas, etc., seria o que o autor chama como **espaço de possibilidades**, que o designer tem dentro da projeção na complexidade. Há uma compreensão dentro do Design, Arquitetura e Arte que o processo computacional é um intermediário procedimental na criação de entidades, que por sua vez geram um programa completo, como também, considera instruções isoladas através de pacotes de softwares que dê determinadas operações, tais como Photoshop (imagem), Illustrator (vetor), Rhinoceros (CAD), etc.

Ainda dentro do contexto, observa-se o **Design Paramétrico**, mais difundido em projetos de arquitetura do que design de produto, porém vem tomando proporções maiores nesta área a cada dia. Com ele, utiliza-se de softwares CAD que trabalhem com algoritmos generativos e por meio de parâmetros, sejam estes de qualquer ordem, mas que estejam fundamentados, pois ajudam a grupos de designers e arquitetos utilizar a computação como um processo, e não mais uma mera representação do objeto final. Pode-se alterar profundamente o sentido do projeto, de acordo com as entidades (parâmetros) que completam a complexidade do projeto.

Novas formas e formatos são criados por processos generativos baseados em vários conceitos, onde entre eles está o design paramétrico (KOLAREVIC, 2003). Portanto, diz o autor, ao invés de modelar uma forma externa, designers articulam com uma lógica generativa, promovendo uma gama de possibilidades com rapidez, ao qual o designer seleciona a mais viável ao desenvolvimento. Em decorrência da ascendência do uso de ferramentas flexíveis para sistemas CAD (Computer Aided Design), o Design Paramétrico está se tornando o principal meio para o sistema CAAD (Computer Aided Architectural Design), pois facilita a possibilidade de variações no projeto com rapidez (HERNANDEZ, 2006).

Assim, pode-se afirmar que Design paramétrico implica o uso de parâmetros para definir uma forma, quando o que está em jogo é a utilização de suas relações (MONEDERO, 2000; HERNANDEZ, 2006). Segundo Kolarevic (2003) há uma quebra na tradição e normas de projetar, em que as formas digitalmente geradas não são mais desenhadas ou projetadas no entendimento convencional, elas passam a ser calculadas pelo meio computacional em que foi escolhido. Conforme Vassão (2010) ele trata este tipo de articulação como **gerativa**, algorítmica ou **procedimental**, que estão ligadas a busca de uma produção indireta, através de instruções estabelecidas convertendo-se em entidades visuais, sonoras, espaciais, plásticas, etc. Para o autor, é primordial a verificação das entidades que geram os possíveis resultados finais, e seu caráter de criação indireta está ligada a funcionalidade dos algoritmos ou da programação trabalhada.

Desta forma, a partir do conceito das entidades abstratas, ou neste caso parâmetros, percebe-se o quanto o Design Paramétrico tem em comum com o Metadesign. Mais ainda quando verifica-se a diferença na parte projetual em que não se dedica somente a um resultado já elaborado e concreto, porém, em associações das entidades que compõem a estratégia como modelo de elaboração da concretude do que pode estar a vir a ser.

Para Hernandez (2006, p.310, tradução livre) Design Paramétrico é “o processo de criação em ambiente onde as variações do projeto são facilitadas, substituindo assim, a singularidade com multiplicidade no processo de design.”. Continua o autor afirmando que há necessidade de um pensamento rigoroso por parte do designer, pois se trata de um processo difícil devido à natureza

imprevisível do processo de design. Deve-se buscar a construção de uma estrutura geométrica com sofisticação, inclusa num modelo complexo. Este deverá ser flexível suficientemente a ponto de sofrer variações. Portanto, o designer precisa definir que tipos de variações ele pretende explorar a fim de determinar as variações que o modelo parametrizado possa fazer.

Esta preocupação relativa à posição do projetista frente a estratégia a ser manejada corrobora com o pensamento de Vassão (2010) em se tratar do quesito ferramental, pois que se faz apropriado para o maior controle possível da execução de um metaprojeto no contexto da complexidade. E quanto a isto, o autor propõe ferramentas e técnicas operacionais, sendo descritas e problematizadas por ele, estando associadas diretamente a percepção e cognição. Como bem define através do conceito empenhado por Deleuze e Guatarri, o autor cita que as ferramentas são “idéias que são máquinas, que podem ser diretamente operacionalizadas no cotidiano e dotadas de potência criativa” (Ibid., p.15). Dentre as múltiplas ferramentas apresentadas, identifica-se algumas que se fazem presentes, tanto em conceito como em prática, no desenvolvimento de uma estratégia gerada através do parametricismo no espaço de possibilidades do software *Grasshopper*<sup>3</sup>.

Neste contexto, observa-se que se faz relevante compreender algumas destas ferramentas elencadas por Vassão (2010) devido ao estreitamento existente dos conceitos destas com a execução do Design Paramétrico no ambiente CAD através do plugin *Grasshopper*.

### 3.3.1 Ferramental e Grasshopper

Segundo Vassão (2010) o Metadesigner pode ser auxiliado pelas seguintes ferramentas: **Abstração, Diagramas, Procedimentos e Emergência**. De acordo com seus conceitos visto anteriormente, elas se subdividem em vários aspectos conforme elucida o autor. Trataremos aqui somente as que identificamos no percurso dado pela experiência de uso com o software *Grasshopper*. A isto pode-se entender de maneira genérica o funcionamento do software, e ao mesmo tempo, associar o que se designa com a pesquisa, que é unir o conhecimento complexo existente na natureza com o ambiente propício a modelagem de uma estratégia – um metaobjeto.

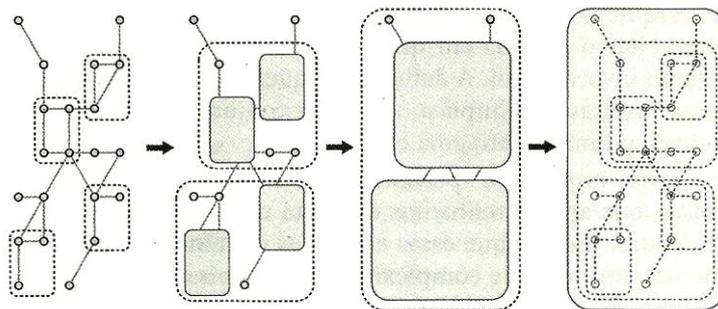
Ao se tratar de **Abstração**, alguns conceitos já foram citados, direto ou indiretamente neste capítulo, tais como níveis de abstração, caixas-pretas, camadas, número e escalas de complexidade, no entanto, cria-se uma atenção maior para algumas de suas subdivisões: **Encapsulamento, Modelo e Máquina Abstrata**.

---

<sup>3</sup>Grasshopper é um plugin do software de modelagem 3D em NURBS . Rhinoceros (desenvolvido pela empresa Robert McNeel& Associates). Mais informações em <https://www.rhino3d.com/>

Por **Encapsulamento** é compreendido como o isolamento em uma “cápsula” de “um conjunto funcional que se conecta a outros conjuntos” (Figura 10), e cada dispositivo encapsulado gera uma caixa-preta, ou seja, uma abstração generalizada num único elemento de um conjunto de entidades cujo conteúdo não pode ser visualizado (VASSÃO, 2010, p.31). De uma forma mais palpável, utiliza-se o exemplo de um automóvel, que é um dispositivo (carro) que encapsula diversos outros dispositivos (marcha, motor, freio, etc.), permitindo uma pessoa leiga controlá-lo mesmo sem conhecimentos específicos das técnicas e das manifestações das ciências que fundamentam o artefato e seus subdispositivos. No entanto, ainda aí há a necessidade do motorista ter conhecimentos prévios de manejo da aparelhagem do automóvel. Em outra forma de se perceber o Encapsulamento, utilizando-se do mesmo exemplo, percebe-se o automóvel como um subdispositivo do sistema urbano com seus outros variados dispositivos. Além disto, o autor cita que a partir desse processo de abstração, ocasionando as cápsulas, se obtém o que ele indica por Módulo, e que se trata de “um componente de um sistema que tem seu funcionamento previsto e controlado” (VASSÃO, 2010, p.32). E completa que os módulos se caracterizam por apresentar sua configuração resumida em *inputs* e *outputs*, sendo estes, qualquer entidade que relacione dois módulos entre si.

Figura 10– Encapsulamentos de dispositivos em escala gradual, gerando caixas-pretas



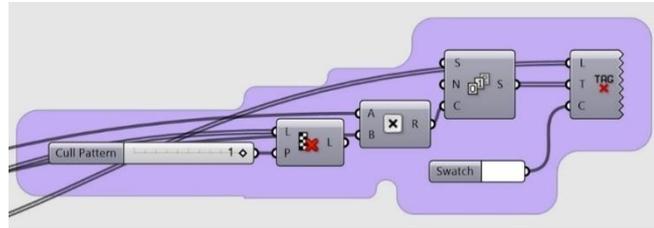
Fonte: VASSÃO (2010)

No Grasshopper, há encapsulamentos nas entidades comumente conhecida por Componentes. Cada componente pode ser considerado como um módulo pois carrega uma programação que tem um resultado específico, mas sua apresentação ao usuário é dada como uma cápsula. O fato dela conter inúmeros parâmetros de programação, que aparentemente não importa ser visto, porém primordial para o funcionamento, faz com que cada componente seja uma caixa-preta pelo grau de abstração dado pela sua existência através de um único nome, normalmente de acordo com o comando a ser executado, como por exemplo: *Fillet*, *Explode*, *Point*, entre tantos outros. Fazendo uma analogia, tanto visual quanto conceitual, observa-se uma similaridade do que é tratado por Vassão (2010) no software (Figura 11).

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Figura 11– Exemplo da interface dos componentes no grasshopper



Fonte: autor

Portanto, sobre este instrumental em específico, é visto como uma das mais constantes manifestações da cultura industrial e produtiva pelo fator organizacional, controle e cognição que lhe é próprio (VASSÃO, 2010).

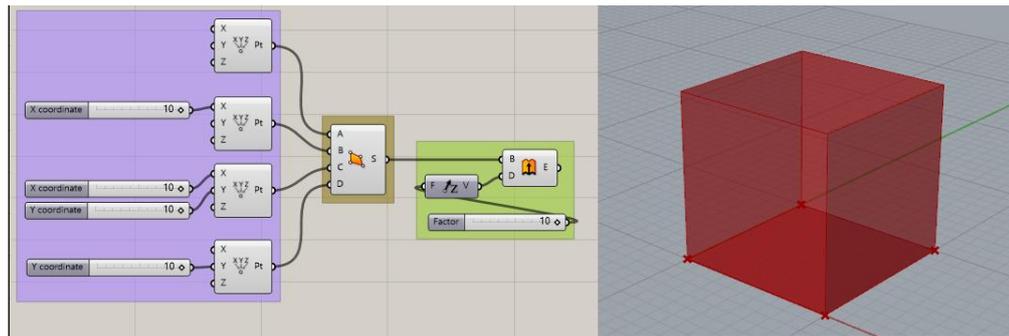
Outra ferramenta dada pelo autor é elencada pela denominação de **Modelo**. Ele assume a característica de fluxo de entidades, formado por um sistema de conexões e/ou operações, como um mecanismo. Está intrinsecamente relacionada a análise da existência de uma entidade, ao qual o autor aborda pela denominação Ontologia, que por sua vez é vista como um raciocínio que define os limites para que a entidade seja real ou não. Para o autor, Modelos “são ontologias consideradas como objeto de projeto, de criação e manipulação, e não como um dado anterior, absoluto e imutável” (VASSÃO, 2010, p.37). Ainda conforme o autor, um Modelo pode ter característica hierárquica ou de organização funcional – módulos funcionais que indicam fluxos. Nesta pesquisa, apropria-se deste conceito de modelo para fundamentar a forma de percepção de uma Estratégia. Para tal, entende-se como sendo a união de elementos que a fundamentam, e que há a necessidade do entendimento de seus fluxos e conexões, propiciando gerar os limites de maneira que atinja o âmbito do real.

Em outras palavras, verifica-se que numa representação que contenha uma série de entidades conectadas, com características de Módulos, Encapsulamentos e Caixas-pretas, permitindo visualizar o que seria o Modelo de uma possível estratégia num espaço de possibilidades que ocorrem, por exemplo, em um software, e neste caso ressalta-se o Grasshopper, como pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12– À esquerda, um Modelo de uma estratégia de um sólido no Grasshopper

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar



Fonte: autor

Ainda no contexto da **Abstração**, apresenta-se a **Máquina Abstrata** como integrante do ferramental a ser utilizado pelo designer. Sua criação e manipulação é considerada por Vassão (2010) como a principal ação do Metadesign. Para o autor, o conceito dado a relação das máquinas abstratas no espaço de possibilidades pode ser feito por uma analogia às regras de um jogo de cartas, em que através delas pode-se presumir as inúmeras possibilidades de jogadas, dessa maneira, uma vez que as regras sejam alteradas, incluindo-se novas regras ou retirando-se alguma, outros tipos de resultados poderão ser visualizados. Portanto, associa-se à importância do controle da estratégia a ser elaborada, tendo flexibilidade para a manipulação de suas entidades promovendo inúmeros resultados, sem necessariamente alterarem a ontologia da estratégia. Salienta-se que este processo não se limita nem se deixa limitar, pela própria característica evolutiva das Máquinas Abstratas, da mesma forma que no software Grasshopper, a utilização dos componentes pode ser considerada infinita, já que sua finalização vai depender puramente do projetista. Como afirma Vassão (2010), é uma manipulação de condicionantes no espaço de possibilidades que é abstrato, que é gerado e controlado pelas regras, procedimentos, fórmulas ou algoritmos.

Sendo assim, para Vassão (2010) a manipulação dos componentes dos procedimentos é um processo criativo tanto quanto a manipulação direta dos objetos finais. Observa-se que a criação, manipulação e ajuste das Máquinas Abstratas é uma atividade muito proveitosa nas áreas de Design, Arquitetura, Urbanismo e Artes. Diz-se ser abstratas por se conectarem entre si, agenciando a realidade, alterando a forma de influência entre as coisas concretas. Em outras palavras, diz Vassão (2010, p.67):

**Máquinas abstratas** podem ser meta-cadeiras, meta-edifícios, meta-fontes, meta-veículos, meta-florestas, meta-cidades, meta-objetos, ou mesmo meta-espacos – dentre tantos outros agenciamentos que conectam tecnologia, sociedade, cultura, percepção e cognição. Sua conformação não é absoluta ou definitiva – as máquinas abstratas dependem de **quem** as cria, e em que **contexto** são criadas. E seu funcionamento e consequências sequer são determinísticos (...).

