



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA 'JÚLIO DE MESQUITA FILHO'
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

**DESIGN DE SUPERFÍCIE E COMPLEXIDADE:
INVESTIGAÇÃO DO DESIGN DE PADRÕES GENERATIVOS
E O USO DE ALGORITMOS COMPUTACIONAIS**

Mariana Araujo Laranjeira Boratto

BAURU - 2019

Mariana Araujo Laranjeira Boratto

**Design de Superfície e Complexidade: Investigação do
design de padrões generativos e o uso de algoritmos
computacionais**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design, do Campus de Bauru, na Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Design, sob orientação da Profa. Dra. Marizilda dos Santos Menezes.

Apoio FAPESP - 2017/07647-0

BAURU

2019

Laranjeira, Mariana Araujo.

Design de superfície e Complexidade: Investigação do design de padrões generativos e o uso de algoritmos computacionais / Mariana Araujo Laranjeira, 2019

100 f. il.

Orientadora: Marizilda dos Santos Menezes

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2019

1. Design de Superfície. 2. Complexidade. 3. Design Têxtil. 4. Algoritmos. 5. Padronagem. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARIANA ARAUJO LARANJEIRA BORATTO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 04 dias do mês de setembro do ano de 2019, às 09:00 horas, no(a) Auditório da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação., reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof^a. Dr^a. MARIZILDA DOS SANTOS MENEZES - Orientador(a) do(a) Programa de Pós-graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof^a. Dr^a. FRANCIELE MENEGUCCI do(a) Design de Moda / Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI do(a) Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - UNESP/ Campus de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARIANA ARAUJO LARANJEIRA BORATTO, intitulada **Design de Superfície e Complexidade: Investigação do design de padrões generativos e o uso de algoritmos computacionais**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof^a. Dr^a. MARIZILDA DOS SANTOS MENEZES



Prof^a. Dr^a. FRANCIELE MENEGUCCI



Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI



COMISSÃO EXAMINADORA

Orientadora Profa. Dra. Marizilda dos Santos Menezes

Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação -
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru/SP

Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli

Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação -
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru/SP

Profa. Dra. Franciele Menegucci

Design de Moda / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul
de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento vai para meu marido e companheiro Miguel. Seu apoio incondicional foi essencial para que eu atravessasse todas as intempéries que surgiram durante a realização deste projeto e acreditasse na minha capacidade.

Em seguida, quero agradecer aos meus pais, José e Carmen, pela educação e motivação que me deram ao longo da vida. Seus ensinamentos foram a base para que eu me aventurasse nessa jornada.

Também presto aqui meus sinceros agradecimentos à professora Marizilda, por assumir minha orientação em um momento difícil e se disponibilizar a me acompanhar na reta final do meu projeto. Sua ajuda e compreensão foram muito significativas na conclusão e no aprimoramento da minha pesquisa.

Por último, e não menos importante, agradeço com todo meu coração ao professor João Fernando Marar. A trajetória que levou à essa pesquisa foi marcada por muitos impactos, e o mais significativo, sem dúvida, foi a perda abrupta e inconsolável do professor Fernando, meu orientador durante maior parte deste trabalho. Algumas pessoas passam pela sua vida e mudam ela completamente, e o Fernando foi uma dessas pessoas ao me abrir portas e me dar oportunidade de fazer parte do programa do mestrado. Acreditou no meu potencial e me incentivou a crescer com seus ensinamentos malucos, me tirando da minha zona de conforto e mostrando que eu podia ir muito além. Confesso que seu falecimento foi muito difícil, e mais ainda por saber que eu chegaria na reta final sem tê-lo ao meu lado. Por isso, encerro meus agradecimentos com ele, meu orientador e amigo. Sei que estaria muito orgulhoso por saber que consegui.

RESUMO

A complexidade é uma propriedade com reconhecimento emergente dentro das ciências, e sua presença está cada vez mais valorizada no desenvolvimento de projetos interdisciplinares. Tratando de lidar com princípios evolutivos e as regras de organização dos sistemas complexos, a complexidade traz conceitos que podem aportar inovações para a área do design e dos métodos de composição de formas e geometrias. Nesse cenário, o design de superfícies é uma especialidade que pode se beneficiar desses novos métodos, principalmente com o avanço das tecnologias digitais e o uso de algoritmos computacionais. Buscando entender a importância da complexidade para o design de superfícies complexas, este trabalho investiga a relação da programação de dados com as metodologias de design envolvidas. Por meio de um estudo de caso, foram pesquisados os projetos que envolvessem os princípios do desenvolvimento de padrões aplicados à área têxtil, estabelecendo a conexão de superfícies bidimensionais e tridimensionais com os sistemas complexos e a utilização de softwares de programação algorítmica, como o Processing e o Grasshopper. Foram realizadas também experimentações que reproduzissem alguns algoritmos de padronagem. Deste modo, o projeto abrange novos caminhos para a concepção do design de superfícies e busca estabelecer parâmetros para o uso de novos processos digitais.

Palavras-chave: Design de superfície; Complexidade; Design têxtil; Algoritmos; Padronagem

ABSTRACT

Complexity is a property with emerging recognition within the sciences, and its presence is increasingly valued in the development of interdisciplinary projects. Trying to deal with evolutionary principles and the rules of organization of complex systems, complexity theory carry concepts that can bring innovations to the area of design with methods of composition of shapes and geometries. In this scenario, surface design is a specialty that can benefit from these new processes, especially with the advancement of digital technologies and the use of computational algorithms. Seeking to understand the importance of complexity for the design of complex surfaces, this work investigates the relationship of data programming with the design methodologies involved. Through a case study, were analyzed projects involving the development of textile design with pattern principles, establishing the connection of two-dimensional and three-dimensional surfaces with complex systems and the use of algorithmic programming software, such as Processing and the Grasshopper. As a consequence of the research, were also performed experiments that reproduced some algorithms for pattern design. In this way, the project covers new ways of improving surface design and establishes parameters for the use of new digital processes.

Key-words: Surface design; Complexity; Textiles; Algorithms; Pattern

GLOSSÁRIO

ARDUINO: Plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única.

BATIQUE: Método manual de estampagem de tecido com o uso de cera.

BIOMIMÉTICA: Forma de pensar que se inspira na natureza a fim de solucionar problemas.

CIBERNÉTICA: Ciência cujo objeto de estudo concentra-se na comparação dos sistemas e mecanismos de controle automático, bem como na regulação e comunicação não só nos seres vivos, porém também nas máquinas.

CROCHÊ: Trabalho manual têxtil feito com agulha em gancho para puxar e trançar a linha.

DESIGN GENERATIVO: Especialidade do design que utiliza algoritmos e inspiração nos sistemas complexos da natureza para o desenvolvimento do projeto.

DESIGN PARAMÉTRICO: Especialidade do design que utiliza parâmetros e regras para a inserção de informações no projeto.

ESTÊNCIL: Trabalho manual onde se utiliza uma matriz perfurada para reproduzir imagens.

IMPRESSÃO 3D: Tecnologia de prototipagem rápida onde o modelo tridimensional é criado por adição de sucessivas camadas de material plástico.

JACQUARD: Tear têxtil de cartões perfurados inventado por Joseph-Marie Jacquard (1752-1834).

MORFOGÊNESE: Crescimento e desenvolvimento das formas e das estruturas de um organismo.

MACRAMÊ: Trabalho manual com barbante ou linha grossa entrelaçada à base de nós.

RAPPORT: Recurso de repetição de módulos em grid para geração de padrões contínuos.

SHIBORI: Técnica de tingimento manual japonesa que utiliza amarrações e torções no tecido.

SERIGRAFIA: Técnica de reprodução de imagens usando um caixilho com tela.

TECELAGEM: Técnica de entrelaçamento de fios em duas direções, trama e urdume.

TESSELAÇÃO: É o recobrimento de uma superfície bidimensional com polígonos.

TRICÔ: Trabalho manual têxtil feito com agulhas longas para puxar e trançar a linha.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Temas tratados na pesquisa.....	15
FIGURA 2 - Representação do movimento aleatório de três corpos.....	18
FIGURA 3 - Representação do atrator estranho e variações.....	19
FIGURA 4 - Representação de um sistema complexo de rede.....	20
FIGURA 5 - Complexidade e teorias afins.....	22
FIGURA 6 - Complexidade efetiva do sistema.....	22
FIGURA 7 - Padrões de reação-difusão encontrados em sistemas da natureza.....	24
FIGURA 8 - Ilustrações da complexidade da natureza.....	24
FIGURA 9 - Instalação de arte inspirada em teias de aranha.....	25
FIGURA 10 - Obras de arte generativa	27
FIGURA 11 - Etapas de projeto: a) projeto em CAD; b) impressão 3D; c) produto	30
FIGURA 12 - Metodologia do design generativo.....	31
FIGURA 13 - Árvore binária no Processing.....	32
FIGURA 14 - a) Rhinoceros; b) Grasshopper.....	33
FIGURA 15 - Representação do fluxograma e a modelagem 3D, respectivamente.....	33
FIGURA 16 - Visualização de código e programa do Processing.....	35
FIGURA 17 - Design generativo desenvolvido com Processing por Casey Reas	36
FIGURA 18 - Metodologia do design.....	40
FIGURA 19 - a) Superfície-envoltório e b) Superfície-objeto.....	41
FIGURA 20 - Processos de produção das superfícies têxteis.....	42
FIGURA 21 - Uso de gramática da forma em ilustrações generativas.....	44
FIGURA 22 - Movimentos de simetria.....	45
FIGURA 23 - a) Têxtil andino; b) Azulejos turcos; c) Cerâmica chinesa	46
FIGURA 24 - Flocos de neve.....	47
FIGURA 25 - Variação entre 2D e 3D de uma superfície com tesselação.....	49
FIGURA 26 -Sistemas visuais generativos.....	50
FIGURA 27 - Tear Jacquard, cartão perfurado e tecelagem digital.....	54
FIGURA 28 - Imagens representando a atividade de tricotar.....	56
FIGURA 29 - Representação gráfica do ponto de tricô.....	56
FIGURA 30 - Superfícies com padrões variados em tricô.....	57
FIGURA 31 - Imagens representando a atividade do crochê.....	58
FIGURA 32 - Tipos de pontos de crochê.....	59

FIGURA 33 - Crochê do plano hiperbólico.....	60
FIGURA 34 - Critérios de seleção dos estudos de caso.....	63
FIGURA 35 - Três seções diferentes de uma mesma padronagem.....	64
FIGURA 36 - Representação dos autómatos celulares e a padronagem.....	65
FIGURA 37 - Aplicação de filamento no tecido.....	67
FIGURA 38 - a) Algoritmo; b) Planificação e c) Representação 3D	68
FIGURA 39 - Têxteis em Jacquard da WOVNS.....	69
FIGURA 40 - Padronagem WOVNS.....	70
FIGURA 41 - Representação da modelagem algorítmica da tecelagem.....	74
FIGURA 42 - Representação do código do tricô e os respectivos padrões de trama.....	75
FIGURA 43 - Representação da modelagem algorítmica da tecelagem	76
FIGURA 44 - Superfícies tramadas em crochê com materiais variados.....	77
FIGURA 45 - Superfícies manipuladas no ambiente analógico e digital.....	78
FIGURA 46 - Algoritmo de padronagem da WOVNS.....	80
FIGURA 47 - Alterações do código de padronagem da WOVNS.....	81
FIGURA 48 - Algoritmo do Processing.....	82
FIGURA 49 - Grid criado com algoritmo do Processing.....	83
FIGURA 50 - 6 tipos de módulos de repetição.....	84
FIGURA 51 - Módulos se encaixam na lateral horizontal.....	85
FIGURA 52 - Algoritmo de padronagem aleatória no Processing.....	85
FIGURA 53 - Padronagem gerada pelo Processing.....	86
FIGURA 54 - Módulos coloridos.....	87
FIGURA 55 - Padronagens aleatórias com quantidade de repetição diferentes.....	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Propriedades do sistema complexo.....	21
QUADRO 2 - Classificação dos padrões.....	47
QUADRO 3 - Tipos de padrões básicos.....	48
QUADRO 4 - Ficha guia para estudos de caso.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - Bidimensional

3D - Tridimensional

ABS - Acrilonitrila butadieno estireno, membro da família dos termoplásticos

CAD - Computer Aided Design ou Desenho Assistido por Computador

KISD - Köln International School of Design

MIT - Massachusetts Institute of Technology

NURBS - *Non Uniform Rational Basis Spline* ou B-Spline Racional Não Uniforme

SE - Superfície Envoltório

SO - Superfície Objeto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA E HIPÓTESE.....	14
1.3 OBJETIVO GERAL.....	14
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5 ESTRUTURA DO CONTEÚDO.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 COMPLEXIDADE.....	17
2.1.1 Caos e Complexidade.....	17
2.1.2 Auto-organização e natureza.....	23
2.2 A COMPLEXIDADE PARA O DESIGN.....	25
2.2.1 Design generativo.....	27
2.2.2 O pensamento computacional.....	29
2.2.3 Programação de dados e ferramentas digitais.....	30
2.2.4 Rhinoceros + Grasshopper.....	32
2.2.5 Processing.....	34
2.3 DESIGN DE SUPERFÍCIES.....	36
2.3.1 Delimitando metodologias.....	38
2.3.2 Etapa de criação: Construindo padrões.....	43
2.3.3 Etapa de produção: Estruturação de têxteis.....	51
2.3.3.1 Tecelagem.....	53
2.3.3.2 Tricô.....	55
2.3.3.3 Crochê.....	58
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	61
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	61
3.2 ESTUDO DE CASO.....	61
3.3 EXPERIMENTAÇÕES.....	62

4 APLICAÇÕES.....	63
4.1 ESTUDO DE CASO.....	63
4.1.1 Superfície-envoltório 2D.....	64
4.1.2 Superfície-envoltório 3D.....	66
4.1.3 Superfície-objeto 2D.....	69
4.1.4 Superfície-objeto 3D.....	72
4.2 EXPERIMENTAÇÕES.....	78
4.2.1 Etapa de alteração.....	79
4.2.2 Etapa de reprodução.....	82
4.2.3 Etapa de criação.....	84
5 CONCLUSÃO.....	89
6 REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E JUSTIFICATIVA

A complexidade é um princípio de fundamental importância nas ciências, e tem se apresentado como um conhecimento holístico em pesquisas científicas recentes. Ela é uma característica presente nos sistemas e representa uma condição de organização muito significativa para o entendimento, tanto do meio ambiente e seus elementos biológicos, como das sociedades e as suas interações humanas.

Definir que um objeto ou um sistema apresentam características de complexidade não significa que estes sejam necessariamente complicados ou de difícil compreensão. A complexidade, na verdade, entra na questão das regras de organização, independentemente de haver ordem ou desordem em um sistema. Por isso, ainda que no conhecimento popular as palavras complexo e complicado sejam tratadas como sinônimos, nas ciências isso não se aplica. A palavra complicado tem associação com dificuldade (COMPLICADO, 2019), mas nem todo sistema complexo é difícil, ele pode, na verdade, ser bem fácil de se entender e visualizar. Aceitar essa diferença pode ajudar a reconhecer a complexidade como um conhecimento mais acessível.

Os sistemas complexos podem ser definidos como sistemas que apresentam como característica principal um grande número de elementos simples que interagem e se organizam de maneira complexa, sem que tenham necessariamente um controlador central, favorecendo na construção de padrões visuais e na manipulação de informações que podem se desenvolver e evoluir (MITCHELL, 2009). Nesse contexto, a complexidade, juntamente com os sistemas complexos, é uma ciência gatilho para a onda de avanços que vêm ocorrendo em todos os campos de desenvolvimento, com contribuições para áreas como medicina, biologia, economia e sociologia, e com novas perspectivas na resolução de uma gama de importantes problemas da sociedade (JOHNSON, 2011).

Na ciência dos sistemas complexos, pode-se considerar que o design é uma metodologia essencial (ALEXIOU; JOHNSON; ZAMENOPOULOS, 2010), principalmente pela sua capacidade de configuração de projetos e o uso de ferramentas representativas. Por ser um campo de estudo que abrange diversas disciplinas, o design pode utilizar o pensamento sistêmico e a complexidade como interessantes métodos na solução de problemas e na criação de produtos diferenciados.

A prática do design fundamentado na complexidade é a habilidade chave para lidar com organizações, processos e produtos complexos mais adaptativos e resilientes (RZEVSKI, 2010). Assim, para que possam operar em um mundo cada vez mais complexo, onde tudo parece estar inter-conectado, designers não têm outra alternativa que não a de abraçar a complexidade (INNS, 2010).

Abordar a complexidade associada a diferentes práticas do design, como projeto de produto, moda, superfícies, mídia digital, interiores, planejamento urbano, serviços, entre outros, pode trazer contribuições com relação a temas de investigação e áreas de pesquisa, abrindo portas para perspectivas de aplicação.

Nesse cenário, a pretensão da investigação do design de superfícies está em aceitar a viabilidade dessa especialidade do design em poder se beneficiar com esse novo paradigma através do projeto de formas e estruturas com características particulares de complexidade. Isso porque, a superfície, seja ela têxtil ou de qualquer outro tipo de constituição material, tem uma natureza integrativa e fundamentalmente interdisciplinar na abordagem dos objetos.

Para considerar a aplicação da complexidade no design de superfícies, é necessário entender as superfícies como sistemas, onde nelas estão presentes elementos ou entidades visuais e/ou formais, que apresentam atributos e são regidos por regras e interações no intuito de formar um todo organizado. Essa organização será complexa a partir do momento em que se apresentem inúmeras interações imprevisíveis, e o nível de complexidade será influenciado por diversos fatores.

É válido esclarecer que este trabalho entende o design de superfícies como uma especialidade do design em processo de consolidação, e que o crescimento deste eixo de projeto se sustenta pela expansão de investigações que aportem novos estudos e metodologias para o desenvolvimento criativo. Desta forma, o pouco que se tem de pesquisas e definições desse campo no Brasil foi considerado como diretriz para o entendimento da superfície enquanto um elemento projetual significativo na constituição de um artefato, sem que seja necessário retomar aqui as origens históricas dessa área de estudo estabelecidas por autores como Ruthschilling (2008), Schwartz (2008), Rubim (2010), Rinaldi (2013), Silva (2017), Menegucci (2018), entre outros.

Além disso, no contexto da complexidade aplicada ao design, pode-se considerar também as especialidades que lidam com o design paramétrico e generativo, a partir do momento em que estes aportam, respectivamente, conceitos pertinentes ao uso de parâmetros para delimitar os processos de projeto, e ao uso do pensamento sistêmico e regras algorítmicas para geração de formas com ferramentas digitais (AGKATHIDIS, 2015).

Com o exercício de projetos de design cada vez mais complexos, evoluem as metodologias de design e as ferramentas criativas. O uso indiscriminado do computador abre caminhos para tecnologias digitais de programação e desenvolvimento de algoritmos, assim como novos processos de fabricação. Nesse sentido, a pesquisa realizada neste trabalho tem valor pela sua atualidade e aderência às novas tecnologias e às tendências criativas e projetuais. O designer, então, passa a ter um papel ativo no desenvolvimento de códigos e regras para a construção das formas, inserindo cada vez mais a condição da complexidade na atividade projetual.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA E HIPÓTESE

Considerando o paralelismo entre design de superfícies e complexidade, foram levantados diversos questionamentos que fundamentaram as investigações realizadas, dos quais o mais significativo é:

QUESTÃO DE PESQUISA

Qual a relação dos princípios da complexidade e os sistemas complexos com o design de superfície e o uso de novas tecnologias digitais?

A partir disso se delimitou a hipótese e os propósitos da pesquisa.

HIPÓTESE

A complexidade contribui para o design de superfícies ao instigar novos métodos de construção de padrões pelo uso de algoritmos computacionais.

1.3 OBJETIVO GERAL

Estabelecer parâmetros que levem a novos caminhos da expressão, favorecendo o surgimento de projetos de design de superfícies com características e propriedades de complexidade.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Apresentar a base epistemológica da concepção da complexidade e dos conceitos pertinentes, apontando as origens e a evolução desta linha de pensamento.

Entender como se organizam os sistemas complexos e identificar as relações da complexidade com o design de superfícies.

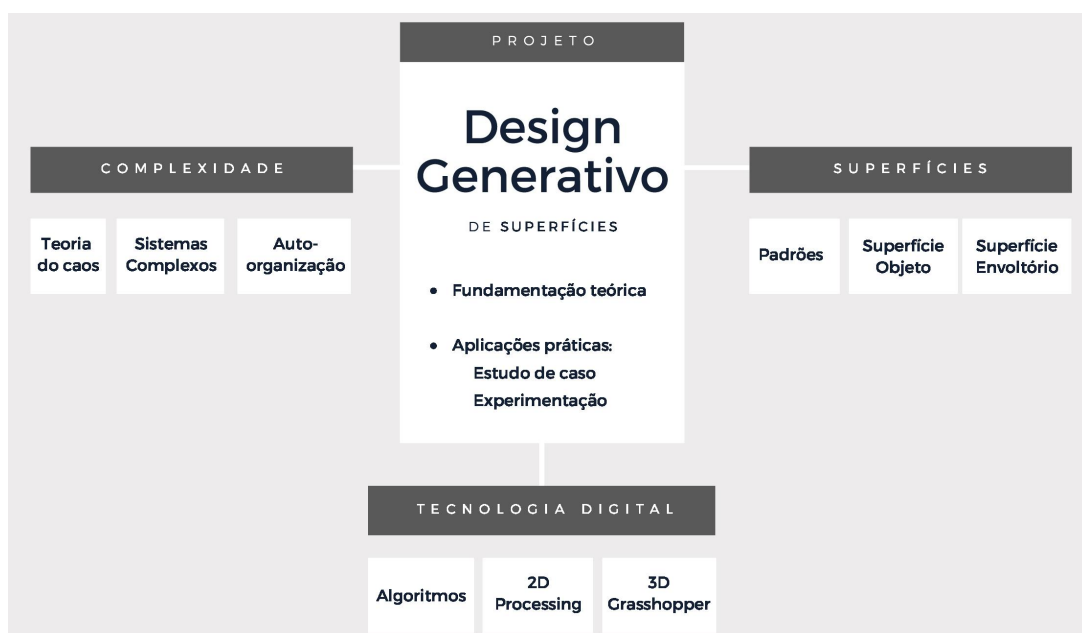
Estabelecer metodologias para o design de superfícies têxteis aplicadas por meio de estamparia e métodos de trama, traçando um paralelismo com novas superfícies complexas.

Trazer à tona conceitos emergentes e eminentes ao processo de design, como as tecnologias digitais, o uso de programação e novos métodos de fabricação.

1.5 ESTRUTURA DO CONTEÚDO

Ao estruturar os temas abordados na pesquisa, acredita-se em três pilares fundamentais de conhecimento: a complexidade, o projeto e as superfícies. A junção da complexidade com a atividade projetual associada ao design desencadeia na constituição do design generativo, juntamente com a tecnologia digital e a utilização de algoritmos. Por outro lado, a associação do projeto com as superfícies é o que formaliza o design de superfícies e os referentes projetos de tramas têxteis construídas e padrões estampados. Todo esse conteúdo foi organizado na Figura 1, para melhor visualização.

FIGURA 1 - Temas tratados na pesquisa



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Em uma visão geral, pode-se afirmar que o conteúdo da pesquisa desta dissertação foi separado em Fundamentação teórica e Aplicações.

Para a fundamentação, o assunto foi distribuído pelos sub-capítulos: Complexidade; Complexidade para o design; e Design de superfícies.

Em ‘Complexidade’, são introduzidos os conceitos pertinentes à complexidade e suas origens na teoria do caos, de modo que se delimitam as características e propriedades principais dos sistemas complexos.

No seguinte ‘Complexidade para o design’, são conectados os conteúdos assimilados previamente com a área do design, buscando determinar o entendimento das relações do design generativo e as novas tecnologias de computação e expressão, abordando também algumas ferramentas digitais disponíveis para o desenvolvimento do projeto.

Por fim, para ‘Design de superfícies’, é formalizada a importância da superfície enquanto elemento foco, estabelecendo conceitos referentes ao design e algumas especificidades do design têxtil e do desenvolvimento de padronagens, de modo que se aceitem os algoritmos como ferramentas essenciais para isso.

Após a revisão de literatura, foi estabelecido o capítulo de Aplicações onde seu conteúdo foi dividido em ‘Estudos de caso’ e ‘Experimentações’. Nesta etapa, são analisados inicialmente casos que aportem os assuntos tratados para que, posteriormente, possa ser estabelecida uma série de experimentações com representações visuais complexas pelo uso de algoritmos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 COMPLEXIDADE

Vivemos em um mundo complexo, constituído de relações de complexidade entre todos os seus elementos, sejam eles as pessoas, as sociedades, e até na natureza que nos rodeia. Mas a percepção da complexidade nem sempre significa o seu entendimento, e para se adentrar nos caminhos insólitos de sua investigação é necessário reagir ao paradigma da simplificação e às filosofias reducionistas, aceitando a complexidade e trazendo novas visões, descobertas e reflexões. Entender a complexidade pode ser a única possibilidade para assimilar a evolução que vivemos na qual tudo se torna cada vez mais incerto e mutável (HEYLIGHEN, 1988).

As pesquisas sobre a complexidade são de longa data e ainda estão em processo de desenvolvimento. Cham (2010) situa que as teorias sobre a complexidade apenas começaram a se estabelecer:

[...] não há uma única teoria unificada da complexidade; mas diversas teorias diferentes surgiram das ciências naturais, matemática e computação, e foram desenvolvidas através da inteligência artificial e da pesquisa em robótica, com outras importantes contribuições advindas da termodinâmica, biologia, física, sociologia, economia e direito. (CHAM, 2010, p. 123, tradução nossa)

Ao estar, claramente, interligada com estudos científicos variados, a essência da complexidade pode ser explicada e entendida por meio de alguns princípios básicos. Desta forma, para fortalecer o conhecimento pertinente às relações entre a complexidade e o design é preciso que, em uma primeira instância, se contemplem alguns dos novos paradigmas da ciência, como a teoria do caos, os sistemas adaptativos, a auto-organização e até a cibernética, tratando de se estabelecer fundamentos e se compreender algumas de suas origens. Estes conceitos serão tratados à seguir.

2.1.1 Caos e Complexidade

Do que conhecemos da história da ciência, o ser humano se enredou inicialmente, e por muito tempo, em pensamentos determinísticos e reducionistas.

O determinismo se caracteriza pela causalidade, onde um evento tem seu comportamento designado pelas suas condições iniciais, sem o envolvimento de elementos

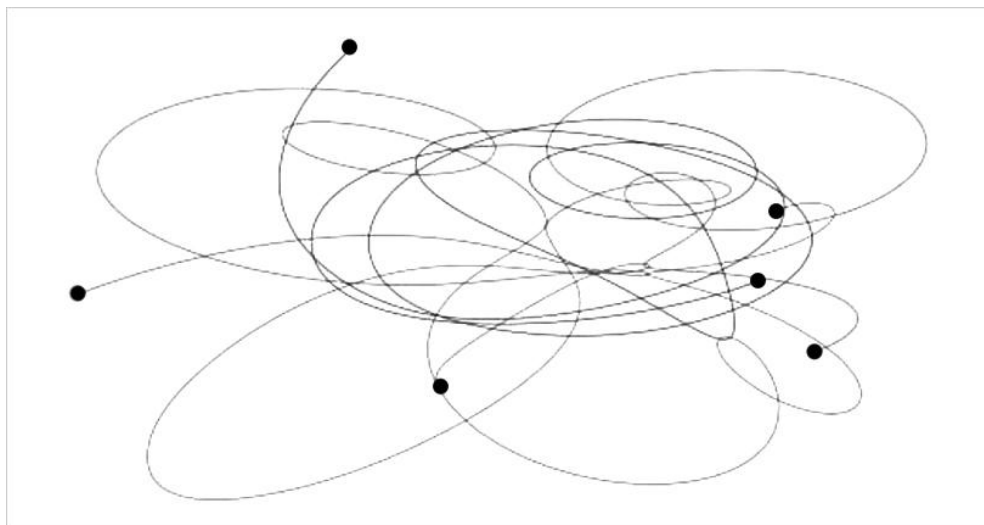
aleatórios. Campos da ciência como a física, a química e a matemática, se fundamentaram no determinismo. Já o reducionismo, fundamenta que o entendimento do ‘todo’ ocorre quando se entendem as suas ‘partes’, reduzindo e, conseqüentemente, simplificando as explicações científicas (JOHNSON, 2011).

No entanto, principalmente no fim do século XIX e início do século XX, surgiram indagações sobre as teorias puramente determinísticas e novas maneiras de racionalizar desencadearam uma evolução na ciência. Os chamados novos paradigmas da ciência fogem dos preceitos propostos pelo determinismo e reducionismo, e têm como base a teoria do caos e a complexidade, assim como os princípios referentes ao pensamento sistêmico, permitindo uma assimilação mais efetiva da estrutura dos sistemas como um todo.

Nesse caminho, a teoria do caos surgiu como consequência de uma série de investigações ocorridas ao longo do desenvolvimento da ciência e se destacou por nomes como Henri Poincaré e Edward Lorenz.

No final do século XIX, Poincaré realizou um estudo de mecânica de corpos celestes, conhecido como ‘Problema dos Três Corpos’, e provou que o movimento destes corpos não pode ser previsto. Por meio de estudos de topologia, este cientista constatou a possibilidade de uma dependência sensível às condições iniciais do sistema e identificou a presença de caos (Figura 2) na interação celestial (MITCHELL, 2009).

FIGURA 2 - Representação do movimento aleatório de três corpos

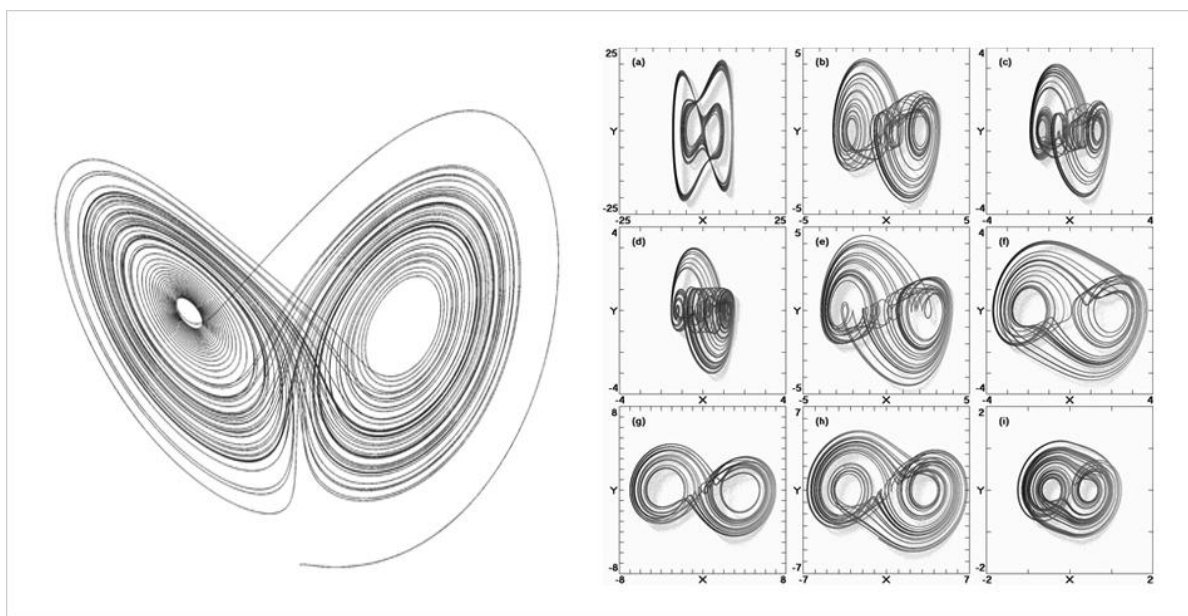


Fonte: Adaptado de Hunt (2017)

As propostas de Poincaré contribuíram significativamente para a pesquisa sobre os sistemas dinâmicos complexos, principalmente quando, em 1963, o meteorologista Edward

Lorenz, respaldado por máquinas de cálculo, propôs o que ficou conhecido como ‘Efeito Borboleta’. Através da concepção de um atrator estranho (Figura 3) que mapeia a evolução dos sistemas dinâmicos caóticos, estabelecido em um padrão complexo, esta teoria questiona o fato de uma mínima alteração de informação em um sistema poder gerar resultados completamente contrários daqueles propostos inicialmente. A representação deste atrator se assemelha à uma borboleta com as asas abertas e, por isso, a atribuição deste nome à teoria (LORENZ, 1993).

FIGURA 3 - Representação do atrator estranho e variações



Fonte: Adaptado de MacCabe (2013) e Sprott (2009), respectivamente

Em outras palavras, as aplicações de Lorenz nos considerados primeiros computadores, permitiram a execução de simulações de sistemas complexos, comprovando as propostas de Poincaré, e possibilitando aos teóricos a compreensão de que existem sistemas que nunca entram em equilíbrio e nunca repetem um estado anterior. Em suma, as características identificadas do caos e do comportamento caótico podem ser de que o sistema é aleatório, não-linear e *computationally irreducible*¹ (CHAPMAN, 2009)

A aspiração do conceito de caos propicia a configuração da base para os princípios teóricos da complexidade. Sistemas caóticos e complexos podem ser caracterizados pela propriedade de não-linearidade, apresentando diversas interações emergentes que podem ser organizadas e modeladas em computadores (CHAPMAN, 2009).

¹ Termo em inglês para ‘computacionalmente irreduzível’, atribuído por Chapman (2009, p.32).

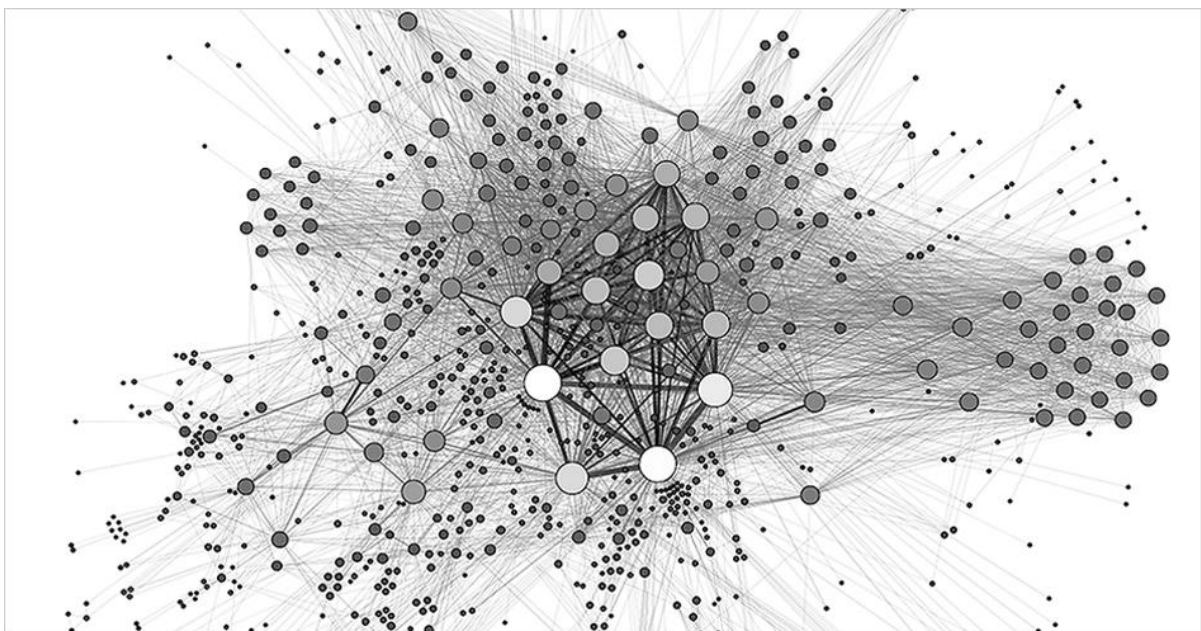
Nesse sentido, ao se analisar os conceitos de ambos, é interessante mencionar que apesar da similaridade, os dois não são a mesma coisa. De acordo com Filho (2008),

O gás simples é caótico, mas não é complexo no sentido atual. Complexidade e caos têm em comum a propriedade da não linearidade - todo sistema não linear é caótico em alguma parte do tempo, o que significa que complexidade implica a presença do caos, mas o inverso não é verdadeiro. (BARANGER apud FILHO, 2008, p.18)

É possível afirmar que os sistemas complexos podem ou não apresentar regras definidas, mas devido às numerosas interações entre seus elementos, a imprevisibilidade será uma condição frequentemente observada em alguma instância do sistema. Essa imprevisibilidade irá gerar padrões de comportamento, ou seja, ordem que nasce do caos na estruturação de sistemas complexos através da auto-organização espontânea dos elementos (OLIVEIRA, 2001; HEYLIGHEN; CILLIERS; GERSHENSON, 2007).

Por essa linha de conhecimento, considera-se que a complexidade está em sistemas dinâmicos juntamente com seus elementos e as interações entre eles. Para Heylighen (1988) a complexidade é dotada de interconectividade e, por isso, pode ser assimilada com o conceito matemático de rede (*network*), constituída de nós (*nodes*) que apresentam conexões emergindo entre eles, como pode ser visualizado na representação da figura 4.

FIGURA 4 - Representação de um sistema complexo de rede



Fonte: Grandjean (2013)

Tentando estabelecer algumas propriedades, Mitchell (2009) considera que um sistema complexo é:

Um sistema no qual grandes redes de componentes, sem controle central e regras simples de operação, dão origem a comportamento coletivo complexo, processamento sofisticado de informações e adaptação via aprendizado ou evolução. (MITCHELL, 2009, p. 13, tradução nossa)

Com isso, mesmo que uma definição de teoria da complexidade esteja em processo de desenvolvimento, com base nas referências mencionadas anteriormente é possível determinar algumas características principais apresentadas pelos sistemas complexos. Considerando o curso sobre Teoria da Complexidade da *Complexity Labs* (2015) foi estruturado no Quadro 1 uma descrição breve sobre tais propriedades.

QUADRO 1 - Propriedades do sistema complexo

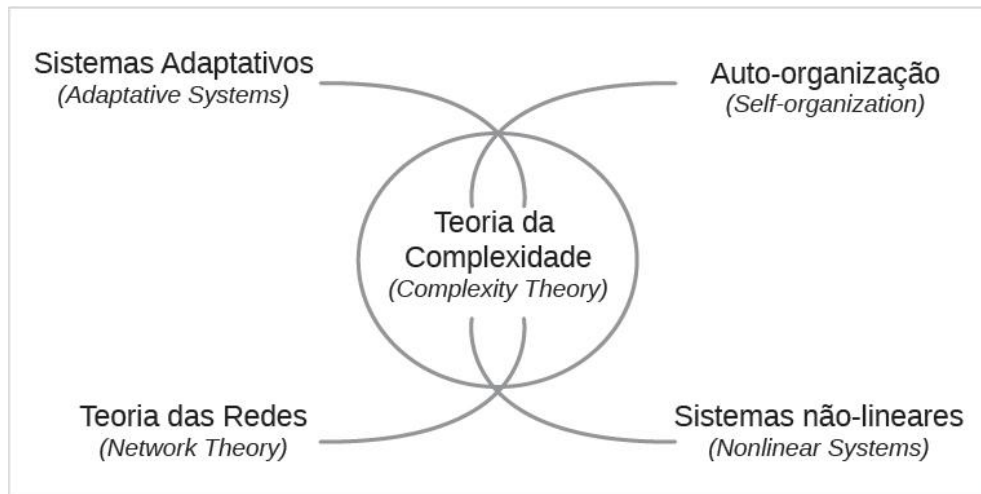
AUTO-ORGANIZAÇÃO E EMERGÊNCIA	A organização emerge por meio de auto-organização dos elementos do sistema. Sem um controle central.
NÃO-LINEARIDADE	Imprevisíveis. A soma dos elementos não é uma simples adição e o resultado pode ser completamente diferente do que se imagina. Representação por meio de equações não lineares.
CONNECTIVIDADE	Altos níveis de inter-conectividade e interação entre os elementos, estrutura em rede.
ADAPTAÇÃO	Autonomia do elemento em se adaptar ao ambiente e aos demais elementos. Capacidade de evolução. Comportamento dinâmico.

Fonte: Adaptado de *Complexity Labs* (2015)

Por conta dessas propriedades estabelecidas no Quadro 2, os sistemas complexos podem ser denominados também, em inúmeras referências literárias, como sistemas adaptativos, dinâmicos, evolutivos, generativos e não lineares. Todos termos que, como observado, remetem diretamente à complexidade.

Desta forma, foi estruturada também a Figura 5, que relaciona uma possível área central de complexidade com outras quatro teorias tratadas dentro da ciência.

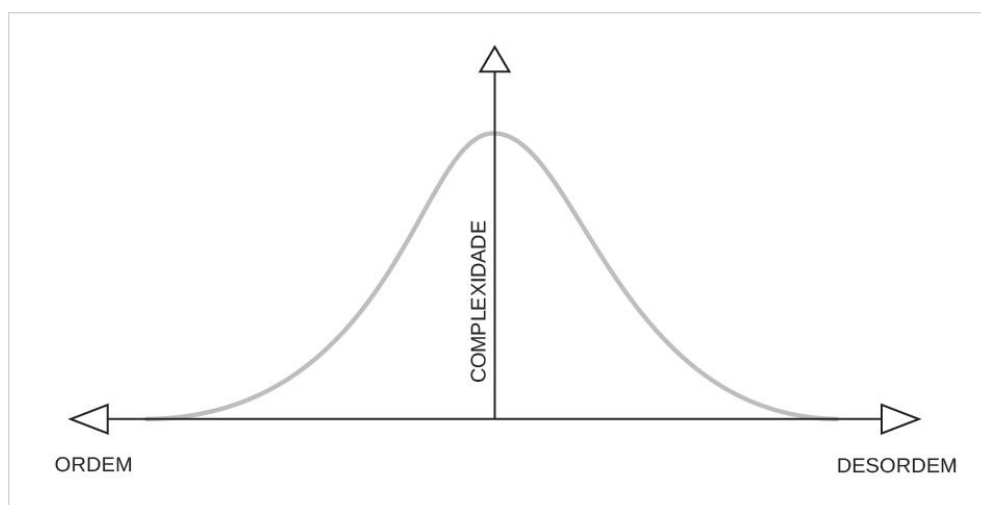
FIGURA 5 - Complexidade e teorias afins



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

A ciência da complexidade deu oportunidade para o estudo, o entendimento e a classificação dos sistemas, permitindo a identificação dos níveis de organização das informações dos mesmos. Para Galanter (2003), sistemas muito ordenados ou muito desordenados são sistemas mais simples, e os sistemas com complexidade efetiva são aqueles que apresentam uma mistura de ambos - ordem e desordem (Figura 6).