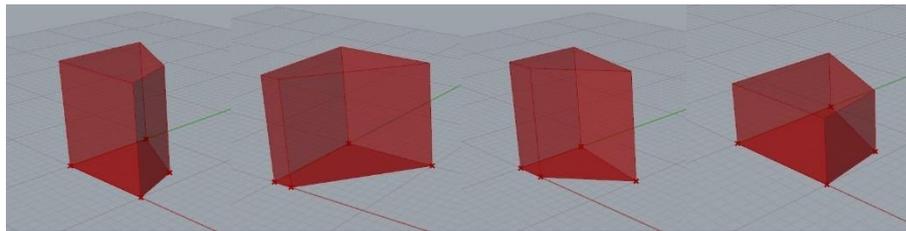
### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Portanto, é um conjunto de entidades que interagem entre si, formando fluxos e conexões, gerando módulos, caixas-pretas e modelos, supridos por conhecimentos variados de ordem técnica, científica, artística, entre tantos outros, acompanhado de influência subjetiva, e principalmente, contextual, tendo característica flexível – entidades manipuláveis e alteráveis – com fins de obter resultados pautados numa estratégia norteadora.

Na tentativa de exemplificar este conceito através do Grasshopper, iremos utilizar o mesmo exemplo dado ao Modelo, com a estratégia do sólido. Considera-se que a estratégia seja um sólido qualquer tendo como base um paralelogramo, gerando um meta-sólido. Todo o conjunto observado no exemplo citado, pode ter seus parâmetros alterados, que irão, conseqüentemente, dar um novo resultado. Portanto, verifica-se na Figura 13 apenas quatro variações de resultados com a modificação dos parâmetros, no entanto, o espaço de possibilidades é aberto, fazendo jus ao termo Máquina Abstrata sendo ela a programação executada pelos componentes no Grasshopper:

Figura 13– Variações da Máquina Abstrata de um meta-sólido



Fonte: autor

A este sentido visa o papel do designer, pela abordagem de Van Onck, quando diz que o Metadesigner “projeta não necessariamente o objeto final, mas sim um objeto intermediário, o qual torna-se referência, máquina, mecanismo ou procedimento que, por sua vez, realiza o objeto de projeto” (VASSÃO, 2010, p.60). Para o autor, a coleção de objetos abstratos – podendo ser regras, instruções, declarações ou agenciamentos, sendo formais ou lógicos – fundamenta este objeto “intermediário”. A isto, observa-se conforme as características do Metadesign, visto anteriormente, dadas por parâmetros de “procedimentos, indicações, norteamientos, fórmulas, formulários, regras e determinações” (ibid., p.60).

Segundo Vettoretti (2010) designers e arquitetos começam a explorar a geometria não euclidiana, visando as propriedades topológicas dos objetos, quando deformados seu tamanho e forma (deformações elásticas), há uma preservação dessas propriedades. Desta forma, favorecem ao surgimento de conceitos com formas complexas, amparados pelo avanço tecnológico.

Através deste recurso é possível automatizar o processo, ganhando em condições favoráveis sobre a necessidade do envolvimento de um ser humano como operador e articulador. Sendo assim, nota-se

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | **Rafael Rattes L. R. de Aguiar**

que se trata de uma abordagem procedimental, em que são associadas e utilizadas diretrizes ou instruções a fim de se obter entidades no campo a que se projeta. Neste caso, observa-se a capacidade da abstração, e ainda, de manter o design como uma máquina abstrata, passível a verificações e modificações, dentro do espaço de possibilidades. Como visto anteriormente, sistemas CAD auxiliam a concretude em ambiente virtual, como fora verificado através do software Grasshopper, possibilitando a ação conjunta do Metadesign e Design Paramétrico focados em soluções obtidas pelo conhecimento das estratégias da Natureza – Biomimética.

PARTE II

**PROCEDIMENTOS E ANÁLISES**

## 4 ESTUDO DE CASO

Nesta pesquisa foram considerados diversos métodos para alcançar o seu objetivo. Conforme explicado na introdução deste trabalho, a pesquisa se divide em três fases distintas, porém, interconectadas. E portanto, cada qual com outras etapas peculiares e de igual importância para a fundamentação da pesquisa. Neste capítulo serão abordadas as três fases norteadoras do projeto, indicando os procedimentos executados dentro de cada uma delas, e a isto, reporta-se tanto a abordagem *BiomimicryDesignLens*, quanto ao Metadesign e Design Paramétrico com a finalidade de gerar máquinas abstratas, como mostra o Modelo Gerador de Máquinas Abstratas (Figura 14):

Figura 14– Modelo de atuação em projetos de design gerador de máquinas abstratas



Fonte: Autor

Este modelo apresenta uma particularidade alcançada pela pesquisa, pois notou-se que no seu processo de execução surgiram fases bastante distintas, que são articuladas e complementadas por outros processos. No intuito de obter Máquinas Abstratas, ele dá a liberdade ao designer em se situar na fase que convier e trabalhar nela com independência, ou seja, não há uma linearidade de atuação com esta abordagem nem necessidade de se passar por fases prévias. Cada fase tem a capacidade de gerar resultados diretos, seja a partir da investigação, da geração ou do ambiente de possibilidades. No entanto, as três fases podem se comunicar e se complementar, gerando um respaldo maior aos resultados.

No presente trabalho, este modelo foi criado com o propósito de tornar apto a união das teorias da Biomimética e suas ferramentas, assim como, do Metadesign e seu instrumental com a finalidade de alcançar o objetivo da pesquisa através do Design Paramétrico.

Assim, para melhor compreensão do modelo, é salientado que cada fase tem suas particularidades, tais como:

### FASE INVESTIGAÇÃO

Esta fase consiste no trabalho dado ao conhecimento e embasamento teórico para o projeto, como também, abordagens específicas de teorias e processos que tenham relação com o propósito da investigação a ser realizada. Fase destinada para pesquisa de campo, coleta de dados, parâmetros, diretrizes, etc., de modo a criar uma fundamentação ao projeto.

### FASE GERAÇÃO

Trata-se da etapa criativa. Esta fase pode ser a continuação de umas das outras fases ou ser trabalhada através de um insight, e assim, o projetista se debruça sobre as possibilidades advindas da criatividade (técnicas criativas), obtendo a geração de máquinas abstratas.

### FASE AMBIENTE DE POSSIBILIDADES

Ambiente de possibilidades deriva do termo espaço de possibilidades pontuado por Vassão (2010). Nele são considerados os meios que o projetista atua, de maneira que consiga manipular as entidades necessárias a gerar uma máquina abstrata. Nesta pesquisa considera-se o software Grasshopper como um ambiente de possibilidades.

Para a presente pesquisa, percebeu-se que o modelo foi trabalhado na seguinte ordem: FASE INVESTIGAÇÃO > FASE GERAÇÃO > FASE AMBIENTE DE POSSIBILIDADES. Tanto na segunda quanto na terceira fase da pesquisa, obteve-se Máquinas Abstratas como resultado.

No intuito de entender o funcionamento do modelo e de cada fase na pesquisa, se faz necessário apresentar sua configuração.

## **4.1 FASE INVESTIGAÇÃO**

No primeiro momento da pesquisa, na Fase Investigação, de acordo com o modelo, foram realizadas pesquisas em referencial teórico – artigos, livros, teses, dissertações, etc. – de maneira a

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

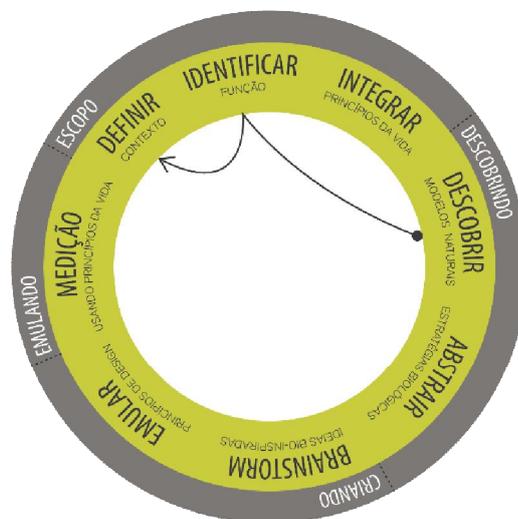
Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

coletar dados suficientes para gerar uma base estrutural aos fundamentos que se alicerçam o trabalho, conforme visto nos capítulos 1 e 2. Da mesma forma, realizou-se o prosseguimento de uma pesquisa realizada por nossa autoria (RATTES, 2013), buscando um aprofundamento maior nos parâmetros encontrados derivados de processos laboratoriais, sendo estes relacionados ao tecido parenquimático. Contudo, foram realizadas novas coletas de ramos novos do *Cereus jamacaru* DC. visando encontrar novas estruturas relevantes, que pudessem estar associadas a coleta e absorção de água. Salieta-se que outras estruturas, como raízes por exemplo, não foram consideradas no escopo de exploração desta pesquisa.

Durante esta fase da pesquisa, acreditou-se que os tricomas poderiam ter uma relação com o fenômeno da água no vegetal, pois são estruturas encontradas nas aréolas do Mandacaru e que apresentam características hidrofóbicas, ocasionando em movimentação mecânica da água, porém, de acordo com a especialista em cactáceas, Dra. Emilia Arruda, coordenadora do LAVEG – Laboratório de Anatomia Vegetal, do Departamento de Botânica da UFPE, até então não há estudos comprobatórios de que esta estrutura esteja ligada ao processo da água no vegetal, o que não significa a inexistência dessa capacidade, mas para esta pesquisa se tornaria inviável buscar entender, devido ao tempo e processos laboratoriais para tal finalidade. Por isso mesmo, optou-se por permanecer e aprofundar a abordagem através dos parâmetros do parênquima, gerados em 2013.

Portanto, a Fase Investigação desta pesquisa teve como suporte ferramental a abordagem *BiomimicryDesignLens* com o modelo do *BiomimicryThinking*, em que foram realizados os passos conforme o diagrama abaixo (Figura 15):

Figura 15–BiomimicryThinking - FASE INVESTIGAÇÃO



Fonte: Adaptado de Biomimicry.net

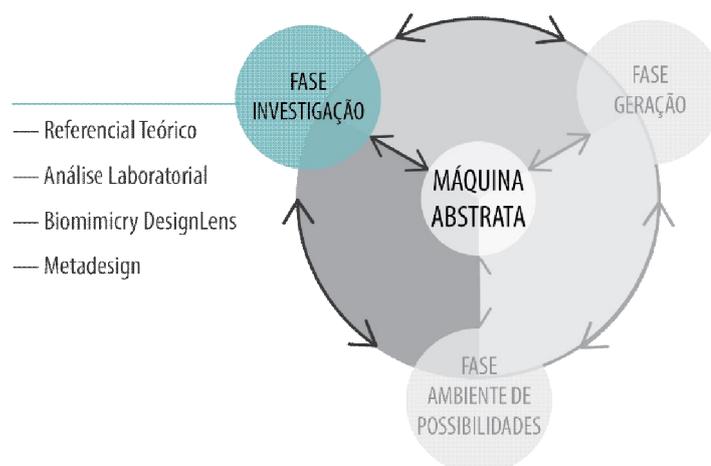
**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Inicialmente, no campo **Descobrimdo**, a pesquisa se enquadra no caminho dado por **Descobrimdo Modelos Naturais**, em que são percebidos os modelos naturais aos quais é possível aprender sua estratégia, e no contexto da pesquisa, encontra o mandacaru para tal fim. Em seguida, passa-se para o campo **Escopo**, especificamente em **Identificar Função**, cuja abordagem atenta para as funções que o modelo natural apresenta, e neste caso, fez-se uma análise sobre as possíveis estruturas de um ramo novo do vegetal que, de alguma forma, estejam relacionadas com o processo da água. Portanto, considerou-se o parênquima nesta etapa da pesquisa, por ser um tecido de grande relevância na vida do vegetal, e assim sendo, considerado neste trabalho como suporte para conhecer a estratégia da natureza neste aspecto. Por fim, após descobrir o modelo natural, identificar a função propícia à realização da pesquisa, passa-se para a etapa **Definir Contexto**. Aí, encontra-se o cerne da pesquisa, quando se compreende a função realizada pelo tecido parenquimático e busca-se através de sua estratégia atuar por meio do design na configuração de artefatos hidrofílicos para cenários ou situações, primeiramente, que apresentem déficit hídrico. Este é o contexto base para a realização dos artefatos, porém, não há impedimentos de que esta pesquisa seja direcionada a outros cenários, com características diferentes. Por isso mesmo, conforme estabelece o Metadesign, a variação de uso de qualquer que seja a proposta, deve ser levada em consideração no projeto.

De maneira resumida, visualiza-se o fim desta fase com o desmembramento do modelo da seguinte maneira (Figura 16):

Figura 16– Atributos da Fase Investigação



Fonte: Autor

## 4.2 FASE GERAÇÃO

Seguido do processo de imersão nas características próprias a fisiologia e anatomia vegetal, compreendendo as relações das estruturas analisadas da espécie com o armazenamento de água, inicia-se o processo de aplicação destes dados em parâmetros para geração de ideias por técnicas criativas, através da execução de dois workshops com alunos do curso de Design da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste – Caruaru-PE.

Primeiramente, optou-se por realizar um workshop “piloto”, tendo uma carga horária de 4 horas e com 10 vagas para inscrições. Todas as vagas foram preenchidas através de evento da rede social Facebook, porém no dia estiveram presentes 6 alunos dos 10 inscritos, sendo todos do sexo feminino. Com esta proposta foi possível verificar seu desempenho através de parâmetros como: tempo total, quantidade de alunos, conteúdo apresentado, tempo de apresentação do conteúdo, técnicas criativas, etc..

Neste workshop foi possível perceber que o tempo foi um fator determinante para a realização das estratégias, o que comprometeu uma melhor percepção dos resultados, principalmente, pela falta de conclusão dos esboços. Juntamente a isto, foi bastante claro que os alunos apresentaram uma dificuldade em externar suas ideias visualmente, optando pela escrita. Porém, isto não foi um fator que tenha afetado os resultados. Portanto, a partir deste, foi feito um novo workshop, de caráter definitivo.

Este workshop “final” teve a proposta de 20 inscrições e carga horária de 9 horas. Sua divulgação foi realizada através de plataforma online, rede social Facebook, e as inscrições feitas através do Formulários Google. Todas as vagas foram preenchidas, porém, no dia estiveram presentes 8 pessoas. Destas, 2 foram do sexo masculino e 6 do sexo feminino.