FIGURA 6 - Complexidade efetiva do sistema



Fonte: Adaptado de Galanter (2003)

Nesse sentido, Edgar Morin levantou indagações sobre as relações entre ordem, desordem e organização. Morin (2008) explorou a importância das relações generativas e emergentes entre ordem e desordem na determinação dos princípios da complexidade, assim

como da auto-organização enquanto conceito de "*order out of chaos*". O autor considerou que a complexidade está na essência dos sistemas organizados com uma mistura entre ordem e desordem, onde a ordem predomina ao nível das grandes populações e a desordem predomina no nível dos elementos dessas populações (MORIN, 2008).

2.1.2 Auto-organização e natureza

A *Complexity Labs* (2015) define que um sistema complexo apresenta muitas partes que são distribuídas a partir de interações locais, e que esse processo permite uma organização com diferentes níveis de estruturação. Assim, considerada uma das principais características dos sistemas complexos, a auto-organização é uma propriedade que emerge da relação entre os elementos e tem um papel importante na padronização do sistema.

Nesse cenário, é interessante entender o início das pesquisas sobre a auto-organização e a sua relação com a biomimética, que busca estudar o funcionamento da natureza. Para isso, deve-se olhar mais a fundo aos estudos de Alan Turing sobre a morfogênese, processo de crescimento e evolução dos organismos.

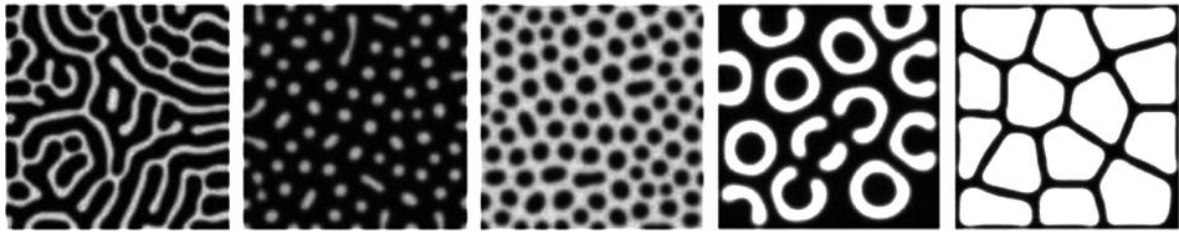
Turing (1952) observou que na fase inicial da morfogênese existe a presença de simetria, homogeneidade e equilíbrio (ordem), características que teoricamente bloqueariam o crescimento e se manteriam para sempre se fossem levadas em consideração as leis elementares da física. No entanto, rompendo com o previsível, surge a presença de perturbações aleatórias que geram instabilidade no sistema e contribuem para a sua evolução, permitindo que o sistema atinja novamente, após seu crescimento, uma condição estável e simétrica.

A não-linearidade observada no desenvolvimento dos sistemas da natureza contribuiu para a aceitação de que a união de elementos simples, seguindo regras simples, poderia originar em organismos complexos devido à 'equações de reação-difusão' - termo adotado por Turing (1952). Para o pesquisador, padrões de complexidade espacial, encontrados em vários sistemas biológicos, seriam 'reações' de um processo físico-químico que levariam à 'difusão' de uma organização simétrica e estável. (LEPPÄNEN et al., 2004)

A partir dessas constatações, Turing (1952) desenvolveu equações matemáticas não-lineares que, desde então, influenciaram significativamente na elaboração de algoritmos em diversas áreas de pesquisa, fortalecendo a complexidade como uma unificadora das disciplinas e, portanto, do conhecimento.

Os chamados ‘Padrões de Turing’ ou ‘Sistemas de Turing’, foram comprovados em pesquisas morfológicas recentes através de modelos computacionais representados em 2D e 3D. As investigações mostraram que o controle de parâmetros atribuídos no início do desenvolvimento de sistemas de reação-difusão possibilitam a formação de uma extensa variedade de padrões complexos (Figura 7). (LEPPÄNEN et al., 2004)

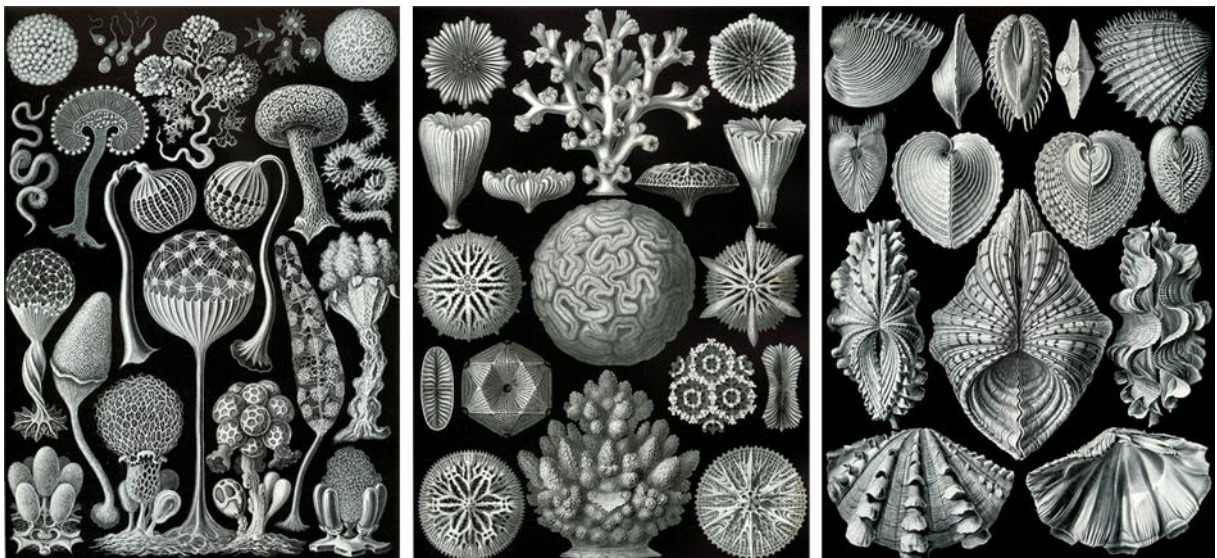
FIGURA 7 - Padrões de reação-difusão encontrados em sistemas da natureza



Fonte: Adaptado de Kondo e Miura (2010)

Nesse sentido, a observação da natureza foi, e é, um importante passo para se fundamentar a auto-organização, e conseqüentemente, a complexidade. A evolução do meio ambiente, ao longo da história deste planeta, permitiu que seus sistemas atingissem níveis de equilíbrio e perfeição que nenhum processo artificial é capaz ainda de reproduzir completamente. À exemplo disso, o artista e cientista alemão Ernest Haeckel (1904), representou a complexidade exorbitante da natureza em suas detalhadas ilustrações biológicas (Figura 8), mostrando a beleza e importância dos sistemas complexos na composição de formas e superfícies.

FIGURA 8 - Ilustrações da complexidade da natureza

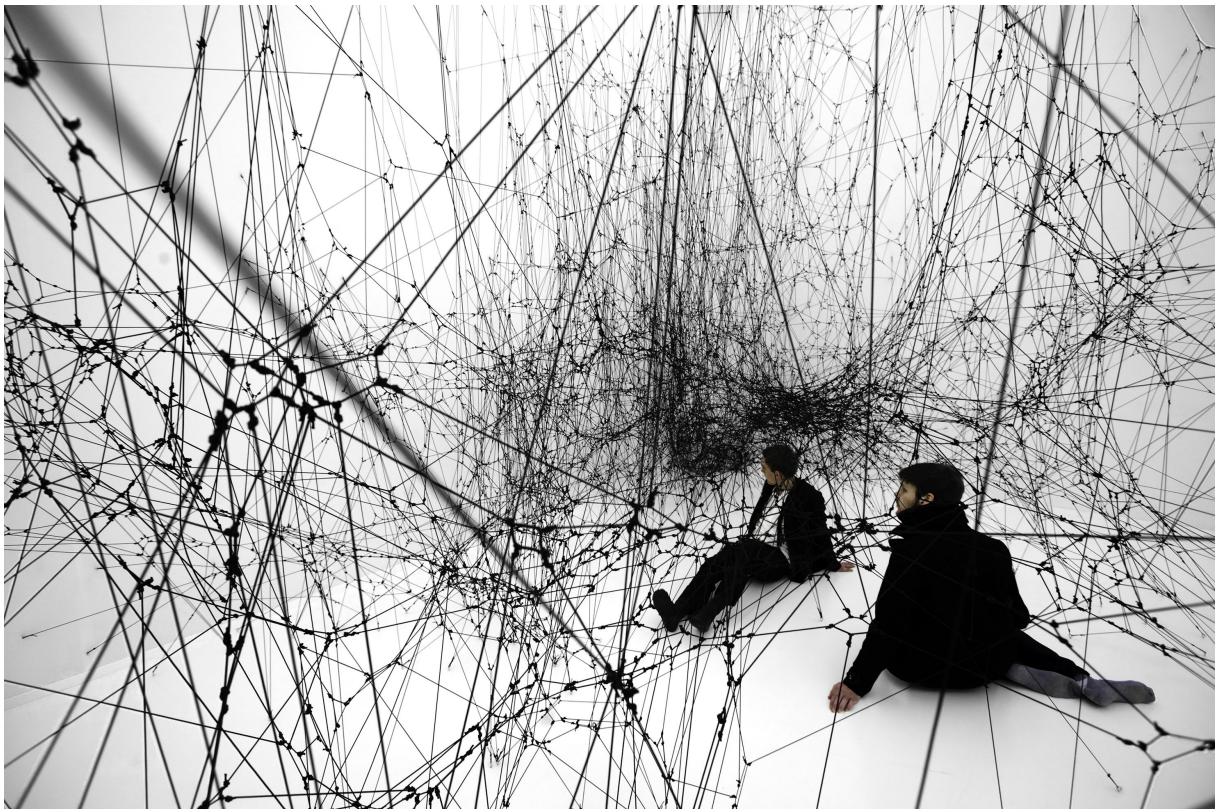


Fonte: Haeckel (1904)

Os sistemas complexos da natureza podem ser vistos como uma excelente fonte de inspiração, apresentando complexidade inigualável e superfícies com notáveis propriedades (EADIE; GHOSH, 2011). “A natureza desenvolve suas estruturas para alcançar sempre uma solução energética otimizada a longo prazo” (GARCÍA; MARTÍNEZ, 2009, p.893, tradução nossa).

O alto nível de integração dos organismos, assim como a qualidade das estruturas naturais podem apresentar importantes características a se considerar no desenvolvimento de projetos de design de superfícies (OXMAN, 2011) - (Figura 9). A diversidade estrutural que as superfícies biológicas fornecem, e suas propriedades multifuncionais podem contribuir para a produção de materiais biomiméticos mais eficientes e inovadores. (KOCH; BHUSHAN; BARTHLOTT, 2009)

FIGURA 9 - Instalação de arte inspirada em teias de aranha



Fonte: Saraceno (2010)

2.2 A COMPLEXIDADE PARA O DESIGN

O conceito de complexidade, segundo Morin (2008) está diretamente associado com a organização do pensamento e, portanto, mediado por uma abordagem transdisciplinar e

holística. Para o autor, nenhuma disciplina oferece uma maneira de integrar completamente todas as informações, e nesse sentido, o paradigma da complexidade deve ser visto como um método de conduzir a organização sistêmica do nosso pensamento.

O pensamento complexo nos leva a um modo de pensar - e estar no mundo - que reconhece a dimensão inescapável da incerteza e a vê como uma oportunidade para a criatividade e o desenvolvimento de novas perspectivas. (MORIN, 2008, p. xxix, tradução nossa)

Nesse contexto, talvez o design, enquanto uma área capaz do projeto interdisciplinar, possa se tornar uma ferramenta significativa na compreensão e aceção da complexidade. "O design e a complexidade compartilham muitos pressupostos epistemológicos e metodológicos, tentando adotar uma perspectiva construtiva e holística do mundo ao nosso redor." (ALEXIOU; JOHNSON; ZAMENOPOULOS, 2010, tradução nossa)

Para sustentar esse argumento, vale a pena destacar um programa inovador e interdisciplinar de pesquisa criado na Inglaterra sob o nome de “*Designing for the 21st Century*” (INNS, 2010). O projeto uniu designers na busca pelo desenvolvimento de pesquisas que contribuíssem para a construção de conceitos, metodologias e práticas, com o principal intuito de entender as relações entre complexidade e design. Considerando assim, o design e a complexidade como conceitos “inextricavelmente entrelaçados”, o grupo destaca que a junção das duas ciências pode contribuir significativamente para o design do futuro e para um desenvolvimento mais sustentável da humanidade (ALEXIOU; JOHNSON; ZAMENOPOULOS, 2010)

A complexidade pode ser enxergada no setor criativo do design em diversas instâncias, desde o processo até o artefato, influenciando no desenvolvimento de soluções e projetos inovadores. Considerando a importância dos processos artísticos e representativos do design, Cham (2010, p.123, tradução nossa) afirma que “é nas artes que se encontram conhecimentos e práticas especializadas para a inovação na representação; documentação, visualização, simulação e incorporação são todos métodos artísticos que podem representar sistemas complexos”.

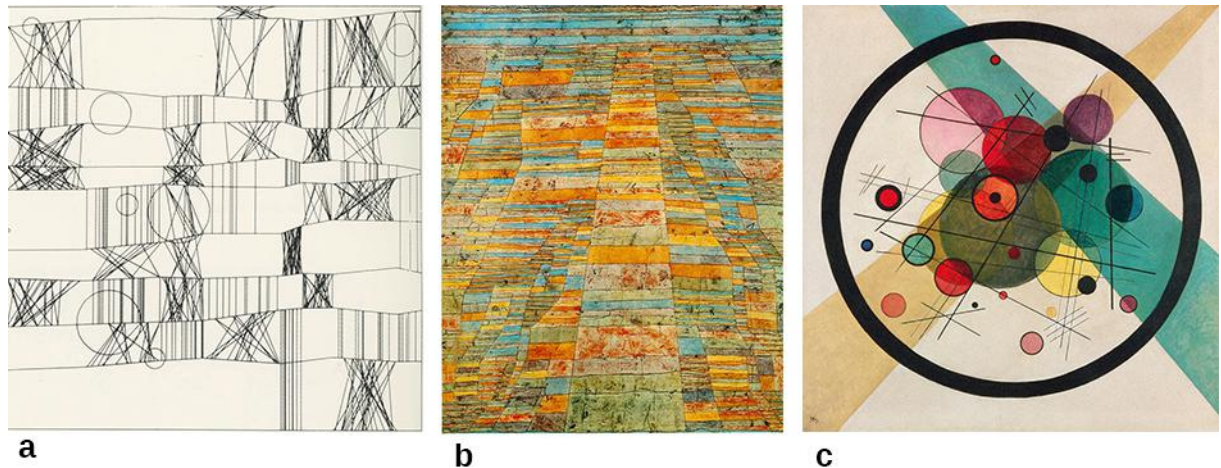
Dentro desse argumento, pode-se considerar que a representação visual e funcional do comportamento dos sistemas complexos é uma maneira poderosa de facilitar o entendimento da complexidade. A representação funciona como uma ajuda cognitiva, e apresentar o conhecimento de maneira utilizável é um dos principais caminhos para a solução de problemas (CHAM, 2010).

2.2.1 Design generativo

Aceitando a importância da complexidade associada ao design, a especialidade do design generativo propõe o encontro da atividade projetual com os princípios dos sistemas complexos da natureza, combinando os códigos - que podem ser ou não programados no computador - com os processos naturais para a criação de sistemas de linguagem visual com complexidade. Assim, o design generativo é, sem dúvidas, um dos principais cenários de aplicação da complexidade no design.

O computador, atualmente, se tornou uma das mais usadas ferramentas no desenvolvimento de projetos generativos. Entretanto, Galanter (2003) ressalta que apesar da virtualidade facilitar os processos complexos, os métodos generativos acompanham o contexto das artes e representações visuais desde muito antes da arte digital (Figura 10a, 10b, 10c).

FIGURA 10 - Obras de arte generativa



Fonte: a) Cage (1965); b) Klee (1929); c) Kandinsky (1923)

Ao se considerar que o objeto de estudo principal do design ou da arte generativa são os sistemas, é possível concordar que:

A arte generativa refere-se a qualquer prática artística em que o artista usa um sistema, como por exemplo um conjunto de regras de linguagem natural, um programa de computador, uma máquina ou outra invenção processual, que irá funcionar com algum grau de autonomia contribuindo ou resultando em uma obra de arte completa. (GALANTER, 2003, p. 4, tradução nossa)

Mais do que isso, a proposta do design generativo está em estabelecer as relações que influenciam na formação dos objetos e em suas características, trazendo novos conceitos para

o campo do design e para a atividade de projetar. Assim, o uso de algoritmos computacionais pode ampliar o catálogo de ferramentas disponíveis. (KHABAZI, 2012)

A assimilação da complexidade no design influencia o projeto em ambiente digital e permite a identificação da forma como elemento inserido em um sistema de interação e organização. As ferramentas de computação e programação de dados possibilitam, então, um meio de canalizar o conhecimento do design baseado em parâmetros e variáveis com a exploração de regras e algoritmos. Alexenberg (2011) afirma que:

A lógica formal dos algoritmos oferece infinitas possibilidades criativas, decorrências indescritíveis da atemporalidade e o desdobramento de metáforas escondidas nas profundidades insondáveis das estruturas de espaço e tempo. (ALEXENBERG, 2011, p.47, tradução nossa)

Elementos geométricos simples podem ser combinados por regras estabelecidas pela programação, gerando sistemas visuais complexos onde a organização e interação dos elementos surgem de maneira fluída e inteligente. A competência em gerar complexidade está associada com as propriedades do sistema em se construir, se manter e se organizar por conta própria a partir das funções estabelecidas (MCCORMACK; DORIN; INNOCENT, 2004). Não obstante, o uso de programação irá aportar ao sistema e seus elementos uma abordagem paramétrica capaz de carregar informações formais, estruturais, funcionais, estéticas e culturais aos objetos (YU; GERO; GU, 2013).

Nesse cenário, um algoritmo computacional se destaca pela sua capacidade de gerar uma infinidade de soluções para um único problema. Em algoritmos para construção de superfícies, essas soluções tendem a ser de ordem geométrica e estética, ou de ordem estrutural e física de acordo com a função da superfície desenvolvida.

Mais do que a procura por soluções inovadoras, entretanto, o uso da computação e de linguagens de programação no design generativo é uma atividade que busca a produção de sentidos por meio da tecnologia. O desenvolvimento do software pode ser visto como uma prática cultural onde “a simulação não remete a qualquer pretensa irrealidade do saber ou da relação com o mundo, mas antes a um aumento dos poderes da imaginação e da intuição” (LÉVY, 1998, p.77).

O crescimento do campo do design generativo proporciona ao designer a habilidade cognitiva de pensar algorítmicamente e de aprender a lidar com princípios de lógica e programação. Woodbury (2010) afirma que o parametricismo é uma atitude da mente e uma

organização do pensamento que independe do software utilizado, permitindo ao designer expressar e explorar o sistema.

Desta forma, a função do designer estará em instaurar uma metodologia para a definição do problema, a aplicação dos conceitos propostos, a criação de variáveis e a determinação das etapas a serem executadas pelo algoritmo, independente das soluções a serem oferecidas no final pelo programa. Assim, os parâmetros inseridos irão seguir as regras estabelecidas e ocasionar em diferentes resultados obtidos, dos quais o designer terá pouca ou nenhuma influência sobre eles.

2.2.2 O pensamento computacional

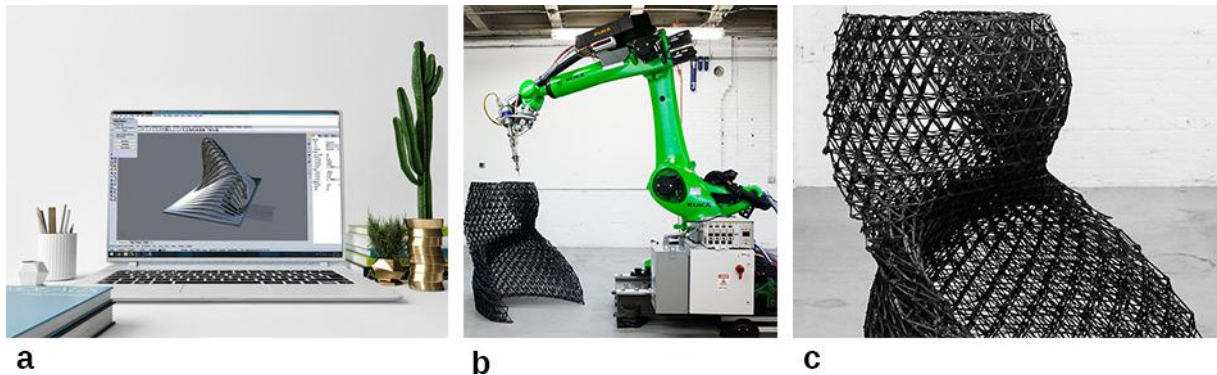
Inserida no contexto deste trabalho, a cibernética pode ser considerada como uma área essencial para associar a complexidade com o design. Ashby (1970) iniciou o estudo da cibernética afirmando que a mesma está entre um dos métodos capazes de lidar com a complexidade, aflorando as relações da humanidade com as máquinas por meio da comunicação e do gerenciamento de informações.