Os dois workshops tiveram como tema central o tecido parenquimático, apresentando os resultados laboratoriais de Rattes (2013) – ver cap.1, item 1.4.1 – como suporte para a geração de estratégias de artefatos hidrofílicos, levando em consideração inicial ambientes que apresentam déficit hídrico ou baixa disponibilidade de água. Após apresentação do conteúdo teórico e o método de abordagem BiomimicryDesignLens, os alunos participaram da elaboração do problema por meio de uma pergunta base – Como um **artefato** pode **armazenar** água em seu **interior**? Este é um momento crucial do workshop, pelo caráter norteador das propostas. Assim, através de uma técnica criativa, realizou-se uma geração de alternativas aos três grifos da pergunta base, e por votação obteve-se como resultado as duas propostas de problemas:

1. Como um **sistema** pode **absorver** água em sua **estrutura**?
2. Como um **volume** pode **levar** água em seu **ambiente**?

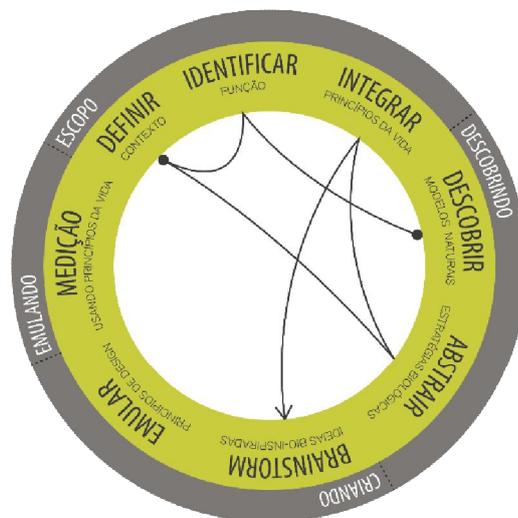
### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Apesar de ter obtido dois problemas com a técnica empregada, ambos os grupos quiseram trabalhar em cima de proposta de número 1. A partir disto, cada grupo passou a realizar a técnica criativa **635**, afim de gerar propostas de estratégias e conceitos. Salienta-se que como não haviam exatamente seis pessoas por grupo, foi feita a mesma proposta do **635**, de três alternativas em 5 minutos, porém com o total de 4 alunos, nesse caso, **435**. Assim, cada grupo teve a capacidade de gerar o mínimo de **48 propostas** em potencial. Destas propostas, foi realizado uma adaptação da **Análise de Pareto** para a seleção da proposta a ser trabalhada no workshop, atribuindo-se valor de 1 a 5, tendo como resultado a proposta com maior fator atribuído.

Ressalta-se que nesta etapa do workshop, quanto ao diagrama *BiomimicryThinking*, esta fase se inicia a partir do campo **Descobrimdo**, pelo subitem **Abstrair Estratégias Biológicas**, no sentido de gerar abstrações por meio de ideias e conceitos, que permitam sua execução no campo do design (Figura 17).

Figura 17–BiomimicryThinking - FASE 2 . Gerar



Fonte: Adaptado de Biomimicry.net

Dando prosseguimento ao workshop, de posse do conceito elencado por cada grupo, passou-se para o momento de execução da proposta através de técnica criativa **Brainstorm Ideias Bio-Inspiradas**, condizente ao diagrama *BiomimicryThinking*, no entanto, neste ponto eles tiveram diretrizes estabelecidas para gerar suas propostas a partir dos conceitos, que foi trabalhado de maneira conjunta com a etapa **Integrar Princípios da Vida**. Portanto, cada alunoteve em posse os diagramas do BiomimicryDesignLens (Ver cap.1, item 1.3.1.) e as diretrizes relativas ao parênquima, encontradas na Tabela de Princípios e Parâmetros realizada por Rattes (2013) e revisada neste trabalho – Tabela 1,

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

porém sem apresentar os campos **Abstração para o Design e Exemplos**. Esta modificação foi realizada pelo propósito de não haver influências, direta ou indiretamente, durante o processo criativo dos alunos.

Tabela 1. Princípios e Parâmetros do parênquima

TABELA DE PRINCÍPIOS E PARÂMETROS PARA DESIGN  
(RATTES, 2013)

	MORFOLOGIA	FUNÇÃO	PROPRIEDADES (CD Biônica apud NASCIMENTO, 2011)	RAMOS DA BIÔNICA (ROSENDHAL, 2011)
PARÊNQUIMA	Paredes delgadas.	Permeabilidade da água	Sustentação	Biônica dos Materiais
	Normalmente cilíndricas de base circular (percepção em duas dimensões).	Sustentação e proteção celular.	Elasticidade	Biônica das Estruturas
	Disposição em grupo.	Regeneração de lesões e cicatrização.	Filtragem	Biônica de Processamento
	Grande volume.	Elasticidade devido a parede celular.	Regeneração	

Fonte: Rattes (2013)

Reservou-se 1 hora para a realização desta etapa. Ao término, os grupos selecionaram as propostas que consideraram mais relevantes e expressivas e passaram a filtrá-las com a finalidade de refinamento, através da técnica **MESCRAI** (BAXTER, 2008), estando sempre interligado ao passo **Integrar Princípios da Vida**, do modelo *BiomimicryThinking*. Para esta etapa foi dado um tempo de 30 minutos. Posteriormente, os alunos se dedicaram a detalhar os conceitos e estratégias, chegando ao término da fase criativa do workshop.

Salienta-se que em todo o processo explanatório e criativo presente no workshop, sempre foi priorizado a imparcialidade do explanador, assim como, o mínimo de interferência possível nas decisões de cada aluno que participou. Portanto, considera-se que assim foi feito, e que os resultados provenientes das duas atividades apresentam o Metadesign em sua essência, pois eles têm o caráter coletivo, colaborativo e, principalmente, a existência dos aspectos culturais e subjetivos.

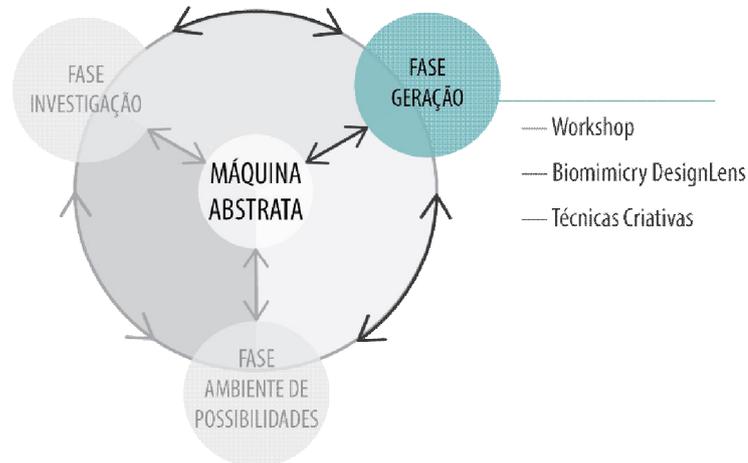
Concluída esta etapa, os alunos apresentaram a todo o grupo suas propostas e processo através de desenhos justificaram seus conceitos conforme a temática do workshop, chegando ao seu encerramento.

Ressalta-se que já a partir desta fase são obtidas máquinas abstratas, que serão abordadas no capítulo seguinte. Assim, se tem uma visão geral do uso do modelo nesta fase, dado da seguinte maneira (Figura 18):

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Figura 18– Atributos da Fase Geração



Fonte: Autor

**4.3 FASE AMBIENTE DE POSSIBILIDADES**

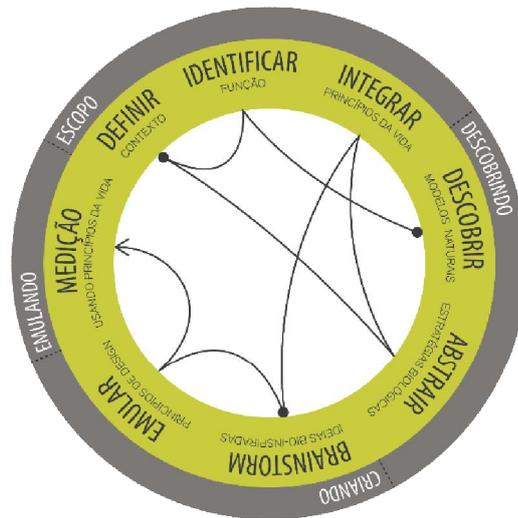
Com os resultados da fase precedente em mãos, encaminha-se a pesquisa para sua última fase, que será proposto a capacidade de estabelecer a relação dos resultados provenientes do workshop com o Metadesign e sua viabilidade para a execução de máquinas abstratas através de modelos em simulação, com ênfase em modelagem paramétrica, validando a pesquisa.

Sendo assim, finalizando o uso do diagrama *BiomimicryThinking*, nesta fase a pesquisa parte da resolução de ideias a partir do Brainstorm para o próximo ponto de nome **Emular Princípios de Design**, dentro do campo **Criação**, em que a partir das estratégias obtidas no resultado dos workshops é possível adentrar no campo do Metadesign, criando modelagens e emulando-as, fundamentadas pelo sistema natural e suas especialidades quanto à água, adequando-as ao tipo de uso e tecnologia, e verificar as possibilidades mais viáveis como solução a ser executada (Figura 19).

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Figura 19–BiomimicryThinking - FASE 3 . Propor



Fonte: Adaptado

Para este fim, a pesquisa recebeu o auxílio do grupo BI/OS – Biological Inputs and Outputs Systems, especializado em estratégias focadas em Design Paramétrico, particularmente sob o amparo direto do arquiteto Paulo Carvalho, um dos fundadores do grupo. Para tal, utilizou-se o Grasshopper, plugin do software Rhinoceros, que é específico para modelagem paramétrica, passível a fabricação digital.

Logo, como consequência da etapa anterior, surge a necessidade de seguir para o próximo e último campo do processo estabelecido. O campo **Emulando**, tem como subitem **Medição Usando Princípios da Vida**, que denota uma verificação do resultado com as declarações iniciais do problema e aferir se estes resultados são positivos. Neste momento da abordagem, compreende-se que a materialidade está como ponto crucial, cuja relevância não é destacada na presente pesquisa, no entanto, é reconhecido por todos que fizeram parte do processo dada a sua importância.

Adiciona-se a isto, a capacidade de impressão em 3D ou fabricação digital, fazendo parte deste contexto e gerando forte influência nos processos e resultados. Por isso mesmo, esta pesquisa teve como ponto final de todo este processo, a execução de uma estratégia e impressão em 3D através do

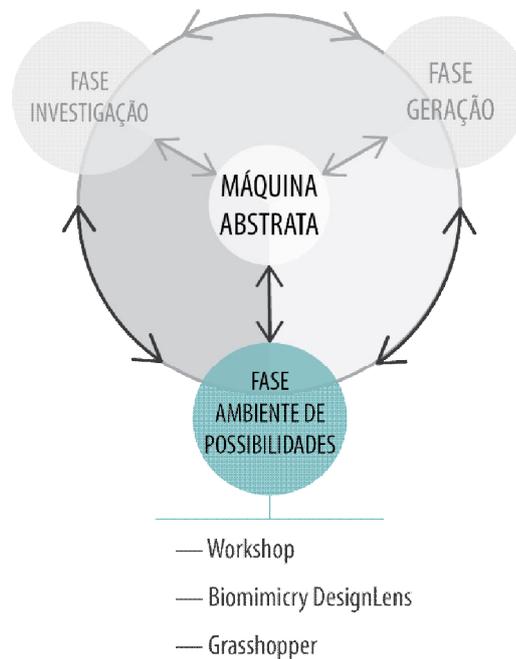
**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | **Rafael Rattes L. R. de Aguiar**

serviço online da empresa Shapeways<sup>4</sup> para impressão 3D. Utilizou-se este serviço devido a altíssima qualidade da impressão (resolução) possibilitando haver uma maior riqueza em detalhes no modelo, de acordo com os resultados desta pesquisa (ver cap. 4).

No tocante ao modelo, chega-se, portanto, na sua última fase, e a partir dela são obtidas as máquinas abstratas. No caso da pesquisa, priorizou-se uma máquina abstrata criada na Fase Geração para servir de modelo a Fase Ambiente de Possibilidades (Figura 20).

Figura 20– Atributos da Fase Ambiente de Possibilidades



Fonte: Autor

---

<sup>4</sup>Shapeways é uma empresa norte americana que oferece o serviço de alta qualidade de impressão 3D em diversos materiais. Mais informações: [www.shapeways.com](http://www.shapeways.com)

## 5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nesta etapa da pesquisa são abordados os resultados provenientes dos workshops e sua relação com o Metadesign, que são estratégias para artefatos hidrofílicos inspirados no tecido parenquimático encontrado no Mandacaru, a formação de máquinas abstratas a partir das estratégias, e por fim, a sua adequação ao ambiente CAD/Design Paramétrico, executando uma destas máquinas abstratas.

No primeiro momento, serão abordadas as estratégias e seus conceitos, a partir da parametrização das informações contidas nelas por meio de uma tabela, que neste caso, é considerada como uma Máquina Abstrata em determinado nível de abstração, composta por: **diretrizes**, aos quais cada estratégia apresenta como base projetual – série de palavras-chaves numa linguagem apropriada a projeto; **Princípios da Natureza**, série de princípios encontrados no objeto natural, a partir da fase investigativa e criativa em linguagem apropriada a projeto. No caso desta pesquisa, utilizou-se os princípios do parênquima abordados por Rattes (2013); **Princípios da Vida**, relação dos princípios existentes no diagrama do *BiomimicryDesignLens* com a estratégia, gerando um suporte para o projeto. Vale salientar que cada Máquina Abstrata apresentada por uma tabela, contém entidades que permitem sua utilização no espaço de possibilidades através de atuação com o design paramétrico.

Tabela 2. Máquina Abstrata a partir da Biomimética

ESTRATÉGIA	DIRETRIZES	PRINCÍPIOS DA NATUREZA	PRINCÍPIOS DA VIDA (BIOMIMICRY 3.8, 2015)
Nome ou Resumo da estratégia	Em forma de palavras-chaves, as diretrizes são <b>parâmetros</b> para que a estratégia exista.	Relação dos Princípios encontrados na Natureza com a estratégia. <b>Linguagem</b> apropriada à área de projeto	Associação dos Princípios da Vida com a estratégia

Fonte: Autor

A partir destas máquinas abstratas será possível verificar a variação de respostas dadas ao processo criativo, dando margem a discussões quanto as similaridades e divergências presentes nos resultados. Vale salientar que quanto a materialidade destes resultados, podem sofrer variações, e principalmente, como são decorrentes de projetos realizados em workshops, podem apresentar a necessidade de revisões, aprimoramentos, ajustes, etc. Portanto, são propostas definidas em determinadas condições, passíveis a execução e capazes de obter eficiência.

Logo após os resultados, será apresentada a escolha, execução e render final da máquina abstrata elencada para servir de exemplo aplicável, colocando em xeque a relação entre o processo de bioinspiração e o Metadesign, como suporte para o Design Paramétrico.

Ressalta-se que ao se tratar da relação entre Metadesign e Design Paramétrico (cap. 2, item 2.3) já apresenta resultados desta pesquisa, demonstrando a associação entre as duas áreas, principalmente, quando se dedica a apresentar as concordâncias entre o ferramental do Metadesign proposto por Vassão (2010) e o software Grasshopper.

Salienta-se que outro resultado considerado e de grande teor para esta pesquisa é o modelo gerador de máquinas abstratas, apresentado no capítulo 3 como parte do ferramental deste trabalho.

## 5.1 WORKSHOPPILOTO

Os resultados obtidos no workshop piloto tiveram sua contribuição para a maturação do processo desta pesquisa. Nele, foram obtidas várias ideias através de técnicas criativas, conforme visto no capítulo de procedimentos desta pesquisa, e que mesmo dentro da limitação do tempo, foram palpáveis e apresentam potencial imenso para aprofundamentos. No entanto, como parte do processo criativo, os grupos selecionaram um total de três estratégias que fossem mais detalhadas e trabalhadas. Estas estratégias podem ser visualizadas na Tabela 3.

A partir destas estratégias realizou-se uma padronização das informações que configuram as estratégias através do que foi denominado de **Diretrizes**, da mesma forma que foram realizadas as relações destas com a referência dada pelos **Princípios do Parênquima** (RATTES, 2013) – tabela apresentada aos alunos – assim como nos **Princípios Da Vida** (BIOMIMICRY 3.8, 2014).

O que encontramos nesta tabela são regras e valores agregados que fundamentam sua possível concretude. A partir do conjunto dos elementos da tabela, dado a cada estratégia, observando cada entidade ou a união de várias entidades que a compõem, é obtido a sua ontologia. Assim, não se deve visualizá-la com o pensamento num único artefato, mas voltado as possibilidades de implementações que cada uma delas podem suprir, a depender da necessidade de cada usuário, empresa, sociedade, etc. Portanto, pode-se dizer que as estratégias que encontramos nesta tabela são **Máquinas Abstratas**, passíveis a execução de acordo com o nível de abstração em que se queira atuar. Se, a partir de sua ontologia, dedicar-se à sua conformação em ambiente de possibilidades com o gerenciamento de cada entidade que lhe seja necessária ao processo, teremos de fato um agenciamento da realidade com estas Máquinas Abstratas.

Tabela 3. Estratégias, diretrizes e suas relações com Biomimética



ESTRATÉGIA	DIRETRIZES	PRINCÍPIOS PARÊNQUIMA (RATTES, 2013)	PRINCÍPIOS DA VIDA (BIOMIMICRY 3.8, 2015)
SISTEMA DE RESFRIAMENTO PARA CARROS ESTACIONADOS A CÉU ABERTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrutural</li> <li>2. Flexível</li> <li>3. Portátil</li> <li>4. Armazenamento</li> <li>5. Termorregulador</li> </ol>	Sustentação/Estruturas Elasticidade Materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evoluir para sobreviver</li> <li>- Adaptar-se as condições de mudanças</li> <li>- Ser atento e responsivo a questões locais</li> <li>- Ser eficiente em recursos</li> <li>- Integrar conhecimento e crescimento</li> </ul>
MATERIAL DE ABSORÇÃO E FILTRAGEM DE ÁGUA	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrutural</li> <li>2. Flexível</li> <li>3. Absorção</li> <li>4. Filtragem</li> <li>5. Armazenamento</li> </ol>	Sustentação/Estruturas Elasticidade Alimentação Filtragem Materiais Processamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evoluir para sobreviver</li> <li>- Adaptar-se as condições de mudanças</li> <li>- Ser atento e responsivo a questões locais</li> <li>- Ser eficiente em recursos</li> <li>- Integrar conhecimento e crescimento</li> </ul>
TECIDO PARA PROTEÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR COM CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrutural</li> <li>2. Flexível</li> <li>3. Resistência a danos</li> <li>4. Armazenamento</li> <li>5. Termorregulador</li> </ol>	Sustentação/Estruturas Elasticidade Regeneração Materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evoluir para sobreviver</li> <li>- Adaptar-se as condições de mudanças</li> <li>- Ser atento e responsivo a questões locais</li> <li>- Ser eficiente em recursos</li> <li>- Integrar conhecimento e crescimento</li> </ul>

Fonte: Autor

Na tabela, a primeira estratégia se trata de um sistema de resfriamento para carros em ambientes não sombreados com alta intensidade solar. Esta ideia se justifica pelo contexto, em que o Centro Acadêmico do Agreste, na cidade de Caruaru, local em que foi realizado o workshop, apresenta essa necessidade. Portanto, é percebido de imediato a influência do contexto que os participantes vivenciam, associado a isto o parâmetro subjetivo. Ambos, características de um projeto inserido na complexidade, conforme é dada a visão do Metadesign. De maneira similar ocorre com as duas outras estratégias, porém acredita-se que estão mais associadas ao repertório de cada um, pois suas propostas não são necessariamente para seu uso direto, e sim de acordo com a contextualização dada pelo mandacaru e o habitat natural, assim como, os residentes de ambientes análogos ou quando ocorrem situações semelhantes que caracterizem a relação do vegetal e o ambiente.

O grupo realizou esta estratégia justificando que na possibilidade de sua concretude, não seria apenas um artefato que preservasse a temperatura interna e externa do carro, mas que apresentasse outras características funcionais, elevando a complexidade de suas entidades, e propondo um aproveitamento maior do espaço, do uso e, principalmente, sendo levado em consideração aspectos pertinentes a ecologia, que tem relação direta com o papel do Mandacaru como elemento participante

de um ecossistema. Portanto, foi pensado um sistema que pudesse reter ou armazenar água, tendo o papel de dissipar o calor ou amenizar, tal como um radiador e tornar viável seu uso em qualquer oportunidade que o usuário tenha. Assim, essa estratégia teria a capacidade de ser portátil, tal como são as capas refletivas de automóveis, porém, poderia também ser aplicada de maneira estática, obtendo os mesmos resultados.

A segunda estratégia se trata de material de alta absorção de líquidos – mais apropriado para água – que possa filtrar e torná-los digestos. Neste caso, o material seria uma espécie de superfície que quando sendo algum artefato, este ao ser mergulhado num ambiente líquido (mar, rios, poças de água, etc.), por exemplo, apresentasse em sua estrutura elementos que absorvessem a água, filtrassem e armazenassem em seu interior, adequado a ingestão. Esta estratégia foi justificada pelos alunos como suporte a ambientes que apresentam baixo índice de água potável ou em situações de emergência, consequência por exemplo, de fenômenos naturais, ou também, aplicando em superfícies residenciais como fonte de água através da captação de água da chuva.

A terceira estratégia compreende em um tecido que permita ser utilizado em ambientes de alta incidência solar, principalmente quando se trata de posto de trabalho, e que seja resistente a danos como cortes e furos. Além disto, como forma de amenizar as características do ambiente que está sendo levado em conta, este tecido apresenta a propriedade de armazenamento de água ou algum material que tenha a característica de favorecer a diminuição do impacto causado pela alta temperatura na pele.

Sendo assim, a tabela apresenta oitodiretrizes, estando associados aos parâmetros do tecido parenquimático, visualizados no workshop. Quando se trata da diretriz **Estrutural**, relaciona-se as células que compõem o parênquima, já que este é um tecido de preenchimento. Desta maneira, infere-se a importância do aspecto estrutural na estratégia como base para a sua formação.

Outra diretriz apontada é a capacidade de ser **Flexível**, ou seja, tenha um aspecto de adequação a forma, independente de qual seja, mas que preserve suas características gerais.

Quando se reporta a diretriz **Portátil**, é feita a alusão a qualquer coisa que possa ser manipulada e movimentada com facilidade. Esta diretriz está estritamente relacionada ao aspecto geral da estratégia, sem ter menção a inspiração no parênquima.

A diretriz **Absorção** está associado ao ato da estrutura absorver água – em primeira instância – ou algum outro material. É fundamentada no tecido parenquimático, principalmente quando se trata do armazenamento, porém, a parte que toca o aspecto de absorção, está atrelado a especificidade das paredes deste tecido serem compostas basicamente por celulose, que é um material permeável, possibilitando o fluxo de água (principalmente) por entre as células.

A diretriz seguinte é **Armazenamento**, se trata da capacidade da estratégia realizar esta ação. Como no vegetal o tecido parenquimático está, principalmente, associado ao armazenamento de água, dar-se esta diretriz a estratégia pela sua capacidade de manter por alguma maneira, qualquer material em suas estruturas. Consequentemente a esta diretriz, quando o artefato armazena água ou algum material relativo, pode-se associá-lo a **Termorregulação**, pois dependendo da estratégia crer-se que há a possibilidade de se obter esta característica.

Estas diretrizes têm relações diretas com os Parâmetros do Parênquima dados por Rattes (2013) e servem como suporte para manipulação das entidades, quando se busca efetivar a estratégia como uma máquina abstrata. Da mesma forma, quando se trata de fundamentos de projeto, observa-se que de acordo com a abordagem *BiomimicryDesignLens*, especificamente o diagrama dos *Princípios da Vida*, localiza-se 5 de 6 destes princípios até o momento da criação de tais estratégias. O único princípio que pelo nosso entendimento não se encontra presente é **Usar química amigável a vida**, pois conforme sua característica está diretamente relacionado a materialidade do objeto, o que por enquanto não vem ao caso, já que se trata de um projeto de estratégias num nível de atuação não concreto.

Portanto, no quadro geral dos Princípios da Vida, estas estratégias apresentam em sua configuração: gerenciamento de informações, resiliência e descentralização do sistema, a possibilidade de uso de materiais de fácil acesso, cooperação mútua – resultando do trabalho em grupo do workshop, aproveitou-se de um fenômeno local (tecido parenquimático, do mandacaru), a forma segue o desempenho, e por fim, são sistemas que evoluem do simples para o complexo, conforme os níveis de abstração em que se queira atuar.

Mesmo com a dificuldade obtida pela falta de tempo para a apresentação dos resultados, notou-se que a forma de abordagem realizada neste workshop gerou estratégias com um altíssimo grau de compatibilidade com os princípios e parâmetros existentes no parênquima (RATTES,2013) e que a possibilidade de atuar em função da criação de estratégias como suporte para execução de máquinas abstratas é bastante positiva. Por isso mesmo, foi possível realizar os ajustes necessários e obter resultados mais contundentes com o segundo workshop realizado, dando margem ao passo posterior a este, agenciando uma estratégia e gerando uma máquina abstrata.

## **5.2 WORKSHOP FINAL**

Conforme foi explanado nos Procedimentos desta pesquisa (cap. 3) este workshop teve um total de dois grupos, portanto serão apresentados aqui dois resultados gerados por cada grupo, em função de um único problema no formato de questionamento.

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

As estratégias serão descritas conforme apresentado os resultados anteriores, porém, uma delas apresentará ilustrações devido a qualidade do material apresentado e realizado durante o workshop. Por isto mesmo, salienta-se que não se trata de favoritismo ou preferência, mas de qualidade no material executado, o que não ocorreu nos outros resultados, infelizmente.

Da mesma forma que no workshop piloto, estes resultados também são considerados como **Máquinas abstratas**, levando em consideração os mesmos aspectos já ditos anteriormente para que se consolidem no espaço de possibilidades. Desta forma, iremos apresentar as duas estratégias em formato de tabela, conforme as características dadas nos resultados do primeiro workshop, em que serão apontadas as suas relações com os dados da tabela, assim como, a escolha de uma delas demonstrando sua execução como Máquina Abstrata.

Tabela 4. Workshop II - Estratégias como resultado, diretrizes e suas relações com a Biomimética



ESTRATÉGIA	DIRETRIZES	PRINCÍPIOS PARÊNQUIMA (RATTES, 2013)	PRINCÍPIOS DA VIDA (BIOMIMICRY 3.8, 2015)
TECIDO CAPAZ DE ABSORÇÃO E FILTRAGEM DE LÍQUIDOS PARA CONSUMO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrutural</li> <li>2. Flexível</li> <li>3. Portátil</li> <li>4. Armazenamento</li> <li>5. Termorregulador</li> <li>6. Filtragem</li> </ol>	Sustentação/Estruturas Elasticidade Materiais Filtragem Processamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evoluir para sobreviver</li> <li>- Adaptar-se as condições de mudanças</li> <li>- Ser atento e responsivo a questões locais</li> <li>- Ser eficiente em recursos</li> <li>- Integrar conhecimento e crescimento</li> </ul>
SUPERFÍCIE QUE RETÉM E ARMAZENA ÁGUA DA UMIDADE DO AR E DA CHUVA	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrutural</li> <li>2. Flexível</li> <li>3. Absorção</li> <li>4. Armazenamento</li> <li>5. Termorregulador</li> </ol>	Sustentação/Estruturas Elasticidade Alimentação Materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evoluir para sobreviver</li> <li>- Adaptar-se as condições de mudanças</li> <li>- Ser atento e responsivo a questões locais</li> <li>- Ser eficiente em recursos</li> <li>- Integrar conhecimento e crescimento</li> </ul>

Fonte: Autor

Vale salientar que a Tabela 4 apresenta regras, da mesma forma que a Tabela 3 com os resultados anteriores, e que são propensas a manipulação conforme a intenção dada aos resultados posteriores. Novamente, temos estratégias dando margem a geração de ontologias, porém, com uma complexidade maior, já que se apresentam diretrizes e parâmetros de projeto.

A primeira estratégia se trata de um tecido que tenha a capacidade de absorção de água pelo contato ou quando mergulhado, obtendo água filtrada, e quando o usuário torce o tecido, como uma camisa molhada, por exemplo, ele fornece a água filtrada. O processo de torção é dado num sentido vertical, partindo de cima para baixo, e assim, toda a água será escorrida nesse mesmo sentido, onde poderá coletar a água. A proposta dos alunos foi baseada a capacidade do residente do clima

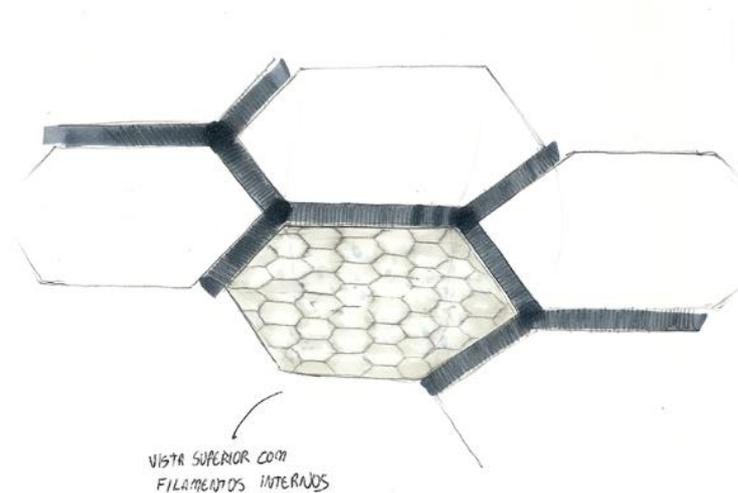
### Biomimética aplicada ao Metadesign:

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

semiárido trabalhar sob alta incidência solar e ter alta porção de sudorese, em que esse suor, seria uma fonte de água para o usuário ingeri-la após o trabalho ou armazená-la, conforme queira.