A cibernética abriu espaço para o desenvolvimento da teoria da informação e a ciência da computação, favorecendo as tecnologias para o processamento de dados e as ferramentas de expressão gráfica para o design, como o CAD (*Computer Aided-Design*).

A evolução das tecnologias ao longo dos anos tornou o computador como uma das ferramentas mais significativas dentro do processo do design contemporâneo. Seja por meio de aplicativos gráficos ou pelo uso de softwares de programação, o designer se depara cada vez mais com a necessidade de digitalizar seus métodos de trabalho e se atualizar perante esse universo da virtualidade.

Com o CAD, o desenvolvimento matemático de formas em meio computacional pode ser visualizado digitalmente com precisão, antes de o produto ser efetivamente produzido (Figura 11). Desta forma, a simulação cada vez mais precisa da realidade complexa em espaço virtual permite que a complexidade visualizada digitalmente possa ser transferida para a realidade por meio de métodos de fabricação digital, como a impressão 3D ou a impressão digital em tecidos, por exemplo.

FIGURA 11 - Etapas de projeto: a) projeto em CAD; b) impressão 3D; c) produto



Fonte: Branch (2019)

Com o alinhamento das novas tecnologias e os novos paradigmas da ciência, o desenvolvimento do projeto de design passa a ser altamente influenciado pelo uso de programação. Por consequência, emerge uma necessidade crescente no surgimento de ferramentas de codificação mais voltadas para o designer.

A partir disso, é significativo evidenciar algumas destas ferramentas digitais disponíveis e as particularidades da programação na concepção de algoritmos geométricos para a criação de formas e superfícies complexas.

2.2.3 Programação de dados e ferramentas digitais

O designer, enquanto agente criativo, tem seus limites imaginativos expandidos no ambiente virtual com o crescimento da alfabetização digital por meio de linguagens de programação e da consequente absorção do pensamento computacional no desenvolvimento do projeto.

O uso da programação como ferramenta artística é algo que se baseia na experimentação. Por meio de códigos programados é possível criar, manipular e controlar a complexidade de objetos digitais, assim como prever estratégias de fabricação desde as primeiras etapas de criação. Os computadores e a modelagem paramétrica permitem aos designers a construção de formas complexas com maior controle e precisão (WOODBURY, 2010).

Ao trazer um universo desconhecido de possibilidades representativas para a atividade do design, a programação de dados permite que se explore o pensamento por um viés sistemático. Para Terzidis (2009), linguagens de programação de dados permitem ‘simular,

explorar e experimentar através de princípios, regras, métodos e teorias”, de modo que se canalizem os métodos criativos por meio de linguagem, estrutura e lógica de programação.

Esse dinamismo do design generativo permite que a função do computador deixe de ser a de apenas um auxiliar do designer e passe a atribuir à máquina o papel de gerador de conteúdo, colaborando no processo de projeto e permitindo a geração de ideias e soluções.

Os métodos de design orientados à programação tornam o programa/ algoritmo desenvolvido como um agente de projeto que será orientado por critérios de desempenho e estará sujeito aos comandos iniciais do designer.

Assim, sob o ponto de vista de uma metodologia de projeto, a programação de algoritmos é uma atividade projetual onde o designer se responsabilizará pela definição do problema, a conformação de regras e o estabelecimento dos parâmetros pertinentes (Figura 12). O código programado terá a capacidade de gerar uma variedade de resultados dinâmicos ou estáticos, onde uma mínima alteração de valores pode alterar as soluções obtidas.

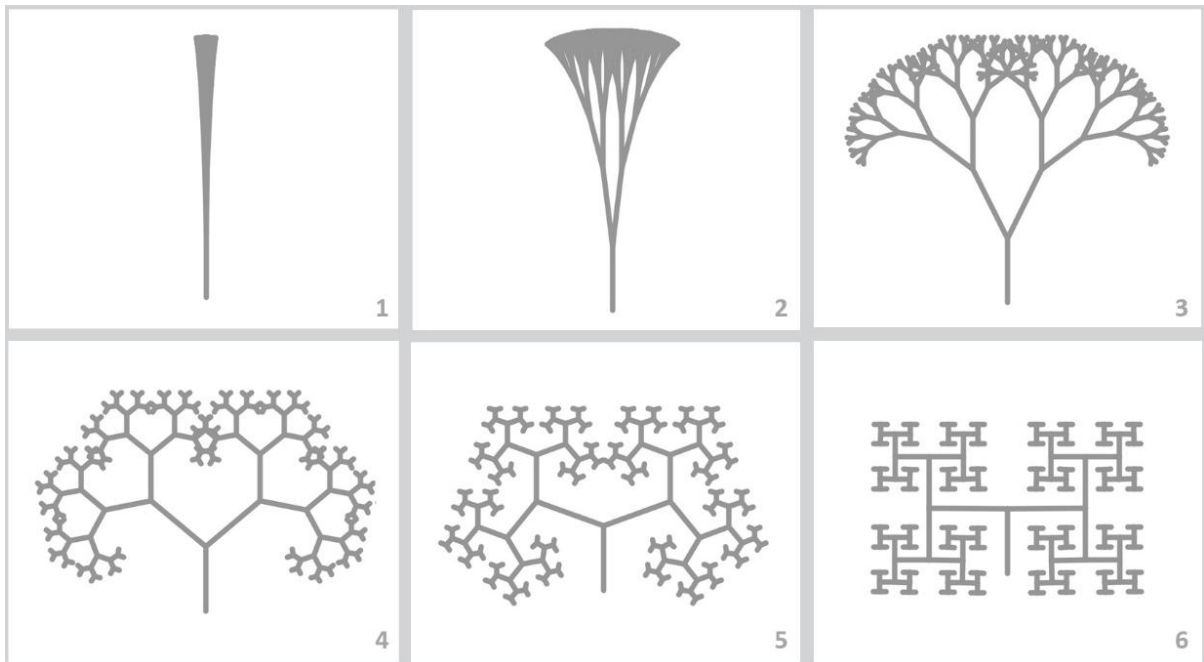
FIGURA 12 - Metodologia do design generativo



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

À exemplo, a árvore binária representada na Figura 13 foi programada na linguagem do Processing e se constitui de um algoritmo dinâmico com propriedades de complexidade como emergência, auto-organização, adaptação e não-linearidade. Sem que o código precise ser alterado, o programa pode apresentar soluções visuais diferentes de acordo com a interação do usuário. Dependendo do ângulo de movimentação do *mouse*, as regras determinam uma organização dos elementos no espaço, repetindo e estabelecendo um padrão evolutivo binário de complexidade na composição visual, gerando formas diferentes (Figura 13 - 1, 2, 3, 4, 5, 6).

FIGURA 13 - Árvore binária no Processing



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

No entanto, a programação de dados envolve muito mais do que o conhecimento de determinada linguagem e a sua respectiva sintaxe envolvida. Programar significa estabelecer um processo de cognição ampliada por meio de princípios de lógica. É todo um universo à parte que abre espaço para uma infinidade de aplicações matemáticas e de composição visual, que são direcionadas facilmente ao campo do design, seja por meio de projeto ou de pesquisa.

Para Vieira (2014, p.101), “A ferramenta por si só não é criativa. A exploração da linguagem acontece ao integrar a capacidade das ferramentas utilizadas com o interesse, a intenção, a prática e os conhecimentos do designer”.

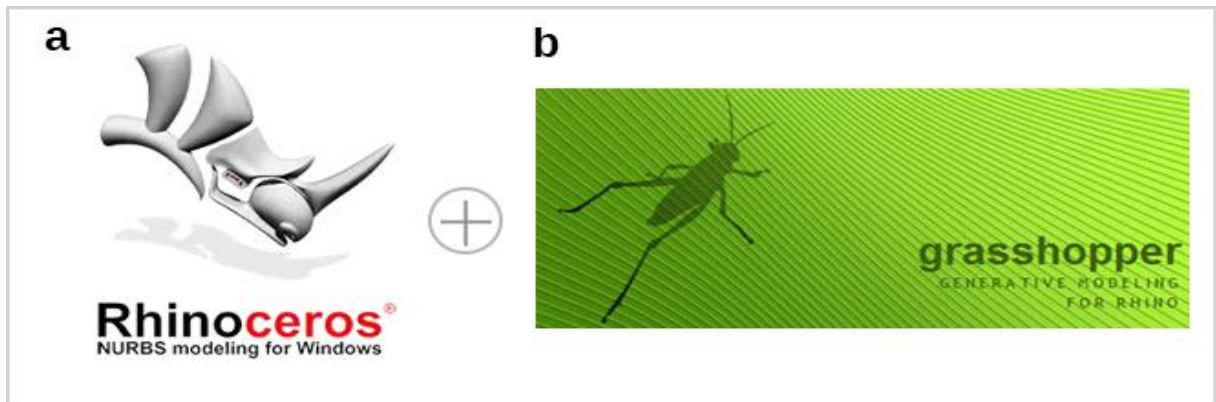
Dentre as ferramentas disponíveis para se tratar a complexidade no contexto do design, foram selecionadas duas principais para menção nesta pesquisa, o Grasshopper e o Rhinoceros.

2.2.4 Rhinoceros + Grasshopper

A primeira ferramenta escolhida é o Rhinoceros, voltada à modelagem tridimensional. Popularmente conhecida pela abreviação Rhino, é muito utilizado pela comunidade internacional, principalmente entre arquitetos. A aplicação oferece a possibilidade de *plug-ins* com funções específicas, e é nesse cenário que se encontra o Grasshopper que, direcionado para designers e artistas gráficos, tem por objetivo o uso de algoritmos para a composição

visual de formas e estruturas a serem representadas na plataforma do Rhino. É uma ferramenta de modelagem algorítmica das mais populares e avançadas, sendo disponibilizada gratuitamente para rodar no Rhinoceros licenciado (TEDESCHI, 2014).

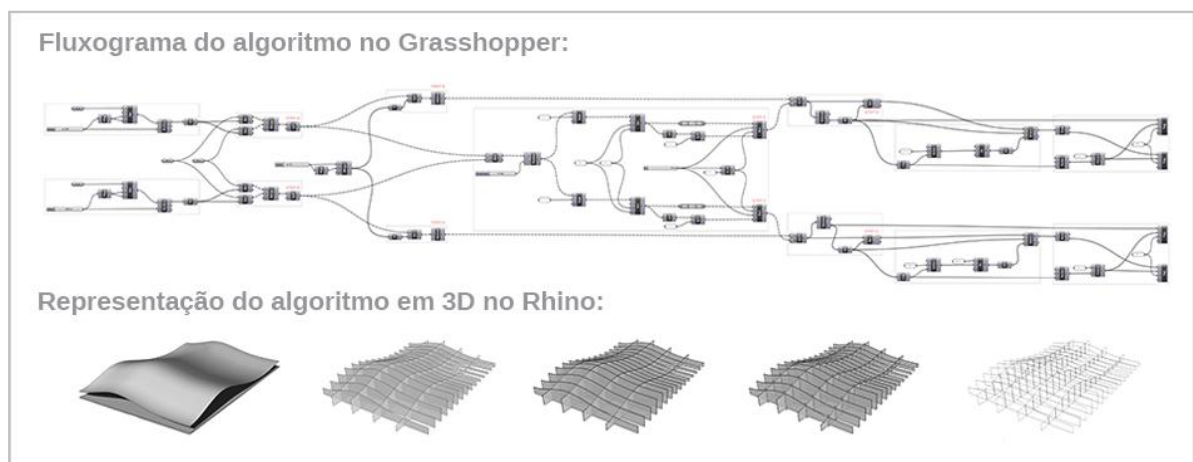
FIGURA 14 - a) Rhinoceros; b) Grasshopper



Fonte: Sites oficiais do Rhinoceros² e Grasshopper³

Por meio de elementos visuais como caixas e blocos, assemelhando-se à um fluxograma, os algoritmos criados em seu ambiente facilitam na criação de estruturas complexas e na edição das mesmas.

FIGURA 15 - Representação do fluxograma e a modelagem 3D, respectivamente



Fonte: Adaptado de Tedeschi (2014)

² <https://www.rhino3d.com/>

³ <https://grasshopper.com/>

Como mostra a Figura 15, Bueno (2016) descreve que:

(...) O modo de trabalho baseia-se na construção de algoritmos gráficos como redes de nós, sendo estes parâmetros ou componentes. Os primeiros armazenam dados, podendo ser principalmente dados numéricos, textuais, geométricos ou lógicos (verdadeiro/falso). Os componentes realizam tarefas com ditos dados, como operações matemáticas, gerações, decomposições e transformações geométricas, entre outras. (BUENO, 2016)

Dentro da ferramenta do Grasshopper estão inseridas funções específicas para o design com princípios de complexidade, como o módulo Galapagos que facilita a geração de algoritmos evolutivos. Essas ferramentas adjacentes permitem que o designer utilize de questões complexas dentro da modelagem 3D e de seus algoritmos com mais facilidade (BUENO, 2016).

2.2.5 Processing

A segunda prática abordada nesta investigação foi a do *software* Processing, e foi selecionada por apresentar uma linguagem de programação alternativa voltada a representações visuais e criação de imagens. O Processing é um programa *open source*, ou seja, de acesso gratuito, com o intuito de desenvolver algoritmos voltados para a representação visual estática ou dinâmica.

Essa tecnologia criada em 2001 no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) por Casey Reas e Ben Fry, possibilita novas formas de expressão por meio de códigos escritos e incentiva a abertura da informação e colaboração artística por ser um software livre.

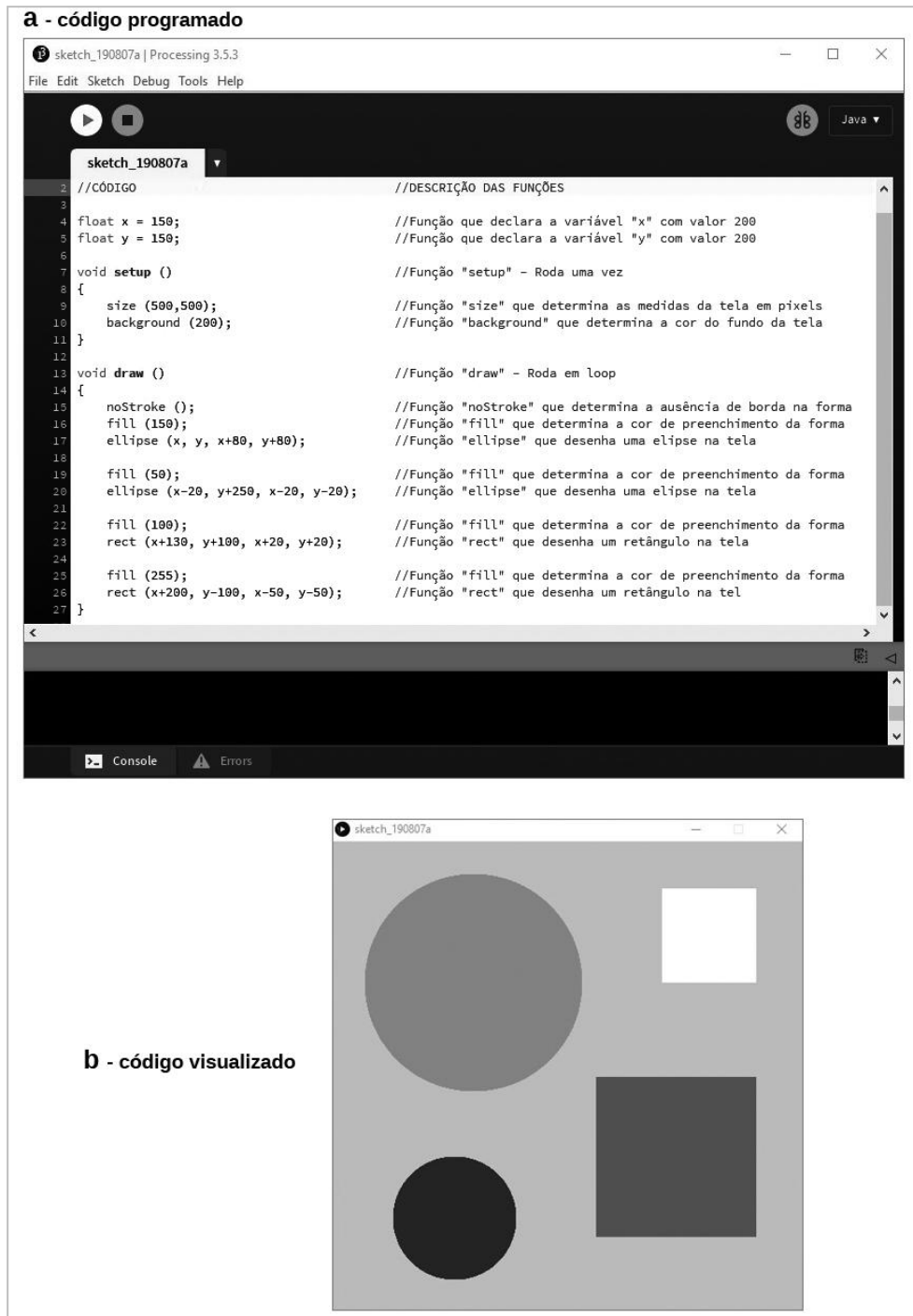
Assim, o Processing, baseado em linguagem de programação Java, é um programa que pode ser definido como “um ambiente que permite a criação de narrativas interativas, jogos, simulações e produções computacionais que são desenvolvidas em linguagem de programação e que são compartilhadas em uma comunidade online” (BOZOLAN, 2016, p.43).

Reas e Fry (2014) consideram que o Processing permite aos designers e artistas a capacidade de rascunhar por meio de código, onde você “escreve uma linha, depois outra, e mais outra, e assim por diante. O resultado é um programa criado uma parte de cada vez” (REAS; FRY, 2014, p.1, tradução nossa).

Como pode ser observado na Figura 16a, o código determina as variáveis x e y que serão responsáveis por atribuir parâmetros numéricos para o tamanho e o posicionamento das

formas no espaço. As funções de *size* (tamanho) e de *background* (fundo) condicionam respectivamente o tamanho da tela visualizada e a cor do fundo. A função *ellipse* (elipse) se responsabiliza por receber os parâmetros referentes à tamanho e posicionamento para desenhar um círculo na tela, assim como a função *rect* (retângulo) tem o propósito de construir um retângulo.

FIGURA 16 - Visualização de código e programa do Processing

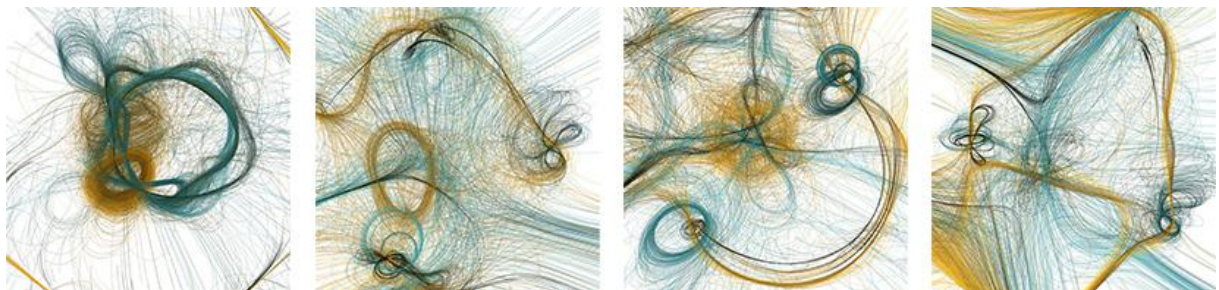


Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

O seu sucesso como linguagem de programação no meio das artes interativas se deve à sua simplicidade, quando comparada a outras linguagens, e ao seu aspecto colaborativo, que permitiu o surgimento de uma grande comunidade online de artistas-programadores que compartilham conhecimentos e colaboram entre si (MELLO, 2015).

As possibilidades construtivas do Processing trazem novas experimentações para o desenvolvimento de peças gráficas estáticas ou interativas (Figura 17), e conseqüentemente, para o design de superfícies visuais diferenciadas que passam a utilizar de algoritmos e códigos de programação para estabelecer padrões complexos.