A segunda estratégia é uma superfície com características hidrofílicas, podendo coletar e armazenar água. Baseado nas estruturas das paredes celulares do parênquima, ocorrem as estruturas da estratégia em formato hexagonal (Figura 21). Elas são a base de suporte para a superfície, e se adaptam a qualquer formato. Em cada hexágono que compõe a superfície, existem estruturas internas, também com formato hexagonal, formando uma malha. Cada malha é composta por um material, seja ele de metal ou não, que possa armazenar calor da irradiação solar direta. Cobrindo esta malha, a estratégia apresenta uma película flexível.

Figura 21– Estratégia de Superfície Hidrofílica



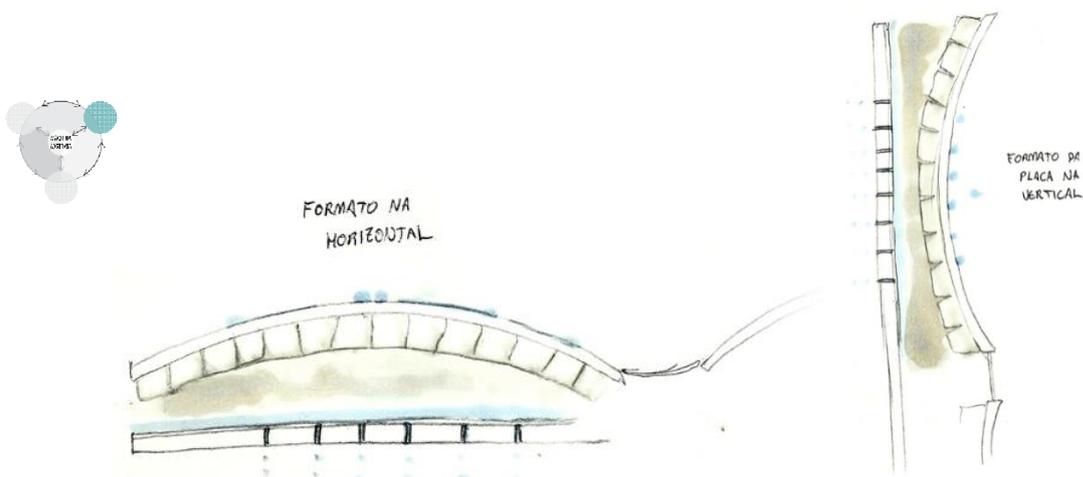
Fonte: Moisés Alencar . aluno do workshop

Com o processo de aquecimento da malha interna durante o dia, e com a queda de temperatura ambiente por meio da mudança do dia para a noite, esta estratégia poderá coletar a umidade do ar, através de troca de calor entre a malha interna e o meio externo, criando gotículas na película que a reveste. Para que as gotículas sejam direcionadas e armazenadas, gerando um volume maior, existe uma regra para a sua disposição dependendo do nível de horizontalidade ou verticalidade que se encontra cada hexágono. Quando horizontal, esta malha e película que formam uma unidade, apresentam uma conformação convexa. Se se encontra na vertical, elas são côncavas (Figura 22).

Figura 22– Definição de parâmetro para cada hexágono da superfície . Horizontais convexo e Verticais côncavo

### Biomimética aplicada ao Metadesign:

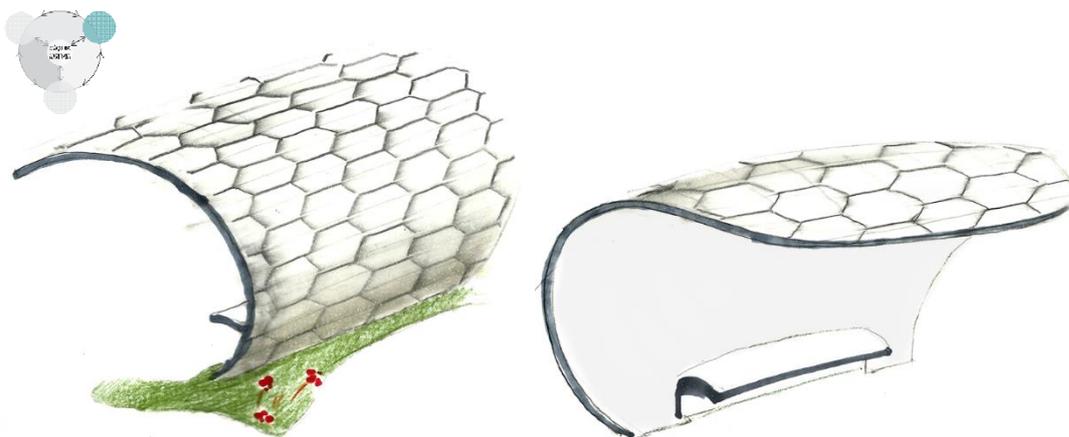
Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar



Fonte: Moisés Alencar . aluno do workshop

Esta característica foi idealizada pelo grupo pensando no movimento da água (gotículas) mediante a gravidade, sendo um mecanismo resultante da forma, e faz analogia a função do parênquima em armazenar e prover água em toda a sua extensão. Essa água coletada será direcionada para as margens de cada hexágono, onde encontrarão uma calha, que poderá reter a água por meio de um tipo de material hidrofílico (similar a mucilagem do parênquima) ou a levar para a base da estrutura, onde poderá ter um reservatório, ou um jardim, ou um bebedouro, ou qualquer outro uso que deseje atribuir. Para exemplificar um possível uso dessa superfície, os alunos propuseram a ideia de uso em paradas de ônibus, pois o clima da região Agreste contribui para a irradiação solar, e de acordo com o conceito, na captação e armazenamento de água (Figura 23).

Figura 23– Possibilidade de aplicação da estratégia - Parada de ônibus



Fonte: Moisés Alencar . aluno do workshop

Ressalta-se que no decorrer do processo criativo dado nos dois workshops, principalmente na etapa do uso da técnica 635 adaptada, foi percebido que grande maioria dos alunos tiveram ideias relacionadas a **superfícies flexíveis e adaptáveis** a qualquer forma. A isto, é possível concluir que

mesmo o tecido parenquimático seja considerado de preenchimento e ocupe maior parte do cladódio do mandacaru, sua compreensão por parte destes estudantes de design teve um aspecto mais planejado. Acredita-se que talvez um dos pontos que venha a contribuir para isto, tenha sido porque a visualização do parênquima foi obtida por imagens de microscopia óptica, e elas são de fato, planejadas (ver cap. 1, item 1.4.1).

Os parâmetros apontados para estas estratégias seguem as mesmas características já visto anteriormente com os resultados do workshop piloto. Percebe-se cada estratégia com uma série de diretrizes que são básicas para sua existência e que auxiliam no seu posterior desenvolvimento num espaço de possibilidades. Da mesma forma se justifica a falta de relação do Princípio da Vida: **Usar química amigável a vida**. No entanto, com o andamento da pesquisa, na tentativa de executar uma dessas máquinas abstratas no espaço de possibilidades é possível incluí-lo, pois pode-se chegar na materialidade conforme será visto mais adiante.

### **5.3 MÁQUINA ABSTRATA NO AMBIENTE DE POSSIBILIDADES**

A escolha da estratégia, e conseqüentemente, da máquina abstrata para ser realizada num nível de abstração mais perto da concretude foi estabelecida pelo fator detalhamento. Nesse caso, a estratégia escolhida foi: **Superfície que retém e armazena água da umidade do ar e da chuva**. Os alunos que estiveram no grupo desta estratégia, conseguiram no tempo estabelecido criar mais detalhes da estratégia, possibilitando assim, ter um domínio maior sobre as suas entidades e, portanto, melhor adequá-las ao espaço de possibilidades da pesquisa, que neste caso é o software Grasshopper, podendo alcançar a Fase Ambiente de Possibilidades do modelo idealizado.

Levando em consideração este tipo de proposta, é necessário citar que existe a necessidade do conhecimento prévio do software. Em conformação com a proposta da pesquisa, a complexidade do resultado, e conseqüentemente, sua eficiência vai estar dependente de quem está manipulando o software. Portanto, salienta-se que para esta estratégia e a execução de sua máquina abstrata foi utilizada uma das inúmeras possíveis formas de programação. Com isto, o próprio processo de execução se relaciona com a atuação do metadesigner. Em primeira instância, quando o responsável pelo uso do software cria o seu processo, ou seja, o processo do processo, já que conforme esta pesquisa não se lida com um resultado final em nível concreto, mas em estratégias que podem surgir inúmeras possibilidades de resultados, e assim sucessivamente. A isto também se adéqua ao pensamento de Soddu (1989) quando busca viabilizar o projeto a partir de um código generativo, reconhecido por DNA artificial, formando as “espécies de design”. A programação resultante é um

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

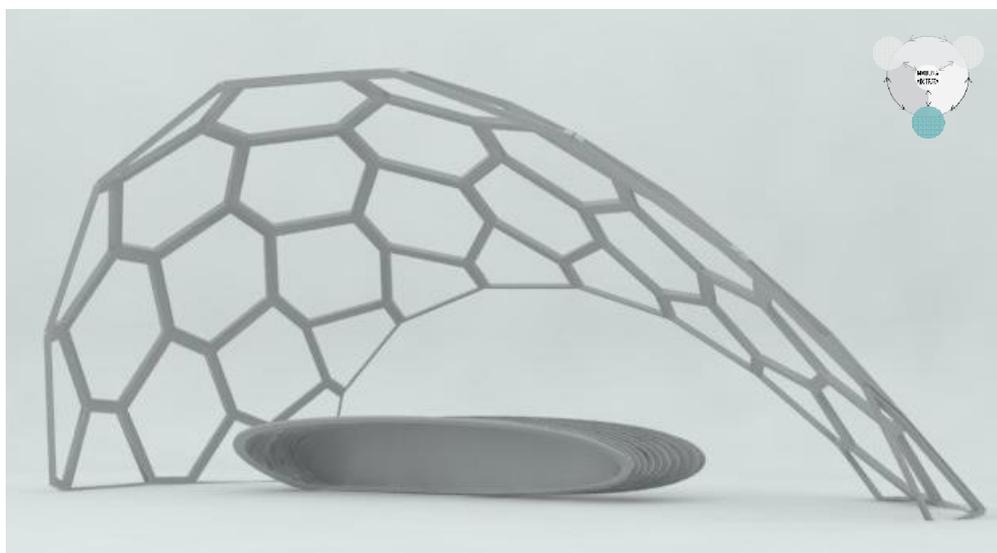
código generativo, ou melhor dizendo, uma máquina abstrata que permite gerar variados tipos de design – ou espécies.

Da mesma forma que a máquina abstrata gerada no workshop e apresentada na tabela é configurada por suas entidades manipuláveis, quando se trata de sua aplicação a um espaço de possibilidades ela permanece com esta característica, o que implica dizer que não perde sua qualidade de máquina. Isto é concebido devido ao caráter paramétrico do software, ou seja, da ferramenta para o design paramétrico. Sendo assim, considerando os parâmetros que são apresentados na tabela como entidades constituintes da máquina abstrata, e tendo em vista que as diretrizes são a base para sua constituição, portanto, elas são consideradas como o guia para se criar o script – arranjo de componentes do Grasshopper (ver Apêndices). Assim, é possível, através de encapsulamentos identificar as diretrizes como parâmetros no espaço de possibilidades que geram o resultado final.

De acordo com uma das características da estratégia, a escolha da forma inicial é livre, e sua geração pode ser dada por parâmetros (parametrizada) ou modelada em 3D tradicionalmente, estando de tal modo que a estratégia se adequa a ela. A isto associa-se a diretriz Flexível e, portanto, para esta máquina abstrata, realizou-se uma forma aleatória por modelagem tradicional, partindo do exemplo dado pelos alunos para aplicação da superfície – uma parada de ônibus.

Encontram-se no script da máquina abstrata desta estratégia as diretrizes como módulos e modelos, de acordo com as resoluções vistas no capítulo 2 (item 2.3.1) e seus resultados podem ser visualizados a cada etapa que se conforma suas conexões e fluxos no software, como é o caso da diretriz Estrutural (ver Apêndice #01), encontrado na estratégia com sua representação visual conforme a Figura 24.

Figura 24– Representação visual da diretriz Estrutural



Fonte: Autor

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Como toda máquina abstrata tem a possibilidade de manipulação de suas entidades, é possível verificar modificações da diretriz utilizando a mesma forma inicial, visualizado na Figura 25.

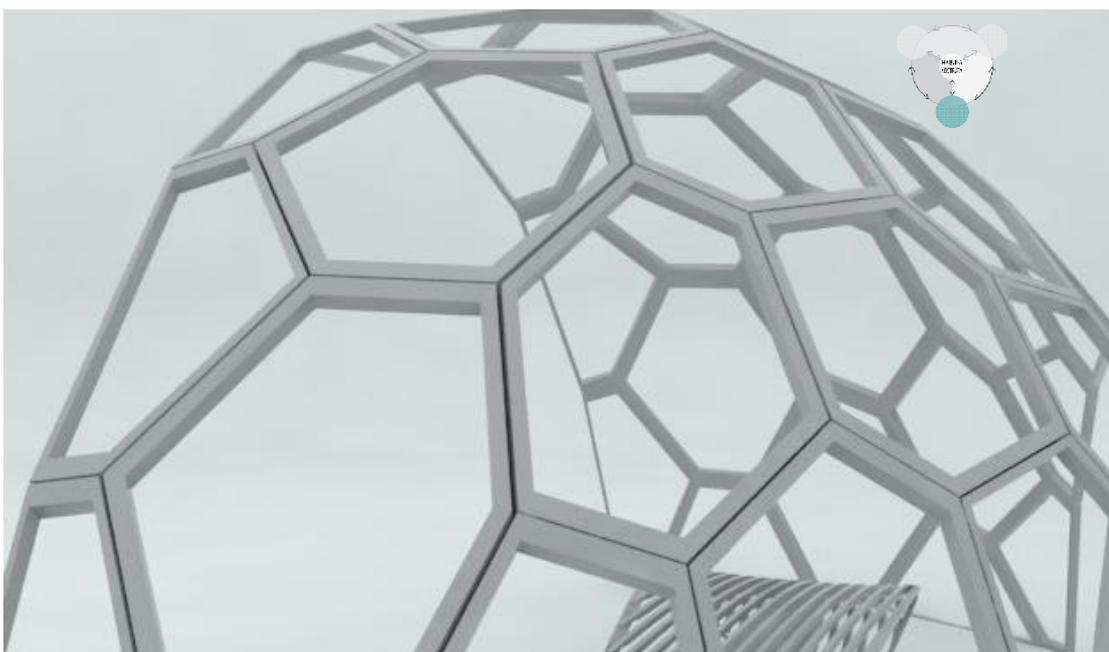
Figura 25– Resultado da manipulação de parâmetros da diretriz estrutural



Fonte: Autor

Nestas estruturas, no arranjo de seus componentes estão as entidades que geram as calhas na estrutura servindo de suporte para o caminho que o volume de água deve percorrer até a base da estrutura no piso, concordando com a estratégia. Suas dimensões estão parametrizadas, podendo sofrer alterações para mais ou menos, ocasionando seu alargamento ou estreitamento, respectivamente (Figura 26).

Figura 26– Detalhe da calha na estrutura



Fonte: Autor

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Verifica-se que nas estruturas apresentadas, segue-se o padrão hexagonal conforme a ilustração obtida no workshop, no entanto, é possível adicionar um script com componentes do software Grasshopper que permitem uma adequação estética ao que é encontrado na natureza, associando aos exemplos do tecido parenquimático obtidos por Rattes (2013). Assim sendo, optou-se por explorar este fundamento, para exemplificar com mais relevância a capacidade que as máquinas abstratas têm quando se manipula suas entidades e não se altera sua proposta (ver Apêndice #02).

Figura 27– Estrutura orgânica associada ao parênquima do Mandacaru



Fonte: Autor

Associado a isto, é possível avançar no processo do processo das diretrizes. Logo, como as diretrizes Estrutural e Flexível já foram atendidas na máquina abstrata, inicia-se as diretrizes Absorção e Armazenamento, formando a malha interna e a película que reveste cada hexágono ou **célula**– a

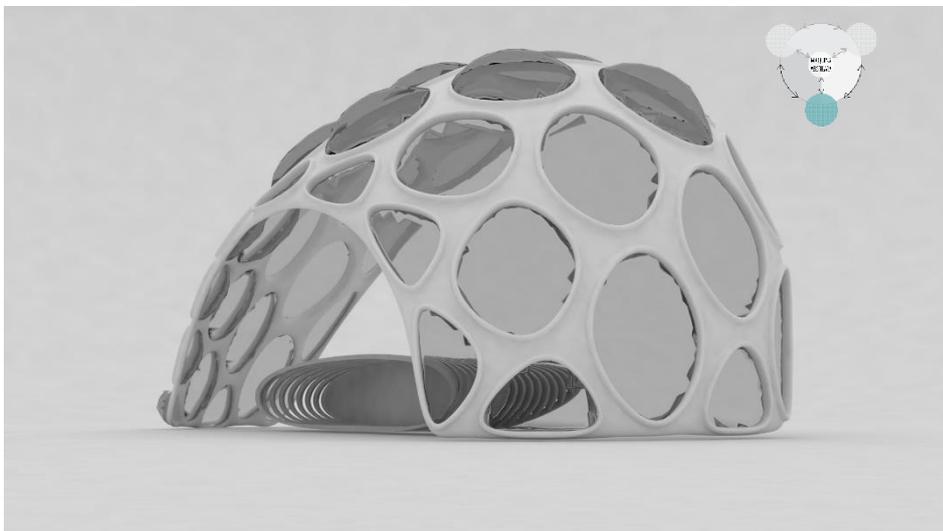
**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

partir do momento que utilizamos os componentes que geram um formato celular, nos referiremos a partir de então a cada estrutura isolada, que antes era um hexágono, por célula.

Sendo assim, de acordo com a estratégia dos alunos, estas células sofrem uma deformação gravitacional conforme a sua horizontalidade ou verticalidade, já visto nas ilustrações. Para isto, houve a necessidade de criar uma programação contendo algumas regras dentro do espaço de possibilidades, gerando uma série de entidades formando um componente capaz de realizar as deformações levando em consideração o vetor Normal (perpendicular à superfície) de cada célula (ver Apêndice #03). O resultado se observa na Figura 28.

Figura 28– Células com película de acordo com a estratégia



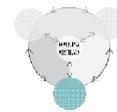
Fonte: Autor

Da mesma maneira que a película de cada célula segue a programação do vetor Normal, a malha interna também a acompanha, no entanto, na estratégia original ela foi idealizada por um padrão hexagonal, e neste caso, foram utilizados componentes originando uma analogia as células do parênquima, assemelhando-se a estrutura da superfície (Ver Apêndice #04 e #05).

Figura 29– Estrutura da malha interna

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar



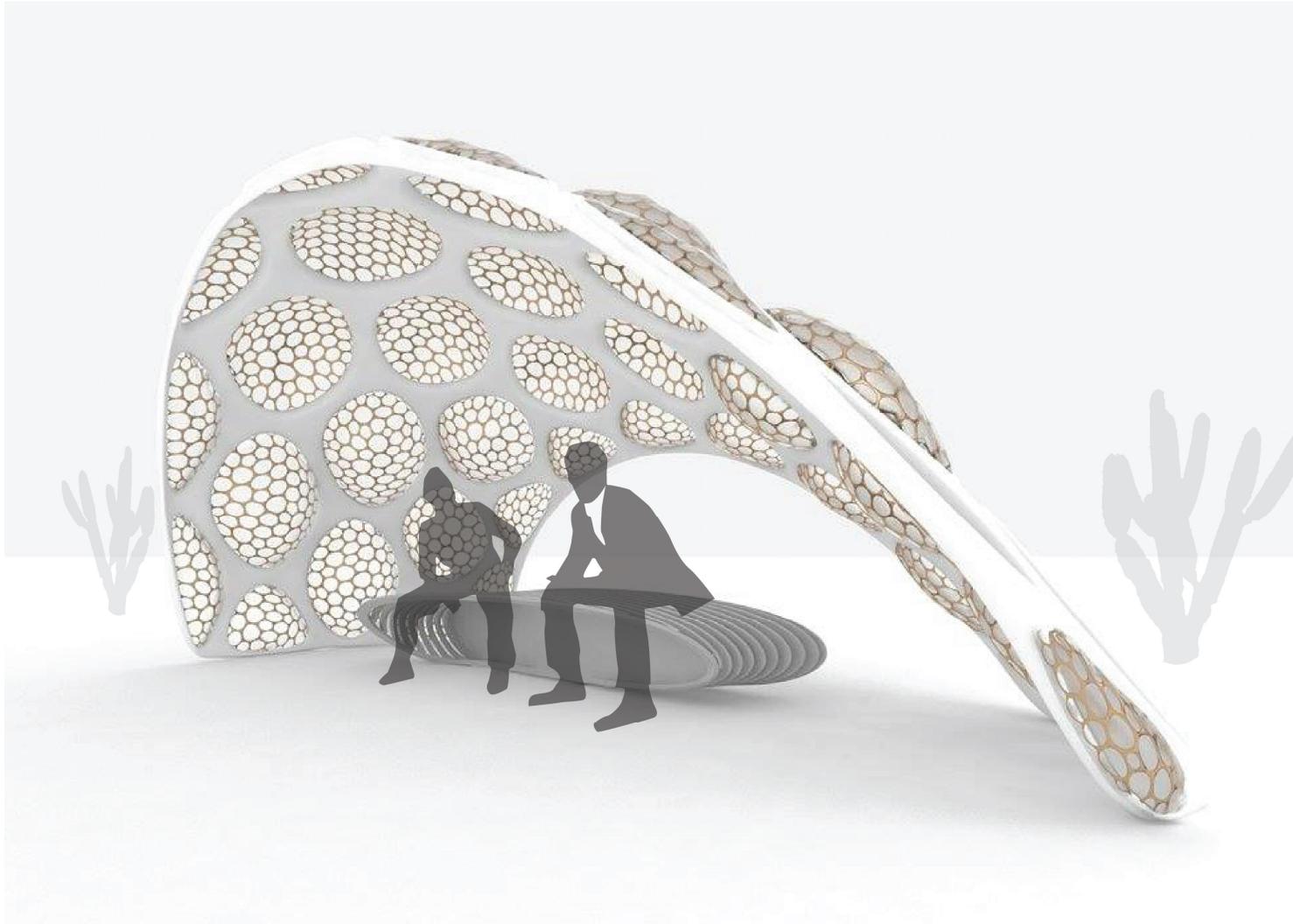
Fonte: Autor

Assim, finaliza-se a programação do script, ou seja, o processo do processo originando uma máquina abstrata permitindo a visualização de um resultado adequando-se a uma forma qualquer. Por fim, apresenta-se o resultado situado no semiárido, cenário idealizado concordante com a ideia original dos alunos no workshop. As imagens foram renderizadas a partir do software *V-ray* para *Rhinocerus* (Figuras 30 a 32).

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | **Rafael Rattes L. R. de Aguiar**

Figura 30– Render Final - Estratégia inserida no contexto #01

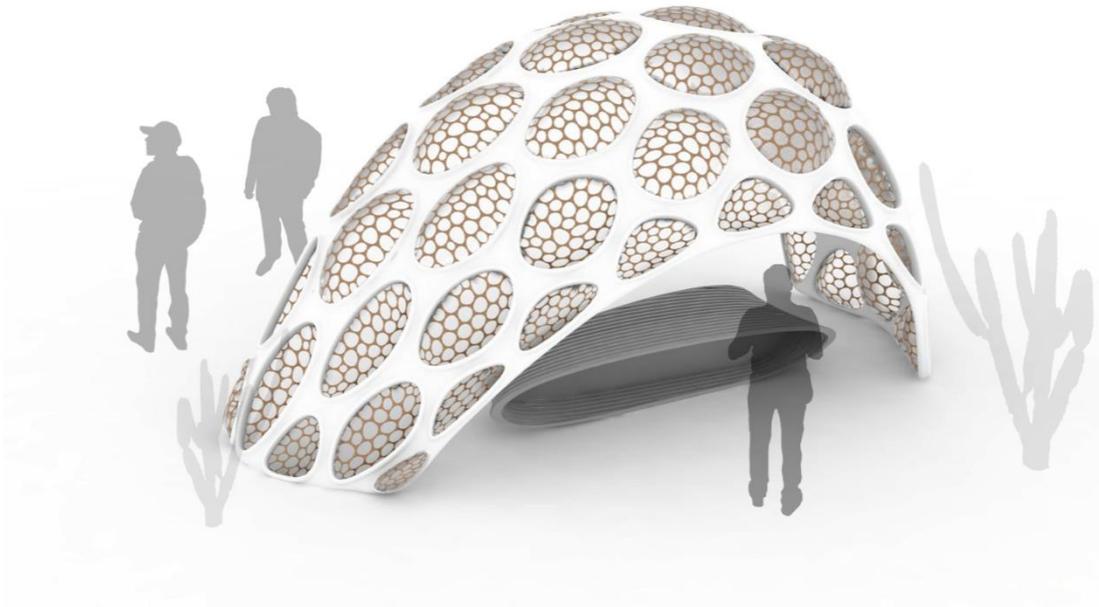


Fonte: Autor

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

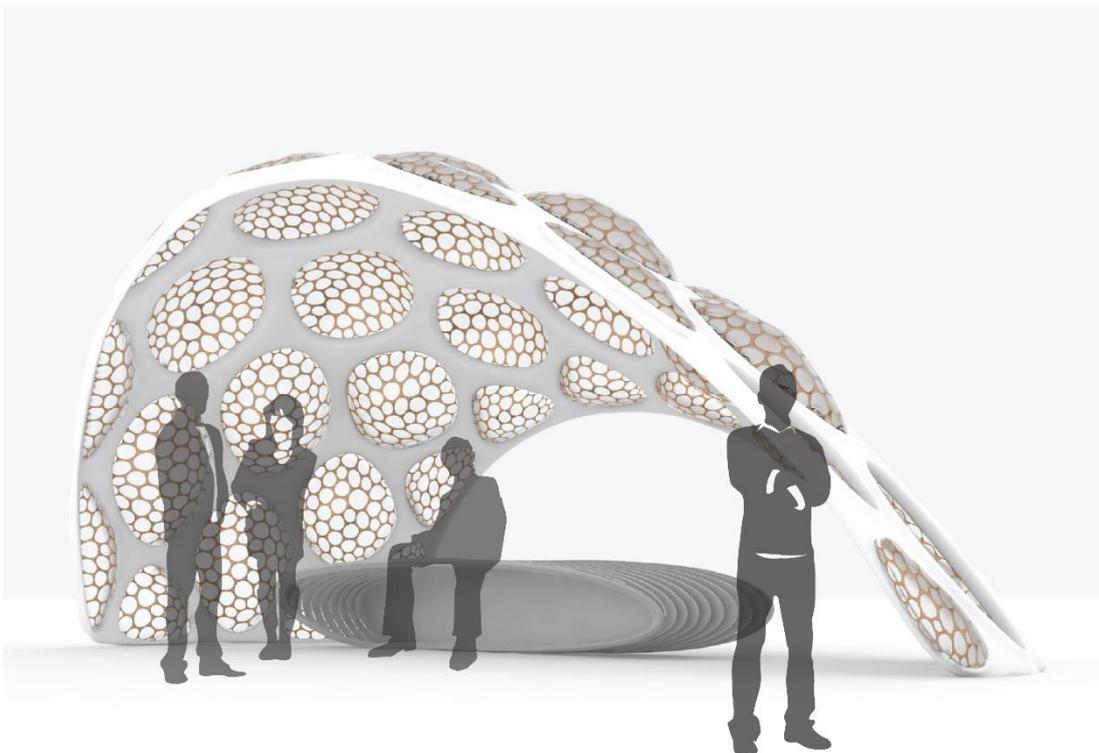
Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