FIGURA 17 - Design generativo desenvolvido com Processing por Casey Reas



Fonte: Path por Reas (2012)

2.3 DESIGN DE SUPERFÍCIES

As superfícies são importantes na delimitação de um objeto e desencadeiam estímulos sensoriais através de suas formas, de seu volume, e suas texturas visuais e táteis. Para a definição de Allgayer (2009):

Superfícies rígidas ou flexíveis, cumprindo ou não a função de estruturação, podem assumir diferentes formas, sejam elas planas, curvas, contínuas ou fragmentadas. Independentemente de uma caracterização universal do seu propósito, é mister consensualizar seu papel como limite físico de volume. Caracterizadas como envoltentes, podem bloquear ou irradiar calor, restringir ou franquear visuais, transitando entre diferentes graus de permeabilidade ou opacidade, proteção ou vulnerabilidade. (ALLGAYER, 2009, p.7)

Considerando que qualquer volume é dotado de uma superfície que o reveste, é possível aceitar que a atividade projetual, por meio de metodologias do design, para a criação e desenvolvimento de uma superfície, tem uma abrangência significativa na configuração de artefatos.

O design voltado para superfícies pode se responsabilizar pela resolução de problemas estéticos, formais e estruturais dos objetos, com a exploração de abordagens sociais e culturais. É uma prática que tem sua origem antes mesmo do surgimento dessa terminologia, e por isso, está presente não apenas em produtos industriais, como também em técnicas artesanais, permeando por diferentes disciplinas, como a arte e a arquitetura, e por diferentes tecnologias ao longo da história (SILVA, 2017).

As definições do design de superfícies apresentam um crescimento emergente que traz à tona investigações para a construção de superfícies variadas por meio de metodologias do design e novas tecnologias de materiais e processos produtivos. Assim, em uma definição abrangente sobre a atividade, podemos concordar com o que estabelece Ruthschilling (2008) de que:

Design de superfície é uma atividade criativa e técnica que se ocupa com a criação e desenvolvimento de qualidades estéticas, funcionais e estruturais, projetadas especificamente para constituição e/ou tratamentos de superfícies, adequadas ao contexto sociocultural e às diferentes necessidades e processos produtivos. (RUTHSCHILLING, 2008)

Como um campo em processo de consolidação e aceitação, Rinaldi (2013, p.1) afirma que “a especialidade ainda é vista como um desdobramento do design têxtil, do design de produto ou como modo de expressão do design gráfico”, complementando que na verdade, o design de superfícies apresenta um hibridismo de todas essas áreas.

Por meio da busca de referências sobre o assunto, observou-se que, no Brasil, as pesquisas que tratam especificamente dessa especialidade do design, e sua criação e manipulação de superfícies, ainda são bem recentes e geralmente estão direcionadas para aplicações têxteis na moda (SILVA, 2017).

Entretanto, o design de superfícies pode estar associado não apenas com o design têxtil, como também com outros setores como cerâmica em objetos e azulejos, papelaria, arquitetura, e mais recentemente, até com os meios digitais. Desta maneira, pode-se dizer que o design de superfícies é um campo interdisciplinar e transita entre outras áreas de conhecimento conforme a sua aplicação.

É importante destacar que todas as superfícies oferecem uma experiência sensorial, e que a escolha do processo criativo será muito significativo para determinar a sua construção. Elas são veículos de informação da forma, e seu estudo pode trazer contribuições para o diálogo entre materiais e ideias, buscando a resolução de problemas, que é o propósito do design.

Inserido nesse contexto, o designer especializado nesta área - para ser um profissional completo - deve listar conhecimentos que transitam pela história, processos, técnicas tradicionais, e tecnologias modernas, a fim de desenvolver a habilidade criativa por meio de projetos holísticos, em uma interpretação integradora de conceitos pertinentes ao desenvolvimento da forma. Minuzzi (2012) complementa que faz parte do perfil do designer também uma atitude constante de pesquisa adequada à realidade de produção e ao mercado consumidor. A emergência de novas investigações que extrapolem as metodologias existentes pode trazer uma expansão criativa para este cenário.

2.3.1 Delimitando metodologias

O design é uma atividade criativa de projeto, na qual se buscam soluções para um ou mais problemas. Essas soluções podem ocorrer em diversos formatos, seja na configuração de um produto, uma peça gráfica, ou um serviço, para aplicação na sociedade. A prática de projetar, de maneira sucinta, pode ser delimitada como a estruturação de um planejamento para se atingir um propósito específico, e para tanto é preciso estabelecer um processo composto por fases de execução, ou mais precisamente, uma metodologia.

As metodologias de design surgem como um conjunto de orientações a serem seguidas com o intuito de organizar o pensamento e guiar o designer no desenvolvimento do projeto, permitindo a noção de uma sequência de etapas a serem realizadas.

Ao analisar os benefícios de se definir uma metodologia do design, Löbach (2001, p.152) afirma que “usando-se métodos adequados de resolução de problemas, pode-se encurtar o tempo de geração das ideias, mediante atividades dirigidas”. Nessa mesma filosofia, Munari (1998), ao desenvolver uma metodologia do design em doze etapas, que variam entre a definição do problema e a consolidação de uma solução, avalia que todo o processo tem por objetivo permitir ao designer atingir o melhor resultado com o menor esforço. Devido à abrangência e multiplicidade do design, Baxter (2000, p.13) complementa que “a definição de cada etapa pode ser alterada, adaptando-a de acordo com a natureza do produto e o funcionamento da empresa”.

A divisão do projeto em etapas foi proposta por vários teóricos do design, e ainda está sendo tratada atualmente por novas especialidades como, por exemplo, no *Design Thinking*, que propõe que uma metodologia de projeto seja aplicada em diversas áreas de conhecimento, ou no design de superfícies, que é o caso analisado nesse trabalho. No entanto, Rinaldi (2013, p.17) reconhece que não existe uma metodologia correta ou “um método que seja

extremamente infalível ou eficaz. Cada projeto dependerá de um processo único, pautado em fases comuns, mas que guardam em si características peculiares dependendo do produto a ser desenvolvido".

No caso das superfícies, as pesquisas existentes tratam conceitos que podem trazer uma fundamentação teórica interessante para a constituição de uma ou mais metodologias para o setor, como é o exemplo das teses de Schwartz (2008) e Rinaldi (2013).

Sob a ótica da atividade projetual, Schwartz (2008) descreve que a superfície está relacionada com aspectos construtivos bidimensionais e que por ser um elemento de circunscrição de corpos, é percebida no espaço tridimensional, com sua conformação e manipulação em um ambiente físico e real. Por outro lado, a autora considera que ao se entender a superfície como um elemento autônomo de objetos, que possui um caráter de interação entre informação, matéria e usuário, ela pode ser percebida também em um ambiente digital e virtual. Assim, tratando de estabelecer uma definição do processo de design de superfícies, é possível concordar com ela de que:

Design de Superfície é uma atividade projetual que atribui características perceptivas expressivas à superfície dos objetos, concretas ou virtuais, pela configuração de sua aparência, principalmente por meio de texturas visuais, táteis e relevos, com o objetivo de reforçar ou minimizar as interações sensorio-cognitivas entre o objeto e o sujeito. Tais características devem estar relacionadas às estéticas, simbólicas e práticas (funcionais e estruturais) dos artefatos das quais fazem parte, podendo ser resultantes tanto da configuração de objetos pré-existentes em sua camada superficial quanto do desenvolvimento de novos objetos a partir da estruturação de sua superfície. (SCHWARTZ, 2008, p.160)

Nesse contexto, a busca por se estabelecer uma teoria de classificação da atividade projetual, e conseqüentemente, por um processo de design, deu origem a alguns princípios referentes ao caráter e ao tratamento da superfície. Ao ser tratada como um suporte de **representação** gráfica, com uma **constituição** material variada e com um propósito de estabelecer **relações** entre o objeto e seus usuários, Schwartz (2008) define que a superfície pode ter três tipos de abordagens projetuais: Representacional, Constitucional e Relacional.

Em uma linha teórica aproximada, Rinaldi (2013), acredita que a superfície vai muito além de sua capacidade de ornamento e acabamento de um produto, considerando a importância de se visualizar a mesma pelas suas funções perante o objeto. Entendendo, desta forma, a sua relação enquanto elemento capaz de trazer funções representativas, funções de estruturação, e em termos de experiências emocionais. Nesse sentido, o autor trata as

abordagens similares às de Schwartz pelas categorias: Representacional, Estrutural e Relacional.

Em suma, considerando ambas propostas e estabelecendo uma relação direta entre as abordagens da superfície, pode-se definir três etapas elementares para o desenvolvimento do projeto:

a) **criação**, onde a superfície é representada por técnicas de composição visual, seja pelo desenho geométrico ou outras técnicas criativas como o uso de algoritmos;

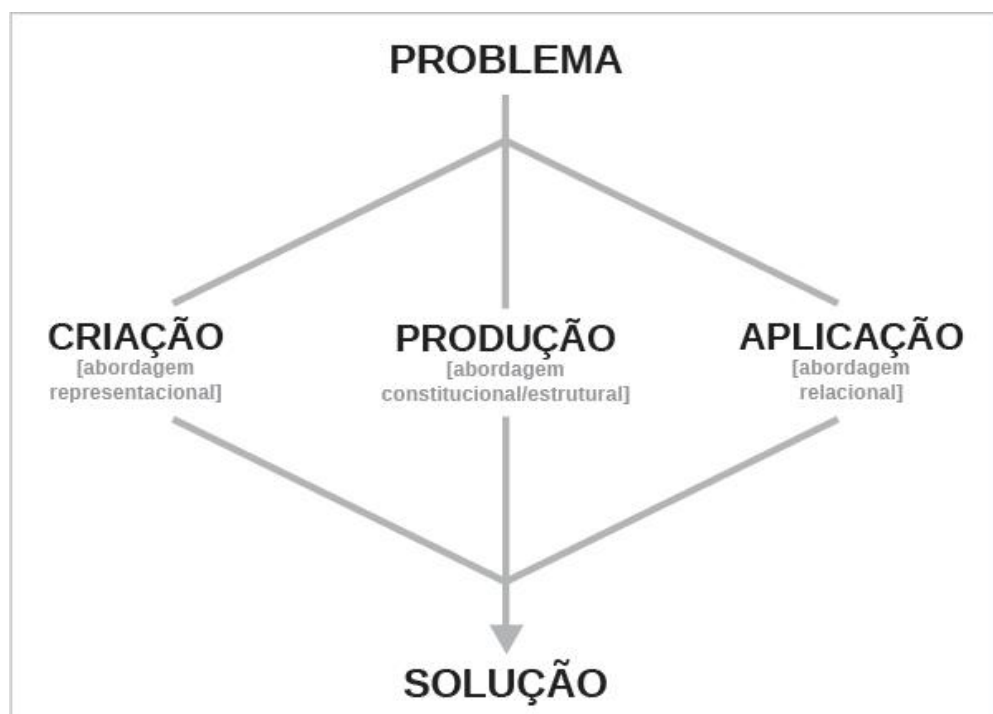
b) **produção**, onde se observam os materiais utilizados e os processos de fabricação envolvidos na estruturação física da superfície;

c) **aplicação**, onde a superfície seria finalmente aplicada ao contexto desejado e passaria a interagir e se relacionar com o usuário.

Tratando de estabelecer uma metodologia do design de superfícies abrangente, acredita-se que possa ser formalizada uma estrutura de etapas de projeto que considerem como ponto de partida a identificação ou definição de um problema, a execução sequencial das etapas de criação, produção e aplicação, finalizadas com a obtenção de uma ou mais soluções de design.

Nessa perspectiva, estruturou-se a Figura 18 que apresenta a relação de fases do processo de design de uma superfície.

FIGURA 18 - Metodologia do design



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Inserida na abordagem de criação e representação, outro conceito significativo estabelecido por Schwartz (2008) sobre a superfície foi a classificação desta por sua condição enquanto **envoltório** de um volume, e por **objeto** constituído.

Para a chamada Superfície-Envoltório (SE), a superfície tem “caráter modificador” e a função de “caracterizar” um volume/objeto existente; enquanto que a Superfície-Objeto (SO) seria aquela onde a superfície tem caráter estruturador e esta intrinsecamente associada com o volume/objeto (SCHWARTZ, 2008).

Para entender melhor o que essas definições significam, pode-se utilizar o design da superfície têxtil como exemplo. As estampas criadas por desenho geométrico ou digitalmente, são superfícies bidimensionais independentes (SE), que podem ser aplicadas por meio de estamparia ou impressão digital sobre um volume qualquer, no caso deste exemplo, em tecidos já previamente constituídos (Figura 19a).

Por outro lado, a trama têxtil construída, seja por técnicas artesanais manuais, como o tricô e o crochê, ou por processos mecânicos, como a tecelagem por método Jacquard, é uma superfície tridimensional que estrutura um objeto (SO) e é desenvolvida indissociavelmente de seu volume (Figura 19).

FIGURA 19 - a) Superfície-envoltório e b) Superfície-objeto



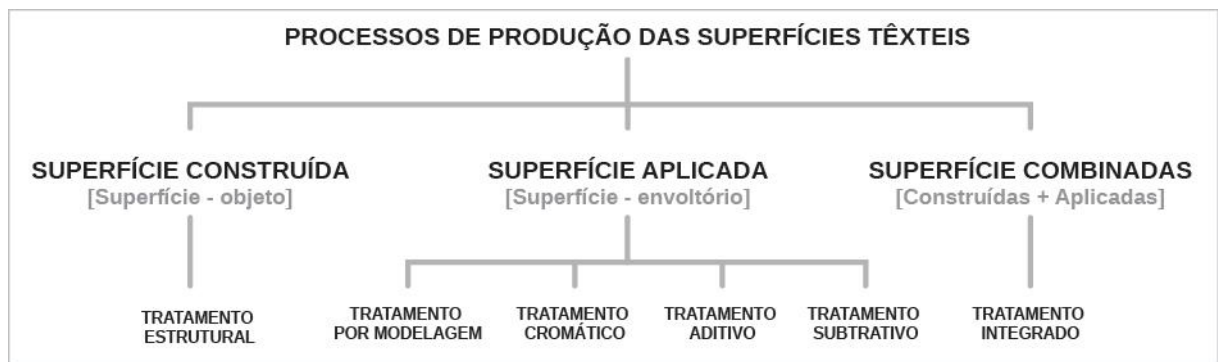
Fonte: a) Tecido estampado de O’Meara (2019); b) Tecido tramado de Kovacs (2019)

Essa classificação entre envoltório e objeto abre caminhos para se investigar, dentro das etapas de criação e representação, quais seriam os conhecimentos a serem levados em consideração, não apenas para a construção bidimensional e tridimensional de superfícies, como da aplicação dos conceitos pertinentes à complexidade proposta nessa pesquisa.

Por outro lado, sob uma perspectiva de produção e tratamento das superfícies têxteis, Menegucci (2018) aborda procedimentos de intervenção onde pode ocorrer a manipulação à

nível estrutural, a adição e incorporação de elementos externos, além de coloração e efeitos cromáticos, classificando o tratamento da superfície de acordo com sua condição de ser construída e/ou aplicada. A partir disso, considerando as definições anteriores do processo de produção estabelecido na metodologia de projeto (Figura 18), e a determinação de superfícies como envoltório ou objeto (Figura 19), foi configurada um diagrama da etapa de produção (Figura 20).

FIGURA 20 - Processos de produção das superfícies têxteis



Fonte: Adaptado de Menegucci (2018)

Observa-se que os tratamentos classificados por Menegucci (2018) dizem respeito à técnicas e processos específicos para a área do design têxtil, e a autora lista os principais processos utilizados no design de superfícies.

Para os tratamentos estruturais das superfícies construídas, que formalizam a tridimensionalidade do objeto, são abordados por Menegucci (2018) alguns dos principais métodos de trama, como a tecelagem, a renda, o macramê, o tricô, o crochê, entre muitos outros. Nessa categoria, poderiam ser considerados também as tecnologias para estruturação de tecido por combinação modular como a impressão 3D.

No caso das superfícies aplicadas, os tratamentos podem ser diversos, seja por aplicação de dobras e plissados; tingimento e coloração por shibori, batik, serigrafia, estêncil, impressão digital, entre outros; inclusão de adornos, linhas e bordados; recortes e vazados, etc. As possibilidades são muitas e a escolha fica a cargo do designer e da proposta do projeto.

Independente da abordagem de Menegucci (2018) ser pela área do design têxtil, vale ressaltar que o levantamento desses processos produtivos e, principalmente, o estabelecimento de classificação específica dos tratamentos, pode aportar uma fundamentação para o design de superfícies com outros materiais ou áreas de aplicação. De

qualquer forma, a pesquisa traz conhecimentos que auxiliaram em uma classificação e divisão dos métodos de abordagem para superfícies complexas.

Assim, considerando a metodologia do design de superfícies, mencionada anteriormente, na qual se estabelecem as etapas de Criação, Produção e Aplicação para o projeto, serão tratados a seguir alguns conceitos referentes às duas primeiras etapas, onde é possível observar as relações existentes com essa especialidade do design e a complexidade.

2.3.2 Etapa de criação: Construindo padrões

Na etapa de criação, devem ser levados em consideração alguns métodos capazes de permitir a composição visual de uma superfície com complexidade. Nesse sentido, pode-se afirmar que uma das condições representativas mais comum no design de superfícies é a composição de padrões de repetição, e estes devem ser olhados mais atentamente pela sua importância na formação de um sistema visual de padronagem. Para tratar deles, entretanto, é necessário estabelecer primeiro alguns conceitos pertinentes à configuração das formas e as regras de construção e organização das mesmas.

Stiny (1975) define que a combinação de um número finito de linhas que se unem é o que configura uma forma, e que estas podem ser geridas por uma série de regras no intuito de se estabelecer uma composição visual específica. Estas regras são conhecidas como 'Gramática da forma' - ou *Shape Grammar* no inglês - e foram inicialmente denominadas por Gips (1975) e Stiny (1975).

A gramática da forma delimita um vocabulário para o controle do posicionamento de formas visuais no espaço. Ela tem como foco a geração de modelos, funções e propriedades das formas, e pode ser caracterizada como:

Uma metodologia precisa e ao mesmo tempo intuitiva no meio visual para gerar linguagens de design. As gramáticas de forma podem ser usadas analiticamente para caracterizar e classificar projetos e padrões de design. (SPELLER; WHITNEY; CRAWLEY, 2007, p.82, tradução nossa)

Paio (2016) resume que "a gramática da forma baseia-se num vocabulário de formas geométricas (pontos, retas, planos e sólidos) e transformações euclidianas (translação, divisão, rotação, reflexão e escala)" e que está inserida no design computacional por incorporar a programação no processo criativo por meio de etapas construtivas.

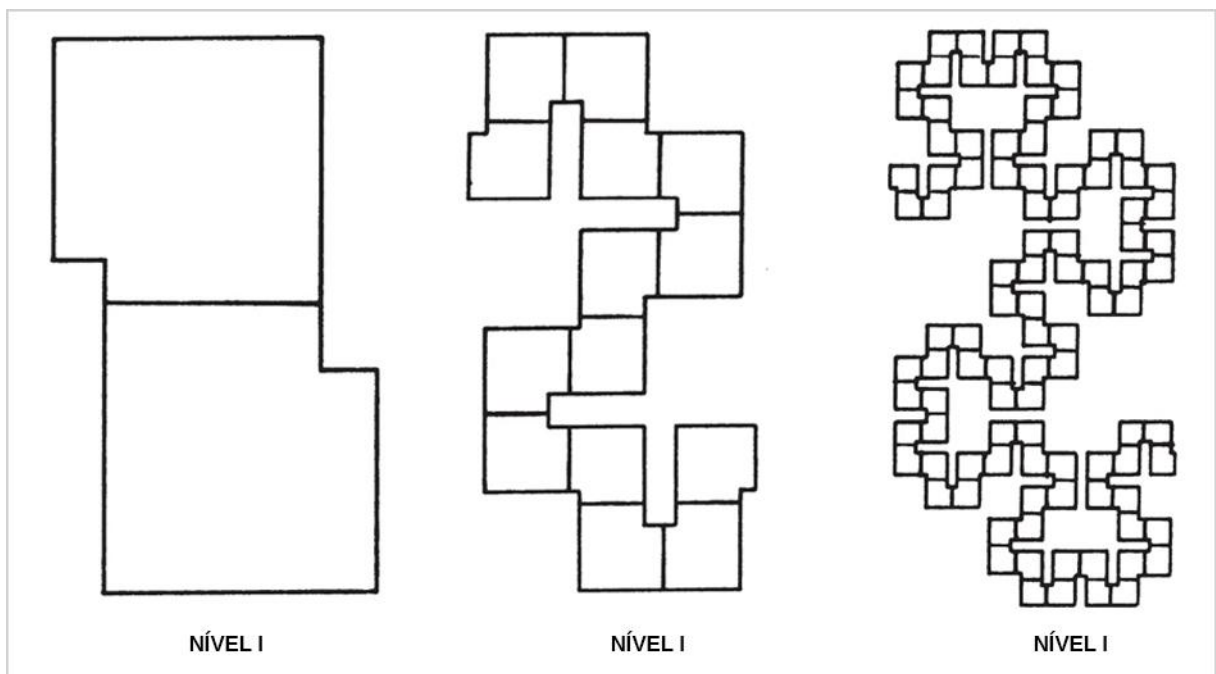
Ao considerar a gramática como uma atividade analítica e generativa, Paio (2016) descreve que:

Como método analítico, permite descodificar as regras subjacentes a um estilo ou linguagem. Como método generativo, possibilita a geração de um conjunto alargado de soluções de projeto, segundo as regras aferidas (PAIO, 2016).

Fornecendo um método para a especificação de estruturas, Gips (1975, p.64, tradução nossa) afirma que “uma característica importante do uso de gramáticas de forma, como uma ferramenta analítica, é que ela permite a análise de formas complexas que podem nunca ter sido vistas antes”, apresentando meios de se entender e aceitar melhor as condições da complexidade aplicada no design.

Stiny (1975) classifica essa gramática como um conjunto de regras que manipulam as formas por meio de uma sequência de transformações (Figura 21), ou seja, um algoritmo com regras estipuladas para a geração de formas no espaço. Nesse sentido, Pearce (1978) determina que a relação abstrata dos elementos distribuídos no plano pode ser descrita matematicamente pelas leis da simetria, que fazem parte das gramáticas da forma.

FIGURA 21 - Uso de gramática da forma em ilustrações generativas

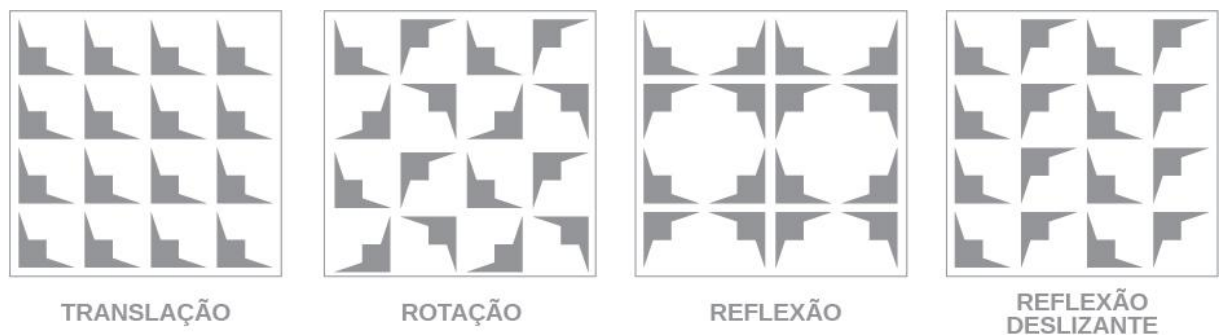


Fonte: Adaptado de Stiny (1975)

Assim, acredita-se que “a simetria é uma propriedade espacial importante dos projetos, e o conhecimento prévio das simetrias dos desenhos gerados é muito útil para definir uma gramática que deve satisfazer certos critérios espaciais” (KNIGHT, 1998, p.510, tradução nossa).

As simetrias estão intrínsecas nas leis da física que regem o universo, e fazem parte de uma abordagem usada por matemáticos para definir o movimento e a posição de um objeto (FIELD; GOLUBITSKY, 2009). Com isso, considera-se que todo movimento rígido do plano, por mais complicado que seja, é um dos quatro movimentos básicos de simetria (Figura 22): translação, rotação, reflexão e reflexão deslizante (WASHBURN; CROWE, 1988).

FIGURA 22 - Movimentos de simetria



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Em todos os tipos de padrões periódicos, essas quatro operações de simetria podem ocasionar em um número limitado de 17 combinações internas (MAKOVICKY, 2016).

Washburn e Crowe (1988) esclarecem que essas categorias de simetria são frequentemente atribuídas a padrões finitos no plano bidimensional, mas que outros tipos de simetria, em uma abordagem mais complexa, podem ocorrer quando se consideram objetos tridimensionais. Os autores complementam que os princípios de simetria não determinam questões de complexidade, eles simplesmente descrevem a maneira como um padrão é organizado, independentemente de sua complexidade formal.

A simetria está muito presente na natureza e é um denominador comum também em ilustrações e artefatos de arte, determinando os padrões de ornamentos geométricos como parte importante da cultura humana. Makovicky (2016) conta que as práticas artísticas e artesanais contribuíram, desde os tempos neolíticos, para a noção e o desenvolvimento do conceito de simetria através das atividades têxteis (Figura 23a), de cestaria, pintura, azulejos (Figura 23b) e cerâmica (Figura 23c).

FIGURA 23 - a) Têxtil andino cultura Inca, datado de 1450-1540 d.C.; b) Azulejos turcos cultura islâmica, datado de 1550-1560 d.C.; c) Cerâmica chinesa cultura Majiayao, datado do período Neolítico 3300-2650 a.C.



Fonte: a) Auther (2019); b) Louvre (2019); c) Rosenberg (2016)

O entendimento do papel da simetria para o desenvolvimento de padrões é substancial, pois “a inteligibilidade de uma teoria de estrutura modular depende de uma compreensão de, até que ponto, os princípios de simetria governam a ordem modular no espaço” (PEARCE, 1978, p.xvi, tradução nossa)

Assim sendo, padrões são importantes representações organizacionais que podem se aplicar em todas as coisas. Considerando que o ponto, a linha e o plano compõem os alicerces das formas no design, Lupton e Philips (2008, p.13), afirmam que “texturas e padrões são construídos a partir de grandes grupos de pontos e linhas que se repetem, revezando-se ou interagindo na formação de superfícies singulares e atraentes”. À vista disso, os autores ressaltam que “entendendo como se produzem padrões, os designers aprendem a tecer complexidade a partir de estruturas elementares, participando de uma das práticas artísticas mais antigas e recorrentes do mundo” (LUPTON; PHILIPS, 2008, p.185).

A fim de buscar definições, pode-se afirmar que o padrão – ou *pattern* no inglês – é um sistema de organização onde uma ou mais unidades são multiplicadas e arranjadas em uma sequência ordenada sobre uma superfície (CHRISTIE, 2013). Ele é, em suma, o resultado da repetição de um elemento (módulo) de maneira contínua (PROCTOR, 1990).

Para Wiener (apud TOUSSAINT; TOUSSAINT, 2014), o mundo é todo constituído de padrões. Eles estão presentes ao nosso redor, não apenas na natureza que nos rodeia e nos sistemas biológicos, como em nosso próprio ser. (MACNAB, 2012). Um exemplo de padrões complexos com simetria que podem ser encontrados na natureza são os flocos de neve (Figura 24).

FIGURA 24 - Flocos de neve



Fonte: Fotografias microscópicas de Wilson Bentley

Dentro de um sistema gráfico visual com repetição, os módulos se repetem de modo a criarem uma textura que pode ser visual ou tátil, e por isso os padrões podem fornecer não apenas qualidades estéticas, como também relevos com propriedades físicas, químicas e funcionais. Além disso, eles podem servir como meios de comunicação e sentido, transmitindo mensagens culturais e sociais.

É possível classificar os padrões entre tipos regulares e irregulares (Quadro 2), sendo os regulares baseados em repetição de unidades com medida, e os irregulares baseados em aleatoriedade e repetição não-mensurável (PROCTOR, 1990).

QUADRO 2 - Classificação dos padrões

PADRÕES REGULARES	PADRÕES IRREGULARES
<ul style="list-style-type: none"> ■ Repetição mensurável ■ Apresentam ordem no sistema 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Repetição imensurável ■ Apresentam desordem no sistema

Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

O método de criação de padrões de repetição regulares, pelo uso de simetria por exemplo, pode servir como fundamentação para o desenvolvimento de padrões de repetição irregulares, ou seja, onde a repetição não pode ser prevista ou controlada. Desta forma,

entender as bases conceituais da composição de padrões simples é o primeiro passo para se atingir superfícies visuais com padrões complexos.

No contexto de padrões de repetição bidimensionais regulares, faz-se referência a três tipos de design distintos (Quadro 3), classificados em termos de suas características de simetria por Hann (2013):

QUADRO 3 - Tipos de padrões básicos

TIPO DE DESIGN	DESCRIÇÃO
■ Motivos	São componentes autônomos recorrentes.
■ Padrões de Frisos	Também conhecidos como padrões de borda ou faixa, são utilizados para a repetição regular de um motivo em uma única direção no plano.
■ Padrões <i>All-Over</i>	Também conhecidos como padrões de plano ou papel de parede, a repetição de um motivo ocorre em duas direções no plano.

Fonte: Adaptado de Hann (2013)

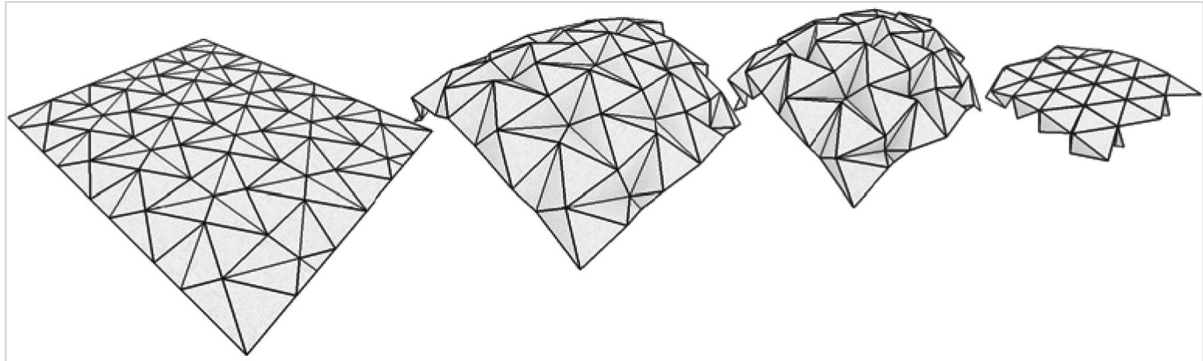
Os padrões do tipo *All-over* são os que permitem uma composição gráfica que irá originar em superfícies construídas com padronagem. Nesse contexto, além das simetrias, é necessário considerar um outro tipo de padrão de organização: as tesselações.

Entender os padrões como sistemas de organização permite que eles sejam explorados não apenas no sentido bidimensional visual, mas também à nível de estruturação da superfície, e a tesselação - ou *tessellation* no inglês - pode ser considerada um exemplo disso.

As tesselações são técnicas de composição que seguem regras de organização baseadas na simetria e podem ser consideradas no contexto das gramáticas da forma. Por meio da combinação de polígonos que se repetem de maneira conectada, elas são a divisão de um plano em um padrão de repetição, que pode transitar entre o bidimensional e

tridimensional (Figura 25), por meio de dobras e técnicas como o origami, por exemplo (LANG, 2018).

FIGURA 25 - Variação entre 2D e 3D de uma superfície com tesselação



Fonte: Tachi (2013)

Lang (2018) considera que a tesselação atribui a propriedade de se manipular superfícies planas no âmbito da tridimensionalidade sem que seja necessário o uso de cortes ou subtração no material da superfície, independentemente deste ser papel, tecido, couro, plástico, entre outros.

Caracterizando e configurando propriedades funcionais da superfície para o objeto em questão, as tesselações, que podem ser chamadas também de *Tiling*, no inglês, ou de Telhadura no português, e têm sua criação baseada no alinhamento lado a lado de formas geométricas ou formas não geométricas simples, para a composição de uma estrutura complexa maior (WIDEWALLS, 2016).

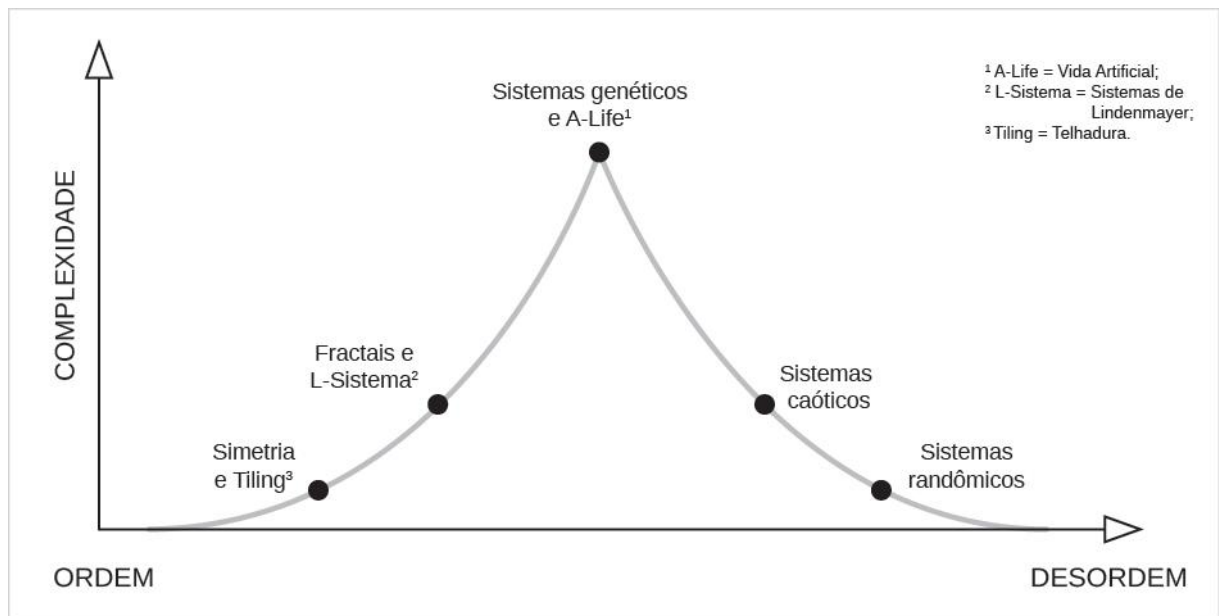
Como uma lei que governa o modo como a estrutura, a forma e a figura são criadas, a tesselação utiliza de matemática e métodos artísticos de representação para produzir padrões originais e criativos. (LANG, 2018)

Com base no que foi visto sobre a construção de padrões, observa-se que as regras de simetria e tesselação fazem parte dos métodos mais primordiais para organização da forma no espaço, atestando a imprescindibilidade dos padrões regulares no design de superfícies mais complexas.

Conforme as gramáticas da forma evoluem e a composição visual se torna mais complexa, devem ser consideradas outras diretrizes para a organização dos elementos dentro dos sistemas, reconhecendo alguns dos princípios fundamentais da complexidade mencionados anteriormente, como emergência, auto-organização, não-linearidade e adaptação.

Em uma análise mais profunda, pode-se comparar o nível de regularidade de um padrão com o nível de ordem de um sistema e, a partir disso, é válido apreciar a classificação dos sistemas generativos visuais (Figura 26) determinada por Galanter (2010) em sua publicação “O que é a arte generativa?”.

FIGURA 26 -Sistemas visuais generativos



Fonte: Adaptado de Galanter (2010)

Seguindo o gráfico adaptado de Galanter, os sistemas visuais generativos têm seu nível de complexidade influenciado pelo equilíbrio entre o parâmetro de ordem e desordem.

Ao se considerar os padrões regulares como sistemas complexos com ordem e, por conseguinte, os padrões irregulares como sistemas em desordem, pode-se afirmar então que o nível de complexidade de um sistema será diretamente influenciado pelo algoritmo e suas regras de estruturação de formas.

Por essa linha de observação, algoritmos genéticos e evolutivos, assim como sistemas que simulam a vida e a natureza por tecnologias artificiais, fazem parte do pico de equilíbrio entre ordem e desordem, de modo que são exemplos completos e notáveis de complexidade. Isso significa que tais sistemas apresentam todas as características consideradas pertinentes ao sistema complexo: auto-organização e emergência, não-linearidade, conectividade, evolução e adaptação.

Assim, todos os tipos de organizações descritos no gráfico podem originar em sistemas complexos, e a diferença estará no nível de estruturação do conteúdo visual e a

gramática utilizada. Além disso, o autor deixa claro que o grau de complexidade de um sistema pode variar dentro de uma mesma categoria (GALANTER, 2010).

Nesse contexto, é relevante esclarecer também, que não existe uma condição específica para se medir o nível de complexidade de um sistema, mas que algumas características podem influenciar. Mitchell (2009) afirma que essas características podem ter a ver com tamanho, entropia, informação algorítmica, profundidade da lógica, e dimensão.

Não obstante, independente do padrão ser regular ou irregular, Reas e McWilliams (2010), afirmam que a repetição é uma característica constante em ambos e tem a função de fornecer ritmo às formas, de modo que pelo uso de regras, todos os padrões visuais são, em sua essência, composições algorítmicas que podem ser trabalhadas por meio de linguagens de programação:

Padrões repetitivos são usados extensivamente para aplicações que exigem a ilusão de uma imagem contínua, como têxteis e papéis de parede. (...) Novas tecnologias de prototipagem rápida e equipamentos de fabricação controlados por computador tornam possível explorar ainda mais essa área (REAS; MCWILLIAMS, 2010, p.59, tradução nossa).

Nesse sentido, as gramáticas da forma são ferramentas que contém um conjunto de regras aplicadas a uma condição inicial, com uma sequência algorítmica que será determinada pelo designer (SPELLER; WHITNEY; CRAWLEY, 2007). De fato, Lupton e Philips (2008, p.233), ao analisarem o papel do designer atualmente, frente às novas tecnologias, consideram que “criar regras e instruções é uma parte intrínseca do trabalho de design”, de modo que as padronagens criadas “mesclam autoria individual com sistemas baseados em regras, misturando igualmente abstração formal com narrativa pessoal”.

À medida que a atividade do design é direcionada para projetar algoritmos, ao invés da própria forma, o conhecimento sobre as gramáticas e as regras para a geração de elementos visuais e composições gráficas passam a ter mais relevância. As gramáticas devem, então, “incorporar o contexto (estético, expressivo, semiótico e funcional), e o modo como as regras são estabelecidas determinará como a forma final irá responder à essa complexa matriz de requisitos” (ARIDA, 2004, p.63).

2.3.3 Etapa de produção: estruturação de têxteis

Lidando com a etapa de produção e tratamento de superfícies, foram selecionadas algumas técnicas têxteis que estabelecem uma relação estrutural importante quando aplicados os conceitos pertinentes ao desenvolvimento de sistemas visuais com complexidade.

Como mencionado, o design de superfícies trata principalmente do design têxtil e apesar da área ser muito mais abrangente do que as superfícies têxteis, a importância destas nesse cenário tem motivos válidos.

Primeiro, porque os têxteis tem um papel muito evidente e importante dentro da história da humanidade. Foram criados e utilizados desde as primeiras civilizações e ainda predominam dentro das sociedades, seja por meio de vestimentas, tapeçaria, revestimentos de artefatos, entre muitas outras aplicações. Eles podem ser vistos como a arte primitiva, muitas vezes inspirada na natureza, da qual todas as outras artes emprestaram seus tipos e símbolos (SEMPER, 2004).

Por outro lado, é preciso aceitar e entender também a importância dos têxteis enquanto superfícies construídas. As tramas são dotadas de propriedades matemáticas, e consequentemente topológicas, sendo responsáveis por estruturas que exploram e delimitam os espaços que nos rodeiam. É por essas propriedades construtivas e espaciais, que as superfícies têxteis são também muito significativas no contexto dos projetos arquitetônicos (SPUYBROEK, 2008; SEMPER, 2004; MONTAGNA; CARVALHO, 2019). De fato, essa área da pesquisa que relaciona a arquitetura com os têxteis, não só já está consagrada internacionalmente, como é conhecida como *Architextiles*, uma denominação híbrida que combina as palavras inglesas *architecture*⁴ e *textiles*⁵.

Garcia (2006) define que:

Como um modo híbrido de design e prática, o setor do architextiles é mais capaz de responder às demandas culturais e de consumo das sociedades que mudam rapidamente, permitindo a produção de espaços mais dinâmicos, flexíveis, interativos, e baseados em eventos e processos. (GARCIA, 2006, p.5, tradução nossa)

Em uma perspectiva mais aprofundada, o autor sustenta que a superfície é um elemento integrado na arquitetura e as “propriedades comuns de continuidade de superfície, leveza, maciez, flexibilidade, espessura e dinamismo fluído, fazem dos têxteis um grupo material apto para a expressão e realização deste novo paradigma teórico-espacial” (GARCIA, 2006, p.8, tradução nossa).

Nesse contexto, as definições pioneiras de Semper (apud CHATTERJEE, 2018) estabelecem que o têxtil é uma superfície integrada, devido à simultaneidade entre seu ornamento e estrutura, e que pode ser considerada como uma parede construída por meio de

⁴ *Architecture* em português é traduzido como ‘Arquitetura’.

⁵ *Textiles* em português é traduzido como ‘Têxteis’.

padrões e texturas que emergem e se constituem por processos de tecer, trançar, atar, entre outros.

Inserida nesses conceitos de construção, Spuybroek (2008) então, ressalta que as técnicas têxteis artesanais, como o tricô, o crochê e a tecelagem, tem um grande valor dentro da arquitetura enquanto conhecimento manual de manipulação das superfícies no espaço. A partir disso, pode-se considerar também sua importância dentro do cenário do design.

A matemática e as propriedades lógicas incorporadas nos processos artesanais manuais condicionam ao design têxtil uma prática material e uma experiência tátil para um profundo entendimento das superfícies enquanto configurações topológicas de tensão, flexibilidade e delimitação do espaço. Com isso, muitos pesquisadores e centros de investigação tem desenvolvido pesquisas que estimulam novos métodos de composição visual e estrutural de formas e texturas inovadoras, além de experimentações com materiais avançados. Alguns desses trabalhos serão explorados nos estudos de caso.