Figura 31– Render Final - Estratégia inserida no contexto - #02



Fonte: Autor

Figura 32–Render Final - Estratégia inserida no contexto - #03



Fonte: Autor

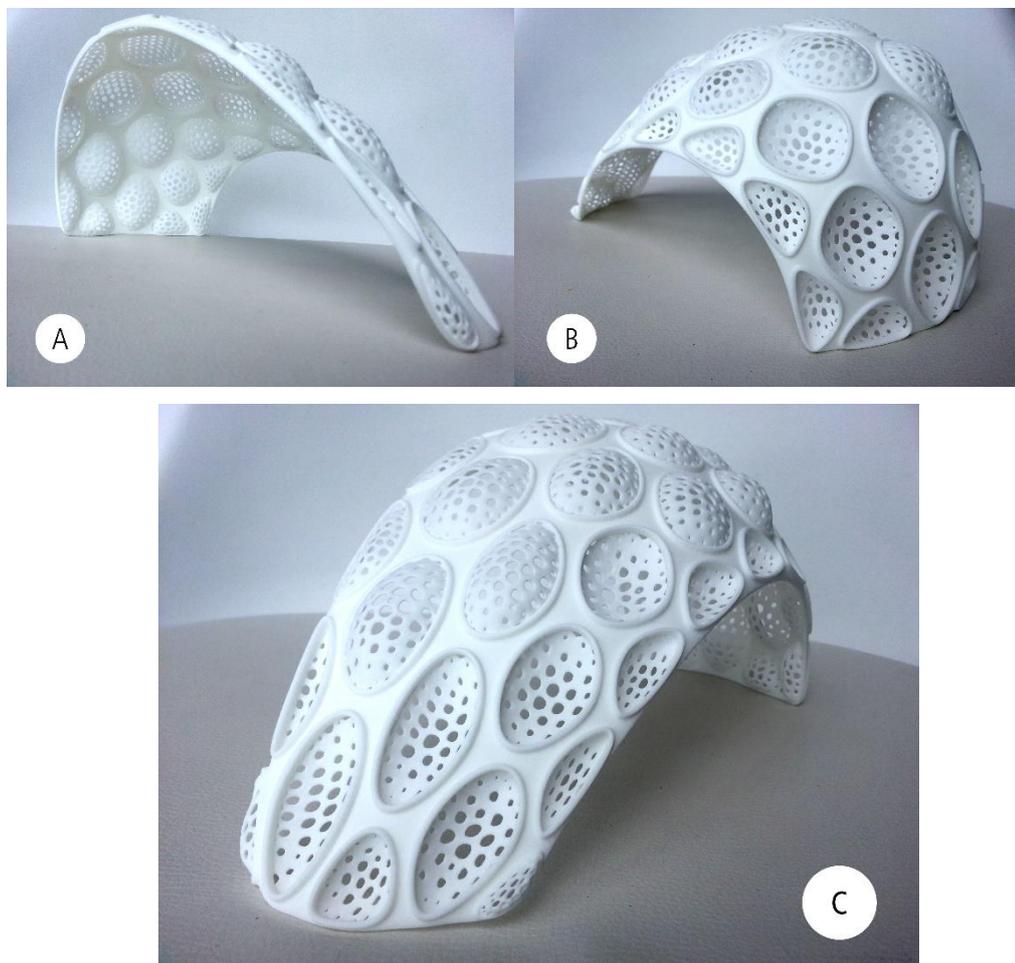
Com isto, dando continuidade ao processo, foi possível encaminhar o arquivo do modelo 3D resultante em escala reduzida para impressão 3D através do serviço da empresa Shapeways©. O

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

modelo serve de base para compreender os aspectos estéticos, e principalmente, funcionais quanto ao processo de impressão 3D. Um aspecto relevante e que corrobora com a característica das máquinas abstratas, provando o procedimento aqui realizado, é que existe uma especificação de espessura mínima do modelo para a impressão 3D. Neste caso, as paredes da malha interna das células estavam além do especificado, portanto, através da capacidade da máquina abstrata executada por esta pesquisa, bastou ajustar as entidades relativas a este parâmetro que o modelo se tornou apto a impressão no maquinário específico. Como resultado, foi obtido uma peça com as dimensões: 25 cm de largura, 11,1 cm de altura e 11,7 cm de profundidade (Figura 33).

Figura 33– Resultado impressão 3D - Modelo reduzido. A . Visada frontal; B . Visada posterior esquerda; C . Visada Posterior Direita.



Fonte: Autor

A materialidade da superfície concreta pode ser trabalhada conforme a necessidade, porém, originalmente na estratégia, há existência de materiais ou propostas de materiais que talvez sequer existam na atualidade, o que impediria de ser realizada integralmente a ideia inicial. No entanto, em

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

pesquisas futuras pode-se tentar atribuir materiais similares em características e buscar verificar a eficiência da estratégia no mundo artificial.

Quanto a isto, salienta-se a existência de *plug-ins* capazes de gerar simulações realistas de materiais, intempéries naturais, verificação estrutural, entre tantos outros, mas que no presente não foi possível executar. No entanto, considera-se como um ponto bastante relevante a ser realizado quando se deseja executar a superfície em escala real.

Portanto, qualquer que seja o tamanho, espessura, limitação de maquinário e até mesmo de material, pela possibilidade de se manipular as entidades da estratégia, sem necessariamente haver alteração nas outras entidades prejudicando o resultado, as máquinas abstratas apresentam um ponto positivo no novo mercado da fabricação digital, que vem se consolidando cada vez mais no mundo.

Salienta-se que no contexto do Grasshopper é possível considerar a atuação no espaço de possibilidades como uma forma infinita, deixando a cargo do metadesigner decidir quando está suficiente. Em função disto, uma estratégia iniciada pode adquirir novas diretrizes ou ter alguma retirada, ocasionando novas aplicações e novos direcionamentos para o script iniciado.

Desta maneira, prova-se que mesmo a partir de uma única diretriz é possível ter inúmeros resultados, gerando tipos diferentes de artefatos. Logo, no contexto do Metadesign, fica claro que as máquinas abstratas realizadas nos workshops podem ser direcionadas para a atuação em níveis de abstração mais próximo da concretude facultando ao metadesigner a domínio e a escolha do resultado, ou até mesmo, em conjunto com o usuário estabelecer o que for necessário e obter o resultado que almeja.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou associar o conhecimento existente na natureza, adequando-o ao campo do projeto, porém, incorporando-o no mundo complexo, sendo ele mesmo complexo. Observou-se que a natureza é, de fato, uma grande mentora para o homem quando a busca em suas atividades na construção do mundo artificial. Da mesma forma que se percebeu na complexidade da natureza, coerente conforme a camada e nível de abstração que se encontra o trabalho, considerou-se nesta pesquisa que o Metadesign, principalmente através da abordagem sugerida por Vassão (2010), é adequado ao processo do processo na construção de designs inspirados na natureza conforme a Biomimética traz à tona.

Compreendendo os níveis de atuações do metadesigner, considerados pela percepção da complexidade e no momento que se insere no contexto de projetar processos, sem buscar um resultado comum e final, mas um processo que lhe permita coletar inúmeros resultados, observou-se que o Metadesign lhe facultava a realização e considera-se que para projetos, relativos ao fenômeno da fabricação digital, é possível ter por resultados a geração de meta-objetos com eficiência.

Desta maneira, percebeu-se que é bastante positivo e relevante, seja para a área de projeto como para a academia, o modo que a presente pesquisa desenvolveu a incorporação da Biomimética e o Metadesign num projeto como suporte para a geração de máquinas abstratas, sendo passíveis a execução mediante ferramentas de suporte ao Design Paramétrico. Portanto, ao tomar como ponto de partida, assim como, servindo de estudo de caso, a pesquisa realizada por Rattes (2013), particularmente o parênquima encontrado no Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), foi possível verificar a eficácia da união entre as duas áreas abordadas pela proposta do Modelo Gerador de Máquinas Abstratas. Consequência de uma necessidade verificada mediante as abordagens elaboradas pelas duas áreas, sendo independentes entre si, assim como, por não ter encontrado um suporte capaz de gerar associações entre as abordagens. Desta forma, acredita-se que o modelo gerado obteve eficiência, podendo tornar-se um procedimental para próximas pesquisas com este foco.

Sendo assim, observa-se que as Máquinas Abstratas são, de fato, a incorporação do projeto em níveis de abstrações mais superiores, facultando as inúmeras possibilidades cabíveis ao projeto que se inserem. Elas servem de suporte para consolidação de estratégias em ambiente altamente flexível, e principalmente, no tocante as tomadas de decisões. É percebido, também, que o design paramétrico se enquadra neste contexto, tendo o software *Grasshopper* como o ambiente de possibilidades. Os resultados dados pelos workshops, assim como, a configuração e execução da estratégia selecionada demonstrou a eficiência desta abordagem.

Desta forma, aponta-se como um desdobramento futuro da pesquisa a possibilidade de atuar no contexto da fabricação digital e suas consequências de mercado, como um cenário adequado ao presente trabalho. Aponta-se que o script realizado para gerar a máquina abstrata pode ser considerado como um programa, capaz de ser transformado num componente do *Grasshopper* e ser comercializado. Desta maneira, de acordo com este recorte de atuação, os metadesigners poderiam estar focados em propor estratégias e gerar suas máquinas abstratas, formando um nicho de atuação, diferente de como ocorre no modelo tradicional de projeto, com foco na realização de um único artefato. Estas máquinas abstratas em formatos de programas, são os meta-artefatos desses metadesigners. Serviriam para criar uma cadeia de estratégias passíveis a execução mediante a necessidade do usuário. Neste pensamento, pode-se entender conforme elucidado Soddu (1989) acerca do projeto, em que são elaboradas as “espécies de design”. E mais, pela característica participativa encontrada tanto no Metadesign como na Biomimética, observa-se que este gênero de atuação permite o usuário dispor uma parcela de atuação, ajustando as máquinas abstratas ao seu interesse no momento da concretude do objeto, fortalecendo o aspecto simbólico do produto.

A isto, entende-se a possibilidade do surgimento de um impacto social relevante, provocado por esses meta-artefatos. As formas de relações entre o usuário e objeto poderiam se estreitar, consequência do caráter participativo, da ética do projeto, do relacionamento do homem com a natureza e sua reconexão pelos princípios da vida, que acabam acarretando na forma de lidar com a posse, e talvez, sendo uma forma eficaz de contribuição para a vigência dos aspectos da sustentabilidade. Da mesma forma que, ao buscar compreender os aspectos de emergência pertinentes ao uso dos artefatos num mundo complexo, a propriedade de modularização empregada nas máquinas abstratas, ou os ajustes de suas entidades no momento do processo, viabilizam as inúmeras possibilidades que os usuários podem prestar modificações, associando-as ao que for mais agradável e útil. Pode-se considerar, talvez, que este tipo de atuação do usuário venha a contribuir para a cultura material, principalmente no aspecto em que tange as repercussões de identidade do homem pós-moderno. Acredita-se na capacidade de relativização dos objetos do seu entorno, ajustando-se conforme o desejo de qualquer sociedade, fruto da consideração dos aspectos de Emergência presente nos artefatos.

De outro modo, aponta-se para outros desdobramentos futuros relativos ao processo da subjetividade na escolha e execução da forma. Até que ponto a natureza e seus princípios podem direcionar o manejo das formas num projeto de design? Estaria o metadesigner sempre exposto a sua intuição, e conseqüentemente, sua influência sobre os dados levantados, haja vista que a natureza já possui suas formas declaradas? Além destes questionamentos, aponta-se para os processos dados

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

pela limitação do ambiente de possibilidades em que esteja atuando e sua influência no processo das formas.

Observa-se também, um vasto território de pesquisa na tentativa de compreender as relações entre os níveis de abstração e a atuação do metadesigner, e como isto pode influenciar no desenvolvimento de artefatos. Nesta pesquisa observou-se que nos workshops o nível de abstração foi bastante favorável a elaboração de metartefatos, sendo capazes de atingir diferentes níveis, estando até mais próximos da concretude.

Por fim, ressalta-se a contribuição de contexto cultural dada a esta pesquisa através da escolha do estudo de caso, o Mandacaru, pelo fato de ser uma espécie endêmica da caatinga, trazendo à tona as qualidades do regionalismo, uma voltar o olhar para este bioma tão rico e maravilhoso. É uma forma de contribuir, humildemente, na proliferação do conhecimento da biodiversidade existente na região Nordeste, e principalmente, pela sua grandiosidade mediante a nossa limitada visão.

Assim sendo, compreende-se o estado da arte desta pesquisa, limitada pelo tempo e contexto, além da própria subjetividade do autor e dos participantes da mesma. Contudo, como a própria natureza nos ensina, o tempo é um bem valioso e nos aprimora cada vez mais.

## REFERÊNCIAS

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: Outubro 2014.

BAXTER, Mike R. **Projeto de produto**: guia prático para o design de novos produtos. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2000.

BENYUS, Janine M. **Biomimética**: Inovação inspirada pela natureza. Ed. Pensamento-Cultrix, 2003.

BIOMIMICRY 3.8. **Biomimicry Design Lens**. Disponível em: <<http://biomimicry.net/about/biomimicry/biomimicry-designlens/>>. Acessado em: Outubro 2014.

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

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **A Questão da Água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE/ANA, 2012.

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

BRITO, Luiza Texeira de L.; SILVA, Aderaldo de Souza. **Água de chuva para consumo humano e produção de alimentos**. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Belo Horizonte, MG, 2007.

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

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

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

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: Julho 2015.

GALVÍNCIO, JosiclêdaDomiciano; MOURA, Magna Soelma B. de. **Aspectos climáticos da captação de água de chuva no estado de Pernambuco**. In: Revista de Geografia, vol. 22, n. 2, p. 96-113. Recife, 2005.

GIACCARDI, Elisa. **Principles of Metadesign**: processes and levels of co-creation in the new design space. 2003. Tese de doutorado apresentada à Universidade Plymouth. Disponível em: <<https://pearl.plymouth.ac.uk/handle/10026.1/799>> Acessado em: Julho 2015.

GIACCARDI, Elisa. (2005). **Metadesign as an Emergent Design Culture**. In: Leonardo, 38:2. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.128.6276&rep=rep1&type=pdf>> Acessado em: Julho 2015.

GRUBER, Petra. **Biomimetics in Architecture**. Strauss GmbH, Mörlenbach, Alemanha: SpringerWienNewYork, 2013.

HERNANDEZ, Carlos Roberto Barrios. **Thinking parametric design**: introducing parametric Gaudi. In: Design Studies. v.27. n.3. p.309-324. Maio, 2006.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the digital age**: design and manufacturing. New York: Taylor & Francis, 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.

LÖBACH, Bernd. **Design Industrial**: bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Editora Blücher, 2001.

MARGOLIN, Victor; MARGOLIN, Sylvia. **Um “modelo social” de design**: questões de prática e pesquisa. Revista design em foco, Salvador, v. 1, n. 1, p. 43-48, jul./dez, 2004.

MONEDERO, Javier. **Parametric Design**: A Review and Some Experiences. In: Automation in Constrution. v.9. p.367-377. Julho, 2000.