Unir o universo das técnicas tradicionais de desenvolvimento de superfícies tramadas com novas tecnologias é um importante processo híbrido para o design, pois construir tramas por técnicas artesanais pode ser visto como um exemplo de atividade rumo à complexidade, principalmente pela sequência lógica da combinação de pontos na trama.

Uma única linha, que manualmente é transformada em uma superfície e em um artefato tridimensional, condicionará inúmeras propriedades físicas ao objeto dependendo da estrutura estabelecida.

Assim, é preciso esmiuçar os passos e os componentes lógicos do processo manual com o uso da matemática, identificando os componentes essenciais e os conhecimentos da forma envolvidos, contribuindo para estabelecer fundamentações teóricas para o design de superfícies com propriedades de complexidade e a aderência de novas tecnologias de computação.

2.3.3.1 Tecelagem

A tecelagem é uma técnica de entrelaçamento de fios que acompanha a história da humanidade, permanecendo com seus princípios construtivos praticamente intactos desde sua invenção na era Paleolítica, mesmo em processos mecanizados mais recentes. Ela ainda é a tecnologia mais utilizada para a constituição de tecidos por sua alta eficiência quando comparada a outros processos. (ALBERS, 1993)

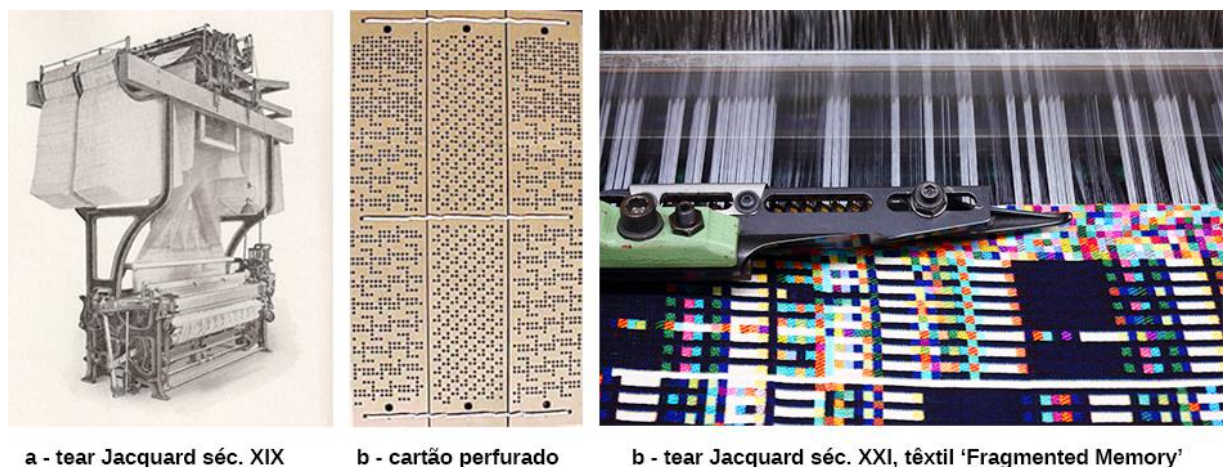
Tecelagem é descrita como um entrelaçamento sistemático de dois ou mais elementos para formar uma estrutura, onde há um conjunto de fios paralelos chamados de urdume que estão sendo entrelaçados por um fio de enchimento chamado trama, por meio do uso de um dispositivo conhecido como tear (KHABAZI, 2010). Uma trama e um urdume se combinam em uma operação binária e refletem diretamente um processo matemático computacional de lógica.

Um dos primeiros exemplos de que esse processo lógico já foi reconhecido e transformado, pode ser visto com o método Jacquard de tecelagem. As máquinas de tecelagem criadas por Joseph Marie Jacquard em princípios de 1800 trouxeram a proposta de um processo de desenvolvimento de têxteis por teares que utilizassem cartões perfurados (Figura 27b) na determinação do desenho tramado, permitindo uma sequência de comandos para gerar padrões complexos elaborados com primor e riqueza de detalhes (BRIGGS-GOODE; TOWNSEND 2011).

Esse método de cartões perfurados foi tão revolucionário, que não apenas influenciou na indústria têxtil, como também, séculos depois, foi utilizado como uma das bases de conhecimento para a programação de computadores e o processamento de dados.

Hoje, esses teares de Jacquard utilizam métodos digitais, não apenas no processo produtivo, como também para a criação e o processamento de padronagens no computador, como pode ser visualizado na Figura 27 o projeto *Fragmented Memory*, criado em algoritmo por Phillip Stearns (2013) e passado para o tecido por tecelagem digital.

FIGURA 27 - Tear Jacquard, cartão perfurado e tecelagem digital



a - tear Jacquard séc. XIX

b - cartão perfurado

b - tear Jacquard séc. XXI, têxtil 'Fragmented Memory'

Fonte: a) Williams (2013); b) Gessler (2002) ; c) Stearns (2013)

A tecelagem é um dos conceitos que é fácil o suficiente para ser explorado como um método de construção básica, podendo ser visto sob uma perspectiva paramétrica capaz de gerar sistemas complexos. A aderência das propriedades intrínsecas de trama para algoritmos digitais traz a possibilidade do desenvolvimento de superfícies livres com características generativas. (KHABAZI, 2010)

Nesse sentido, ao contrário do que se imagina, a tecelagem é um conhecimento muito aplicado em termos de superfícies digitais programadas, existindo inclusive uma vertente específica de estudo conhecida como '*Weaving code*', ou no português 'Código tecido', que une os princípios de construção de superfícies de tecelagem com a ciência da computação (MCLEAN; HARLIZIUS-KLÜCK; JEFFERIES, 2017).

Com isso, pode-se afirmar que a tecelagem com seu processo lógico do tecer é muito abrangente, e pode ser considerada como um conhecimento base para aplicação nas mais diversas áreas de pesquisa.

2.3.3.2 Tricô

O tricô - ou *knitting* no inglês - é uma técnica de entrelaçamento de fios, tendo surgido como um processo artesanal manual mas que pode ser realizado também com máquinas digitais na indústria.

Com o auxílio de duas ou até cinco agulhas longas, o fio de algodão, de lã ou sintético, vai se enroscando em si mesmo e formando nós em uma organização de pontos que ocorre fileira a fileira. O processo manual é simples, primeiro os pontos são adicionados em uma agulha para depois serem transferidos, um a um, para a outra (Figura 28). Nessa sequência e transição, podem mudar as regras como esses pontos são inseridos ou combinados, permitindo a composição de inúmeros padrões de trama.

Landahl (2013) afirma que a essência da atividade do tricô está em um processo onde material e forma se tornam a mesma coisa durante a prática, utilizando de uma abordagem de desenvolvimento de padrões de repetição.

FIGURA 28 - Imagens representando a atividade de tricotar



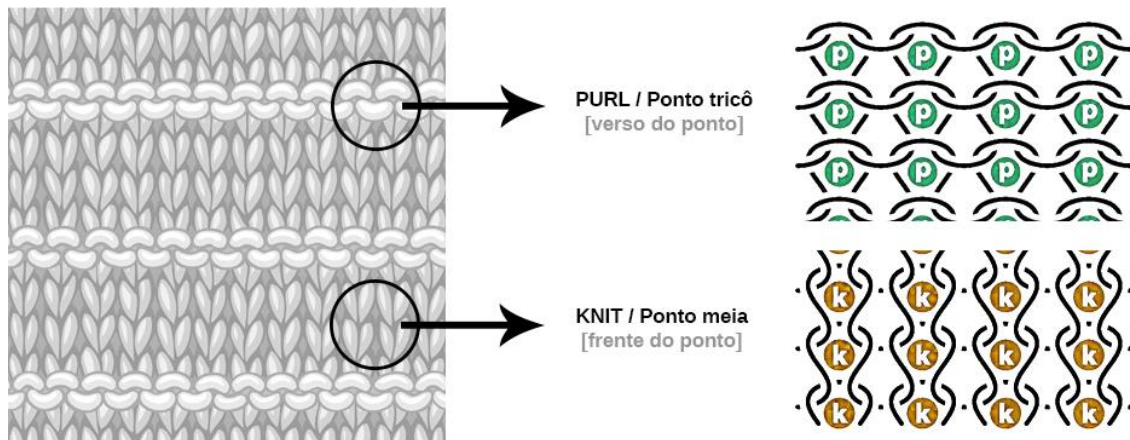
Fonte: Agulhas de pontas simples (WOODSTOCKINN, 2019) e agulhas de pontas duplas (STEWART, 2019)

Por trás de todo projeto de tricô ocorre, além da aritmética de se contar carreiras e pontos, também condições estruturais que podem ser compreendidas com matemática e topologia (BELCASTRO; YACKEL, 2017).

McKnelly (2015) afirma que a prática de tricotar é construir uma malha com *loops*⁶ entrelaçados verticalmente por meio de um código baseado em regras, tornando o tecido “inerentemente heterogêneo, anisotrópico⁷ e imprevisível - um material de desempenho diretamente ligado à estrutura interna”.

Os pontos de tricô se dividem em três categorias construtivas: pontos estáticos; pontos de aumento e pontos de diminuição (MENNEL, 2012). A base dos padrões de tricô são pontos estáticos, conhecidos como ‘ponto meia’ e ‘ponto tricô’ em português, ou ‘*knit*’ e ‘*purl*’ em inglês, respectivamente. Na verdade, ambos são o mesmo ponto, e a diferença de nomenclatura é referente a fazerem parte da frente ou do verso da trama (Figura 29):

FIGURA 29 - Representação gráfica do ponto de tricô



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

⁶ ‘*Loop*’ em português traduzido como ‘Laço’.

⁷ Anisotrópico, conforme Panitz (2003), é “propriedade de um sistema em que as características variam conforme a direção em que são medidas (...) não possui as mesmas características em todas as direções”.

Uma superfície de tricô pode variar sua textura, movimentação e flexibilidade de acordo com as regras de combinação e organização dos pontos *knit* e *purl* (LANDAHL, 2013), além é claro, dos materiais utilizados que podem influenciar também na densidade e nas características estéticas da superfície. Com isso, um simples tipo de ponto, dependendo do padrão de organização pode ocasionar em uma grande variedade de texturas visuais e táteis para a superfície tramada por tricô (Figura 30).

FIGURA 30 - Superfícies com padrões variados em tricô



Fonte: Leapman (2013)

Ao se analisar a técnica do tricô e ao se fragmentar seus componentes e respectivas funções, Mennel (2012) considera que qualquer forma pode ser gerada virtualmente com base em seus princípios construtivos. Nesse sentido, o autor afirma que o tricô tem o potencial de se tornar um meio inovador de construção e fabricação quando analisado por meio de seus elementos estruturais e performativos, e complementa que uma vez estabelecidas as regras de construção, qualquer um que tenha conhecimento básico da técnica pode ter a habilidade de criar superfícies complexas.

2.3.3.3 Crochê

A terceira e última técnica considerada para investigação foi o crochê. O crochê - ou *crochet* em inglês - pode ser visto como um processo que permite explorar o surgimento da forma e a emergência de uma estrutura organizada no espaço, podendo também ser utilizado como um modelo físico para demonstrar teorias matemáticas e instruções algorítmicas (WORDEN, 2011).

Em semelhança ao tricô, a técnica permite o entrelaçamento repetido de um único fio ao redor de si mesmo, com o intuito de formalizar pontos que se combinam e estabelecem uma superfície tramada (Figura 31). No entanto, à diferença da técnica anterior, o crochê utiliza uma única agulha com a ponta em formato de gancho, o que condiciona que ao invés de construir o padrão fileira a fileira, a trama seja composta ponto a ponto, tornando o processo criativo mais livre e a correção de erros mais acessível.

FIGURA 31 - Imagens representando a atividade do crochê



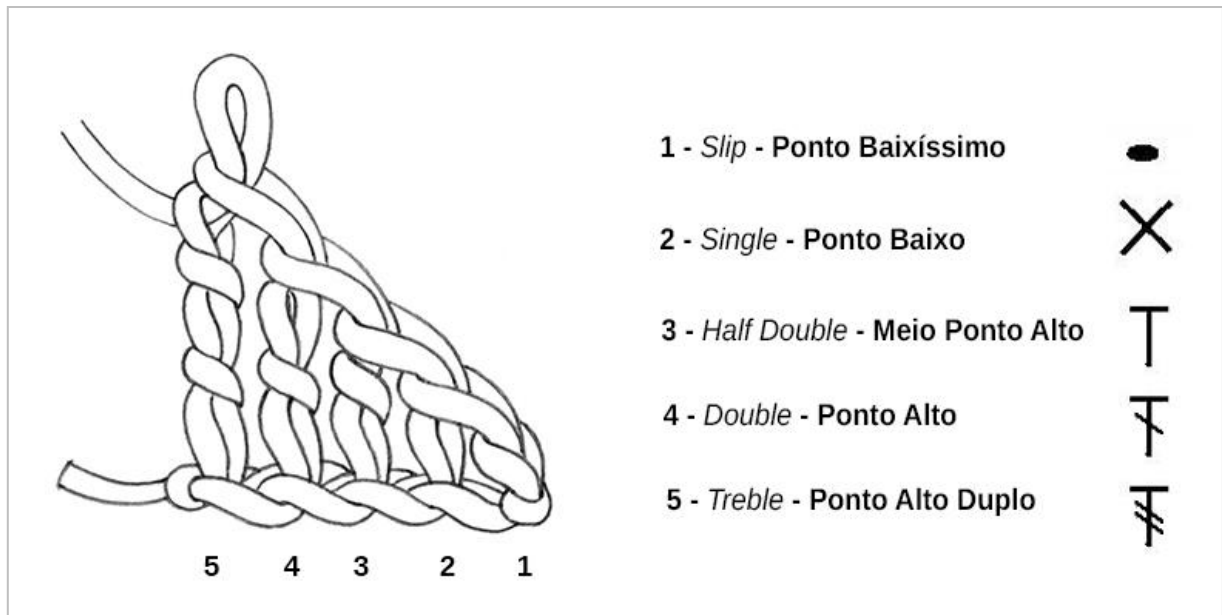
Fonte: Fabricate (2019); Breann (2018)

Os pontos - ou nós - do crochê são nomeados de acordo com o número de entrelaçamento do fio na agulha/gancho, sendo conhecidos por sua estrutura simples, dupla, tripla, etc. em países de língua inglesa: *single*, *half double*, *double*, *treble*, etc.

Em português, a denominação fica por conta da altura dos pontos, podendo ser chamados de ponto baixíssimo, baixo, alto, etc. Existem muitas variações de pontos, principalmente se levada em conta a criatividade e liberdade que o crochê condiciona ao artesão. Entretanto, independente da nomenclatura, que pode variar também de um país à outro, existe uma padronização na execução. Na Figura 32 é possível visualizar a

representação gráfica de alguns dos pontos mais utilizados, com seus respectivos nomes e símbolos representativos.

FIGURA 32 - Tipos de pontos de crochê



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Uma receita de crochê normalmente segue o padrão europeu, onde as instruções são escritas ponto a ponto. Entretanto, devido à dificuldade enfrentada para ler padrões escritos em idiomas ocidentais, os japoneses desenvolveram todo um sistema gráfico de representação dos pontos do crochê por meio de símbolos, como no exemplo da Figura 32, que já são conhecidos e usados pelo mundo (TURNER; GRIEND, 1996).

Atualmente, é possível encontrar livros e revistas que apresentam uma mistura entre as duas representações, aliando instrução escritas com gráficos ilustrados e até um adicional de imagens com passo a passo.

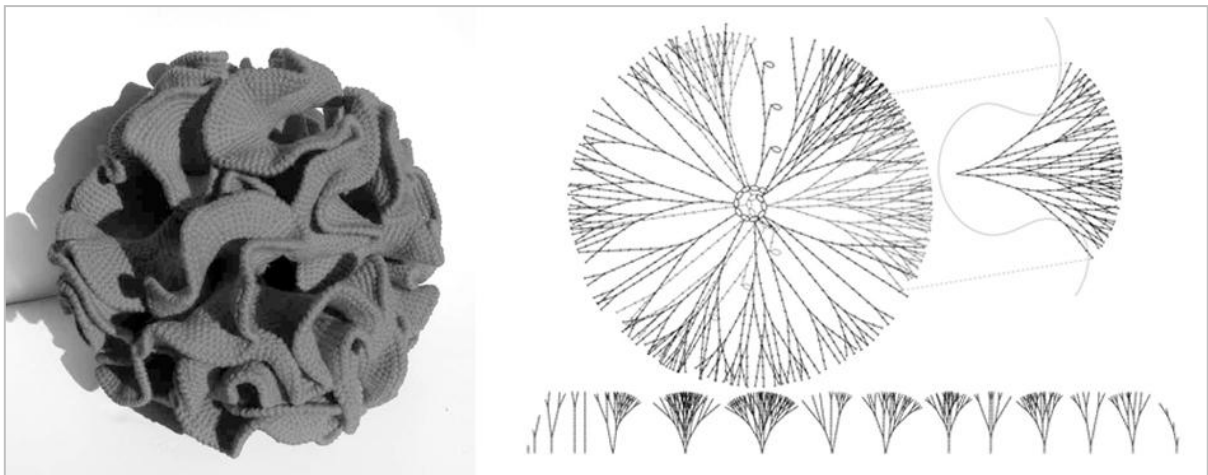
Os estudos dos princípios construtivos do crochê vão muito além das técnicas tradicionais de artesanato, e estão presentes também no cenário das pesquisas científicas em áreas como a matemática, arquitetura e ciência da computação. Existem publicações significativas que apresentam as relações da prática do crochê com teorias matemáticas. Baurmann e Taimina (2011) afirmam que por meio de modelagem 3D, programação de dados, e topologia, é possível transferir princípios de performance e comportamento da composição de pontos do crochê para o ambiente digital, de modo a gerar uma série de superfícies e estruturas complexas, baseadas em regras locais de organização e estruturação.

Nesse cenário, as autoras complementam que o crochê é uma técnica que tem:

[...] o potencial para gerar uma infinidade de volumes, fios, referências cruzadas e seqüências volumétricas sem nunca ter que interromper a linha contínua da fibra. O tecido de crochê ou de malha especificam regras locais de aumento e diminuição, de pausa temporária e de continuidade, permitindo que o tecido se separe ou se aproxime (BAURMANN; TAIMINA, 2011, p. 100, tradução nossa).

Um exemplo disso está na construção do diagrama do plano hiperbólico (Figura 33), que utiliza de ferramentas digitais de geometria e da técnica manual do crochê para representar no plano virtual e físico a teoria matemática não-euclidiana da superfície hiperbólica.

FIGURA 33 - Crochê do plano hiperbólico



Fonte: Adaptado de Baurmann e Taimina (2011)

Nesse cenário, observa-se que o crochê pode ser visto como um veículo significativo para se explorar o design de superfícies por meio de algoritmos e regras de programação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa é de natureza básica e com forma de abordagem qualitativa para análise dos dados, por meio de método exploratório a investigação utilizou como procedimento técnico uma revisão bibliográfica, um estudo de caso e uma abordagem experimental. Assim sendo, os procedimentos metodológicos incluíram a pesquisa bibliográfica para revisão de literatura e fundamentação teórica, uma pesquisa de campo por meio de estudo de caso, e uma pesquisa experimental por meio da reprodução de algoritmos construtivos.

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para a constituição da revisão bibliográfica vista foram utilizados como referência livros conceituais significativos para a área, assim como artigos científicos recentemente publicados em periódicos nacionais e internacionais. Pela colaboração entre campos tão diversificados, a pesquisa teve como objetivo também, identificar os centros de pesquisa que apresentassem grupos de investigação que trabalham com todos os conceitos sugeridos neste trabalho. Desta forma, observou-se que muito do conteúdo pertinente está disponível em áreas que vão além do design, como engenharia, têxtil, matemática, mídia e tecnologia, artes, física, química, entre muitos outros.

3.2 ESTUDO DE CASO

A observação individual sistemática de amostras intencionais implicou na seleção de casos específicos que apresentassem a combinação dos conceitos essenciais investigados na fundamentação teórica. As etapas para o estudo de caso são determinadas por: fundamentação dos temas tratados (1); definição das unidades-caso (2); determinação do número de casos (3); elaboração do protocolo de estudo (4); coleta de dados (5); análise e interpretação dos dados (6).

Em busca de um estado da arte do design de superfícies complexas, os casos selecionados para interpretação e análise fazem parte de projetos aplicados ou acadêmicos que fundem os conceitos propostos, de modo a estimular a abordagem da complexidade e a atividade da programação de dados aplicadas ao campo do design (1).

Assim, foram selecionados projetos de design de superfícies, classificados pela sua abordagem representacional e ferramentas 2D ou 3D utilizadas (2). Os 4 casos escolhidos

para coleta (3) apresentam os seguintes requisitos: design para aplicação têxtil; expressão de complexidade; e uso de algoritmos computacionais.

Os dados coletados no estudo de casos foram percorridos de acordo com a ficha de análise desenvolvida (Quadro 4) e representados visualmente por meio de imagens (4).