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

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.

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

PAPANEK, Victor. **Design for the real world**. New York Ed. Bantam boks, 1971.

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.

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: Agosto 2014.

QUEIROZ, Natália, RATTES, Rafael & BARBOSA, Rodrigo. **Biônica e Biomimética no Contexto da Complexidade e Sustentabilidade em Projeto**. In: *Design Contexto: ensaios sobre design, cultura e tecnologia - Design & Complexidade*. Org. Amilton Jose Vieira de Arruda. Vol. 1. Cap.7. p.127-144. Ed. Universitária: Recife – PE, 2015.

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: Maio 2014.

RATTES, Rafael Aguiar. **Mandacaru: princípios pró-design**. Caruaru, 2013.

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 Cactáceas 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: Cactaceae 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: Agosto 2014.

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

SILVA, Danilo Émmerson Nascimento. **Projetando produtos sociais**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2009.

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

SODDU, Celestino (1989). **Città Aleatorie**. 2ed. Milano: Domus Argenia Editore, 2009.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Área de Atuação da SUDENE - O Semiárido Nordestino**. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/area-de-atuacao-da-sudene/semiario>>. Acessado em: Outubro 2014.

**Biomimética aplicada ao Metadesign:**

Geração de Máquinas Abstratas com base no estudo do Mandacaru | Rafael Rattes L. R. de Aguiar

TAYLOR, N.; SANTOS, M.R.; LAROCCA, J.; ZAPPI, D. **Cactaceae** in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1447>>. Acesso em: Setembro 2014.

VASSÃO, Caio Adorno. **Arquiterura Livre**: Complexidade, Metadesign e Ciência Nômade. Tese de Doutorado. São Paulo: FAUUSP, 2008.

VASSÃO, Caio Adorno. **Metadesign**: Ferramentas, estratégias e ética para a complexidade. São Paulo: Blucher, 2010.

VETTORETTI, Ana Claudia. **Bancos para ler e conversar**: parâmetros de projeto para sistema de design generativo. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura, Porto Alegre, 2010.

WAHL, D. C. **Bionics vs. biomimicry**: from control of nature to sustainable participation in nature. In C. A. Brebbia (Ed.), Design and Nature III: Comparing Design in Nature with Science and Engineering, v. 87. p.289-298, WIT Press, 2006.

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

## GLOSSÁRIO

Termos vistos no decorrer da pesquisa:

**Ambiente de Possibilidades:** atua em níveis de abstração superiores ao espaço de possibilidades, em que a materialidade não é tão iminente.

**Artefatos Hidrofílicos:** qualquer objeto projetado que seja capaz de absorver, armazenar, reter ou que apresente qualquer outra afinidade com a água.

**Espaço de Possibilidades:** espaço abstrato agenciado e condicionado por regras, procedimentos, fórmulas ou algoritmos que manipula (VASSÃO, 2010). Um software é um exemplo de um espaço de possibilidades, em que a materialidade é iminente.

**Máquinas abstratas:** regras e procedimentos agenciando a realidade gerando inúmeras possibilidades projetuais (VASSÃO, 2010)

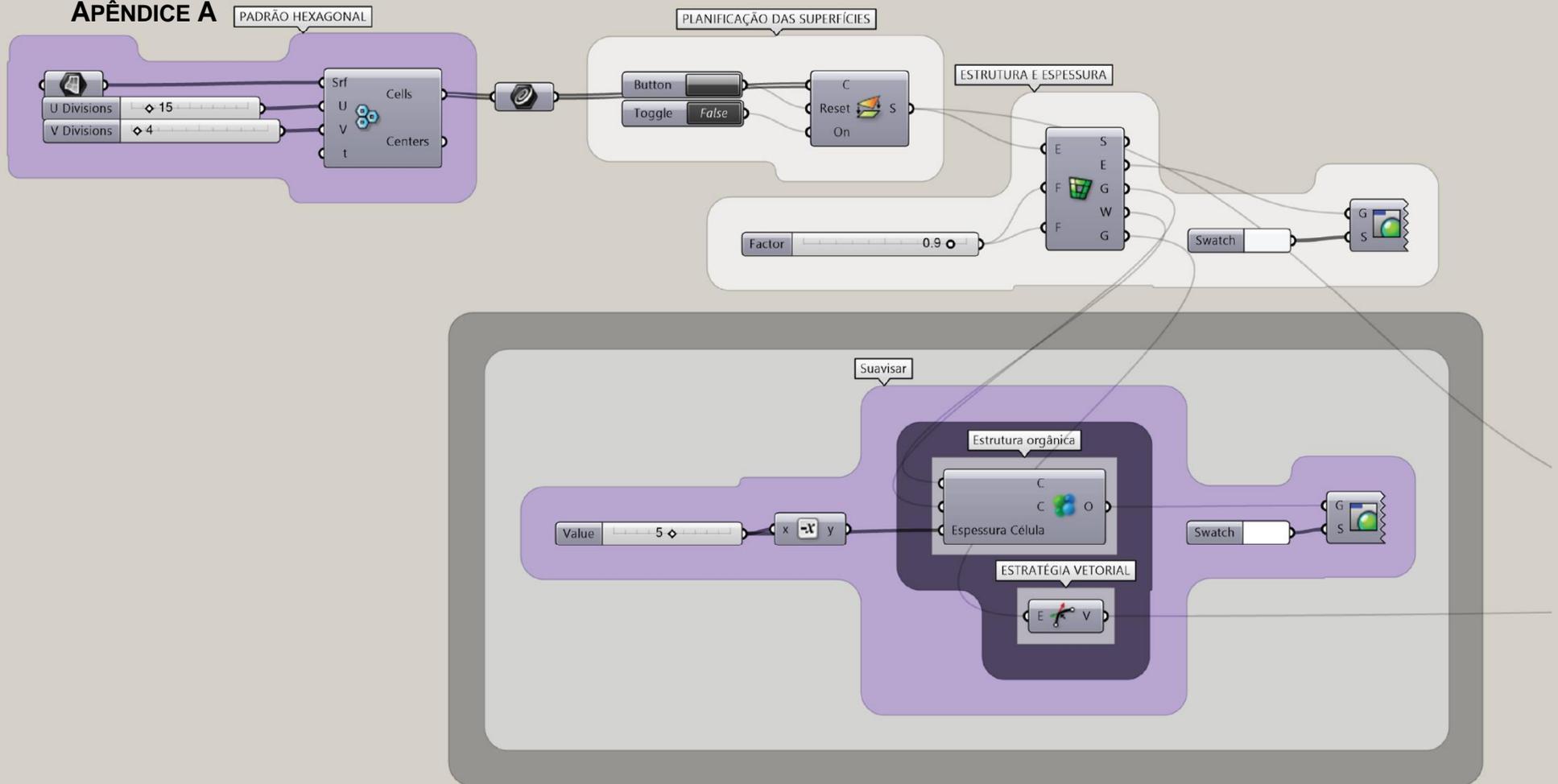
**Meta-artefatos:** Indicação e regras de composição que norteiam o desenvolvimento do produto (VASSÃO, 2010)

**Metadesigner:** atuante na complexidade que projeta processos e meta-artefatos

## APÊNDICES

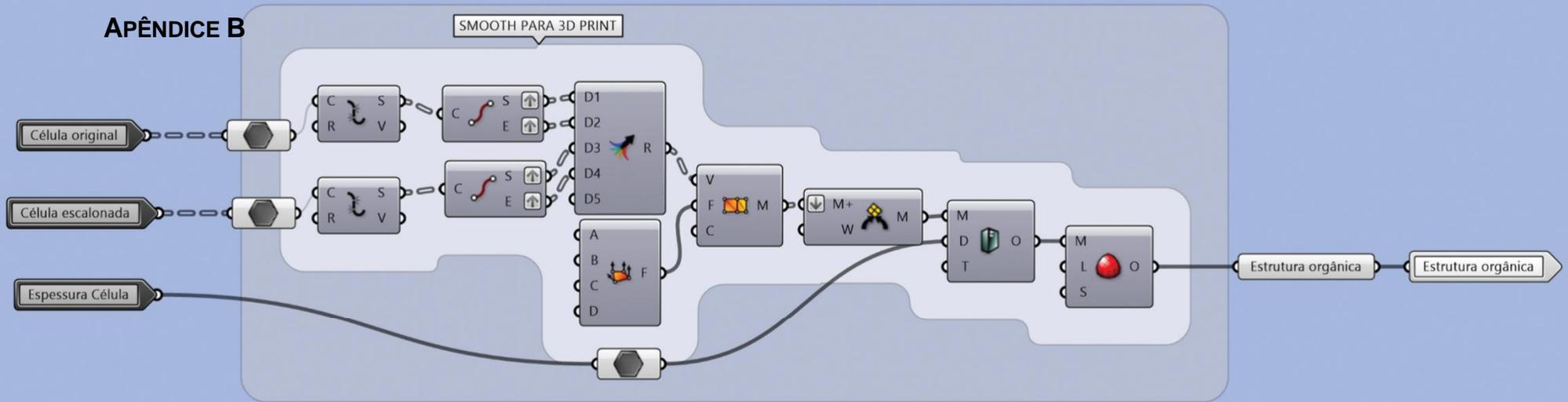
### #01 - Máquina Abstrata - Diretriz Estrutural

#### APÊNDICE A

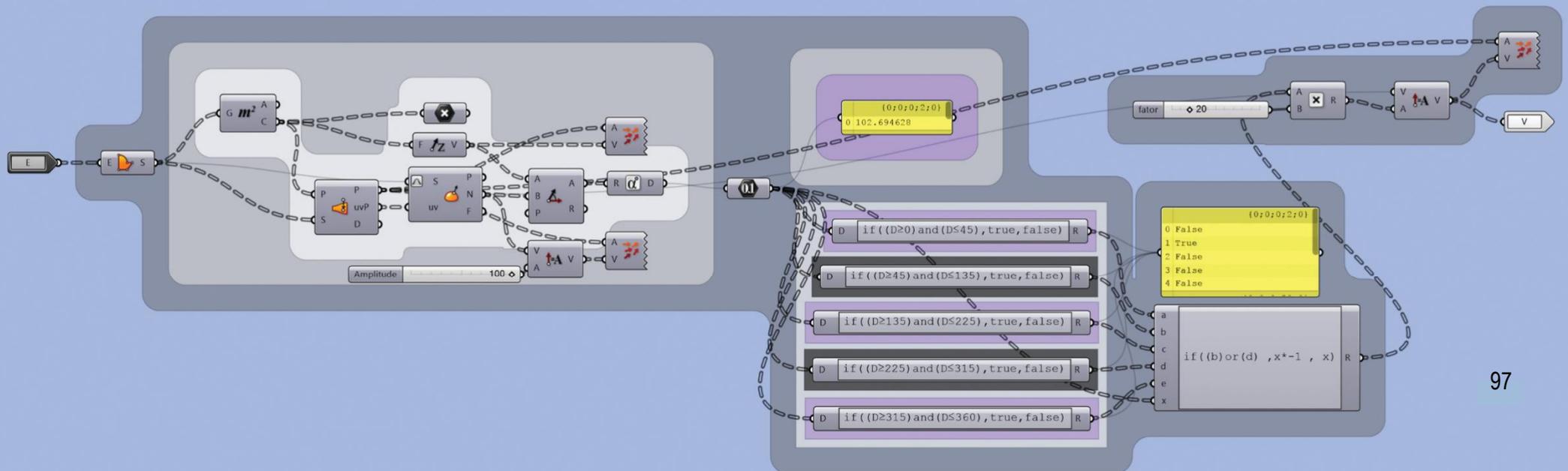


### #02 - Máquina Abstrata - Estrutura Orgânica

#### APÊNDICE B

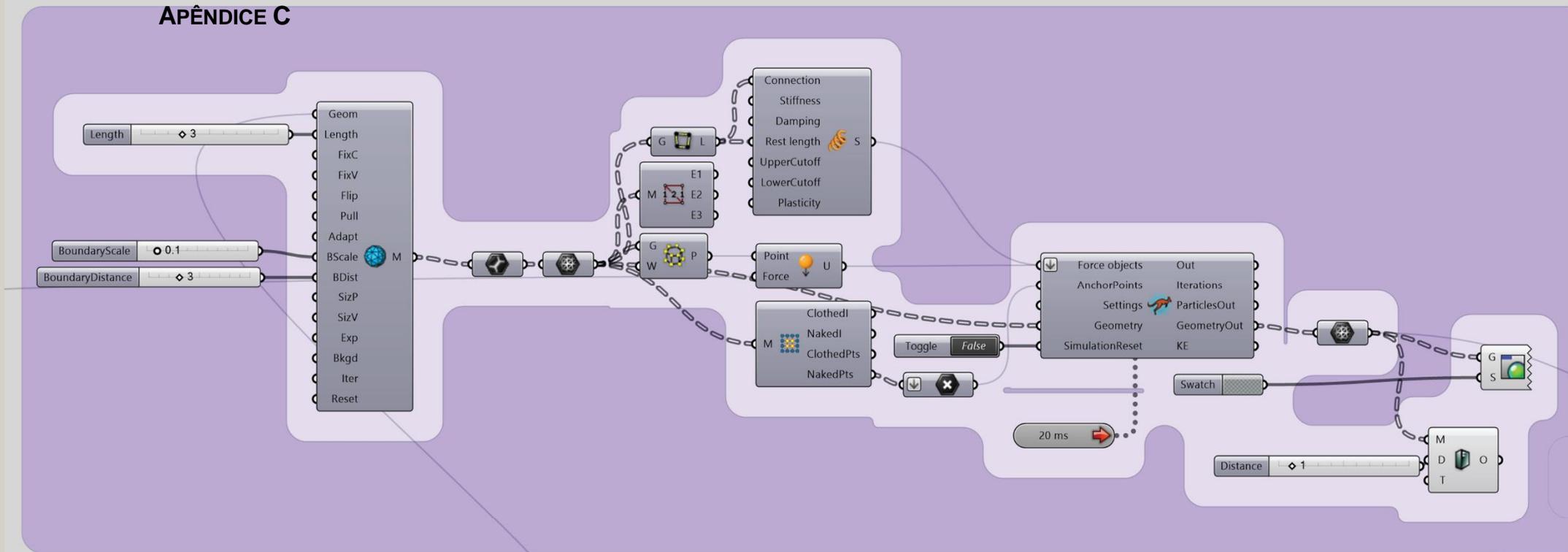


### #03 - Máquina Abstrata - Estratégia Vetorial Normal



#04 - Máquina Abstrata - Película

APÊNDICE C



#05 - Máquina Abstrata - Malha Interna