QUADRO 4 - Ficha guia para estudos de caso

ETAPA	CONTEÚDO
Identificação	<ul style="list-style-type: none"> ■ Título; ■ Autoria; ■ Empresa ou instituição do projeto; ■ Localização; ■ Ferramenta digital utilizada (Processing ou Grasshopper); ■ Classificação da superfície produzida (envoltório ou objeto);
Apresentação	<ul style="list-style-type: none"> ■ Descrição do projeto; ■ Justificativa da seleção e inovações identificadas;
Análise	<ul style="list-style-type: none"> ■ Questões de complexidade e construção algorítmica;

Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

As informações foram obtidas por meio de revisão bibliográfica em publicações científicas, teses e dissertações dos autores de cada projeto, além de dados retirados de páginas online oficiais das respectivas instituições ou empresas responsáveis (5).

A análise qualitativa dos projetos (6) focou na busca por estabelecer as principais características e os benefícios de cada um, investigando as inovações existentes e fornecendo subsídios para uma possível metodologia do design de superfícies complexas.

3.3 EXPERIMENTAÇÕES

Para as aplicações práticas foram, inicialmente, identificados os softwares que possibilitassem o desenvolvimento de algoritmos voltados à composição gráfica. Nesse sentido, foram realizadas algumas explorações nos softwares propostos na pesquisa, como o Grasshopper na plataforma Rhinoceros para superfícies tridimensionais e o Processing para superfícies bidimensionais. Ambos foram estudados por meio de livros e cursos online, na busca pela aprendizagem e reprodução de sua linguagem de programação.

Para as experimentações com algoritmos, as informações foram apresentadas por meio da representação do código de programação e imagens de simulações.

4 APLICAÇÕES

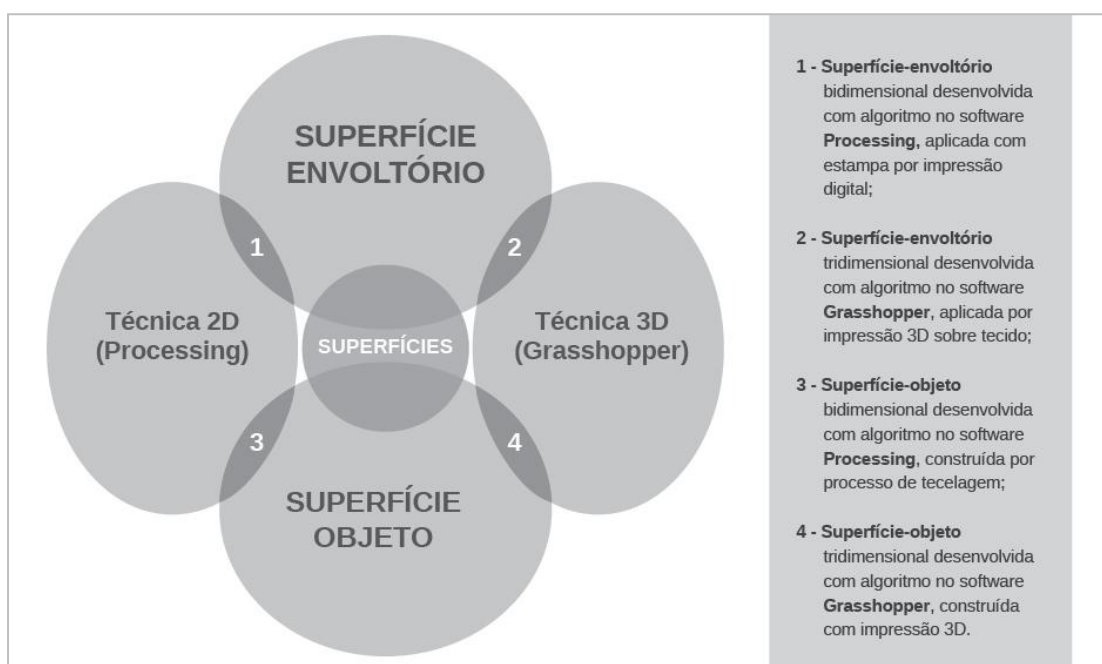
A contemporaneidade abre caminhos para a relação dos novos projetos de superfícies com as tecnologias digitais de computação, incitando a emergência de formas e texturas cada vez mais complexas. Nesse sentido, para delimitar o setor estudado nesta pesquisa, foram levados em conta os projetos de superfícies com complexidade para aplicação digital e têxtil.

Sob a ótica da complexidade e o uso de algoritmos, foi analisado o design de superfícies em ambiente digital, no caso de padronagens que podem ou não ser impressas; e o design de superfícies têxteis, como é o caso das técnicas selecionadas de tecelagem, tricô e crochê.

4.1 ESTUDO DE CASO

Pode-se afirmar que a superfície têxtil nesta pesquisa foi tratada basicamente por duas vertentes construtivas, seja pela sua condição enquanto suporte para padronagens, ou seja pela sua capacidade enquanto estrutura tramada. Mais do que isso, é importante lembrar que o conceito unificador para esse paralelismo observado é o design generativo, ou seja, a complexidade em sistemas visuais e o uso de algoritmos computacionais. Com isso, a Figura 34 formaliza os critérios de escolha dos projetos a serem abordados nos estudos de caso:

FIGURA 34 - Critérios de seleção dos estudos de caso



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

4.1.1 Superfície-envoltório 2D

■ *Identificação do caso*

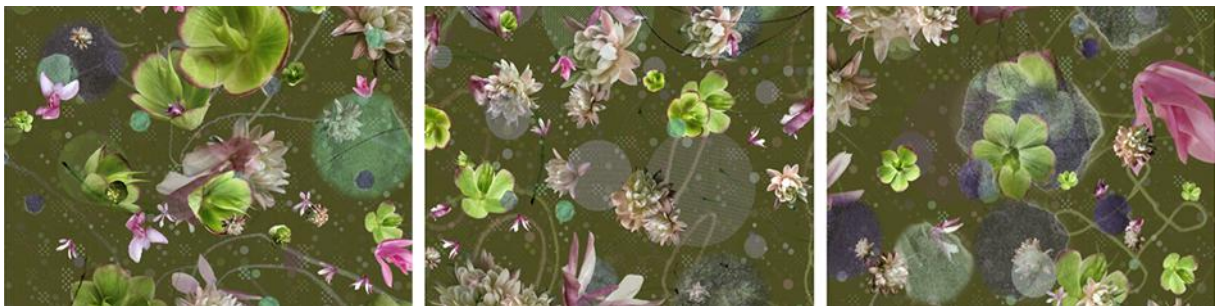
O primeiro estudo de caso escolhido trata do projeto desenvolvido por Alex Russell para a *Manchester Metropolitan University*, na Inglaterra em 2014. O trabalho foi exibido internacionalmente e apresentado no livro “*Digital Textile Printing*” de Susan Carden.

A superfície trabalhada tem sua condição de envoltório, e foi criada em ambiente computacional bidimensional com o uso de algoritmos desenvolvidos no Processing. A geração de padrões irregulares ocorre por movimentos randômicos e princípios de complexidade, ocasionando em padronagem a ser impressa em tecidos por meio de tecnologia de impressão digital.

■ *Apresentação do projeto*

Partindo de uma valorização da tecnologia de impressão digital em tecidos, a pesquisa identifica novos métodos de se trabalhar a criação de estamparia e suas padronagens por meio de processos digitais de programação de dados. Percebendo que a impressão digital não exige a necessidade de um padrão de repetição baseado em módulos fixos, pois a peça gráfica é enviada diretamente do computador para a máquina e o tecido, a proposta de Russell (2014) foi explorar a capacidade que os algoritmos computacionais têm, em associação com a tecnologia de impressão, ao permitir a criação de estampas que evoluem e se modificam em tempo real (Figura 35), durante o processo de produção.

FIGURA 35 - Três seções diferentes de uma mesma padronagem



Fonte: Adaptado de Russell (2014)

O projeto foi escolhido para análise por assomar a necessidade de se repensar os processos de criação e a metodologia do design frente à evolução das novas tecnologias de impressão em tecidos e as possibilidades expressivas envolvidas. Outro motivo da escolha, foi pela observação de um hibridismo de conhecimentos que combinam o design de

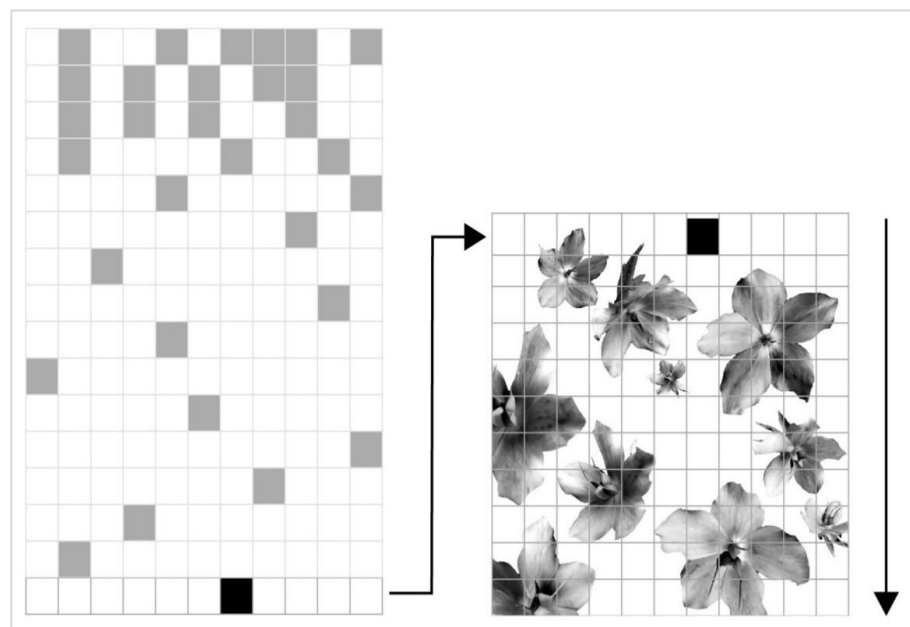
superfícies bidimensionais com o auxílio das ferramentas de complexidade e linguagens de programação de dados.

Ao tratar de padronagens complexas, dinâmicas e evolutivas, o projeto aborda questões de algoritmos generativos, trazendo métodos construtivos baseados em sistemas de organização com complexidade. No caso, foi utilizado especificamente a prática referente aos autômatos celulares - *cellular automaton* ou *cellular automata* em inglês.

Autômatos celulares são modelos matemáticos que têm por objetivo estabelecer padrões complexos infinitos por meio tesselações que se estruturam em um processo interativo de auto-organização de células em um grid (WOLFRAM, 1994).

Russell (2014) exemplifica que métodos matemáticos baseados em autômatos celulares permitem a evolução dos elementos gráficos em um sistema de organização complexo por meio da alteração de suas relações e conexões enquanto módulos de repetição. Desta forma, ocorre a criação de padrões gráficos que emergem e se alteram com o tempo, permitindo que a formação da padronagem seja imprevisível, aleatória e dinâmica.

FIGURA 36 - Representação dos autômatos celulares e a padronagem



Fonte: Russell (2014)

O desenvolvimento de autômatos celulares pode ocorrer por meio de código desenvolvido no software Processing. Nele, a estampa é concebida como um resultado do código de linguagem de programação, e o padrão gerado pode apresentar a reprodução do módulo de maneira infinita sem que haja necessariamente uma repetição do mesmo.

■ *Análise*

Esses novos métodos de criação dão oportunidade de que as estampas deixem de ser estáticas e passem a ser imagens dinâmicas, se alterando e evoluindo progressivamente. Isso garante também uma personalização de produtos têxteis impressos, trazendo um aprimoramento ao processo de design e permitindo uma padronagem sem restrições de comprimento com qualidade e variedade de cores.

Um dos benefícios da programação nesse exemplo é a possibilidade que o código fornece de que um módulo não seja igual ao anterior, evoluindo e emergindo conforme as variáveis e funções determinadas no sistema.

Além disso, pode-se dizer que a pesquisa traz a tona questões de customização de massa (MALIK, 2016), reafirmando os processos de design generativo para estamparia enquanto método que valoriza o produto com design individual e criativo.

O uso de algoritmos e a criação de programas permite que o designer possa estabelecer, caso seja necessário, uma relação mais fortalecida com o usuário/cliente, a partir do momento em que o mesmo poderia interagir com a organização do sistema visual, previamente estabelecido pelo algoritmo, e influenciar nos resultados finais. Com isso o consumidor tem experiências interativas com o desenvolvimento do produto e pode contribuir também com a inserção de dados – parâmetros - no código criado.

A imensa variedade de resultados oportuniza que a solução de design alcance um amplo mercado e beneficie muitos tipos de consumidores, influenciando no paradigma de produtos de massa. A personalização valoriza os objetos aos olhos do usuário, que passa a comportar maior valor sentimental sobre os mesmos.

4.1.2 Superfície-envoltório 3D

■ *Identificação do caso*

O segundo caso estudado faz referência ao project Sonogrid, desenvolvido por Oliver Köneke and Moritz Wallasch na instituição KISD (*Köln International School of Design*) localizada em Colônia na Alemanha.

Para este projeto a ferramenta digital utilizada para a criação do algoritmo da superfície-envoltório foi o Grasshopper, juntamente com a modelagem tridimensional no Rhinoceros. O trabalho ficou no top 5 da menção honrosa feita pelo júri do prêmio internacional *3D-Printing Design Award* em 2016.

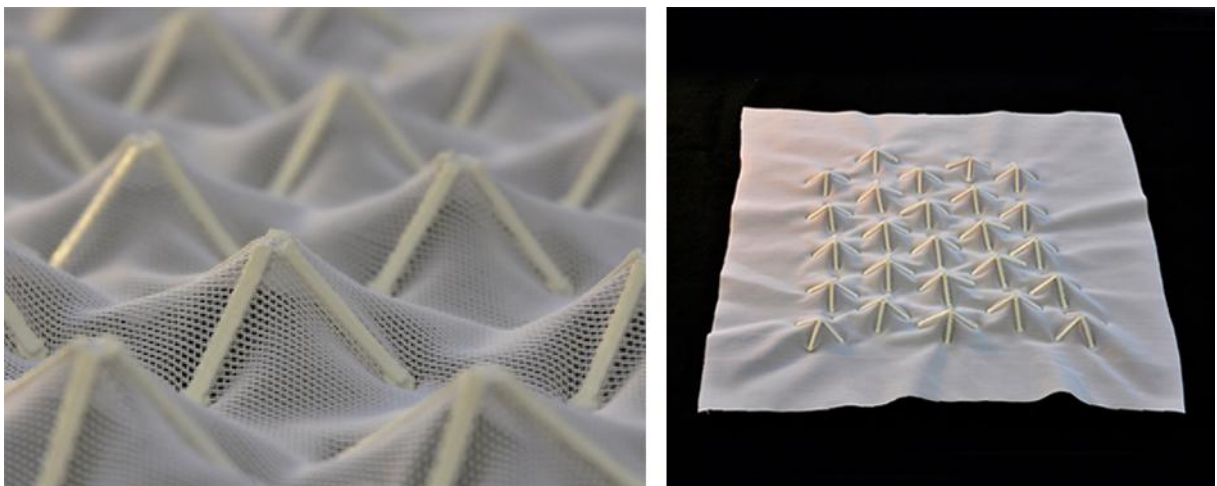
A superfície tratada pode ser classificada como superfície-envoltório pois seu design e a aplicação por decomposição de filamento plástico com impressão 3D têm por objetivo principal a caracterização de uma superfície de suporte, no caso o tecido.

■ *Apresentação do projeto*

Com o propósito de desenvolver superfícies para a melhora do conforto acústico de ambientes, o projeto desenvolvido por estudantes da KISD sugere a impressão 3D em tecidos com alta elasticidade. De acordo com os criadores do trabalho (KISD, 2016), o padrão é constituído por uma estrutura em forma de pirâmide, que absorve e, conseqüentemente reduz o som, aprimorando o isolamento acústico dos espaços (Figura 37).

A tecnologia de manufatura aditiva utilizada mostra um incentivo nos novos processos produtivos e permite que a superfície seja construída em tamanhos diferentes, conforme as necessidades espaciais do local. O material é adicionado sobre o têxtil esticado, de maneira que, quando em estado relaxado, forme uma estrutura tridimensional.

FIGURA 37 - Aplicação de filamento no tecido



Fonte: KISD (2016)

O projeto foi selecionado para ser estudado por combinar os conceitos discutidos na pesquisa. O alunos de design utilizaram do recurso de criação de algoritmos para a construção da forma, e de ferramentas digitais de modelagem 3D e manufatura aditiva.

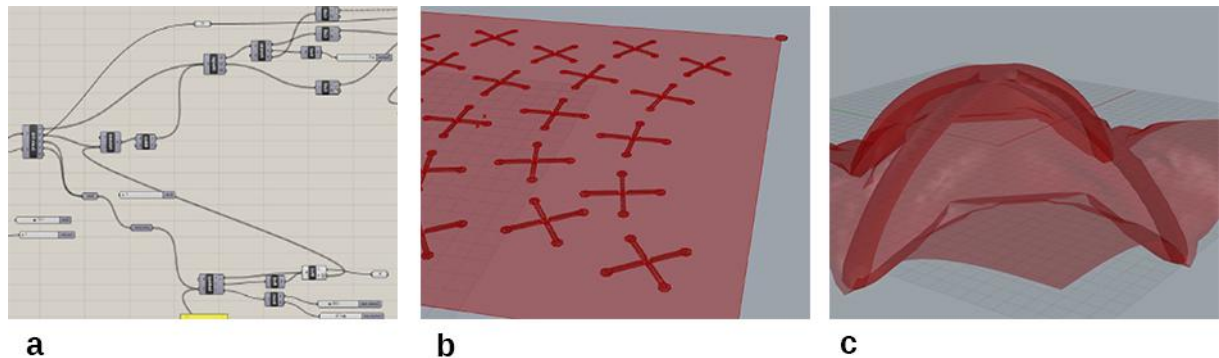
O destaque deste caso está, principalmente, na combinação das novas tecnologias de impressão 3D com o desenvolvimento têxtil. A proposta é um exemplo de novos métodos para o design de superfície, mostrando a importância de se pensar na construção da forma e suas propriedades físicas e espaciais de acordo com a aplicação.

■ *Análise*

O algoritmo foi desenvolvido no Grasshopper e otimiza as formas pelo uso de regras que consideram o movimento ocasionado pela elasticidade do tecido, conforme pode ser observado na Figura 38.

A complexidade está presente na organização emergente do sistema visual, e ocorre pela conectividade estabelecida entre os elementos na superfície, além da repetição do módulo por técnicas de simetria. A combinação dos filamentos em pirâmides simples ocasiona em um padrão regular com características de complexidade, principalmente com a impressão 3D no tecido e a capacidade de adaptabilidade do mesmo perante diferentes situações.

FIGURA 38 - a) Algoritmo; b) Planificação e c) Representação 3D



Fonte: Adaptado de KISD (2016)

O projeto considera que o produto poderia ser personalizável, pois o tamanho da tela e a quantidade de repetições do padrão irão depender, em uma primeira instância, da necessidade do ambiente. Isso mostra a importância de se pensar a superfície por meio de padrões com módulos que se repetem e se organizam.

Entretanto, é significativo destacar que a impressão 3D, apesar de cada vez mais democratizada, ainda é um processo caro quando comparado à outras técnicas têxteis, principalmente no que se refere à grandes quantidades de materiais para deposição de filamentos. Nesse sentido, a produção pode não ser tão viável dependendo do local de aplicação, e por consequência, do tamanho do têxtil para revestir tal espaço.

Além disso, vale considerar também que os experimentos realizados pelo projeto foram em têxteis pequenos, onde existia a possibilidade de se esticar as peças em bastidores de fácil manuseio. O questionamento surge então, em como esse processo se daria no caso do esticamento de têxteis muito maiores.

Se observarmos atentamente, a ideia provavelmente teve inspiração nas paredes de ambientes com isolamento acústico, onde o formato da superfície se assemelha ao fundo de uma caixa de ovos. Assim, pode-se afirmar que a reprodução dessa textura tátil em suportes têxteis aporta a possibilidade de mais maleabilidade e flexibilidade para tais superfícies. Isso traria benefícios também para situações onde a inserção e retirada desses têxteis precisasse ser remota, como em eventos, por exemplo.

Ainda que haja inúmeras questões a serem pensadas, a pesquisa traz muitos benefícios para o design, principalmente pela inovação de processos e funcionalidades para as superfícies.

4.1.3 Superfície-objeto 2D

■ *Identificação do caso*

Fundada pelas irmãs Dena and Chelsea Molnar, a empresa norte americana WOVNS (2019) é uma empresa têxtil que disponibiliza no mercado a possibilidade de produtos personalizados (Figura 39). Com a oferta da venda de tecidos para decoração, o site oficial abre a premissa do cliente alterar e caracterizar os modelos de padrões de repetição fornecidos pela empresa por meio de código de programação.

Vale destacar que a iniciativa inovadora da empresa garantiu uma reportagem especial na Forbes (BONIME, 2017), além de ter ficado entre os 5 finalistas do Prêmio Architizer A+Awards de 2017 na categoria de produtos têxteis (ARCHITIZER, 2017).

FIGURA 39 - Têxteis em Jacquard da WOVNS

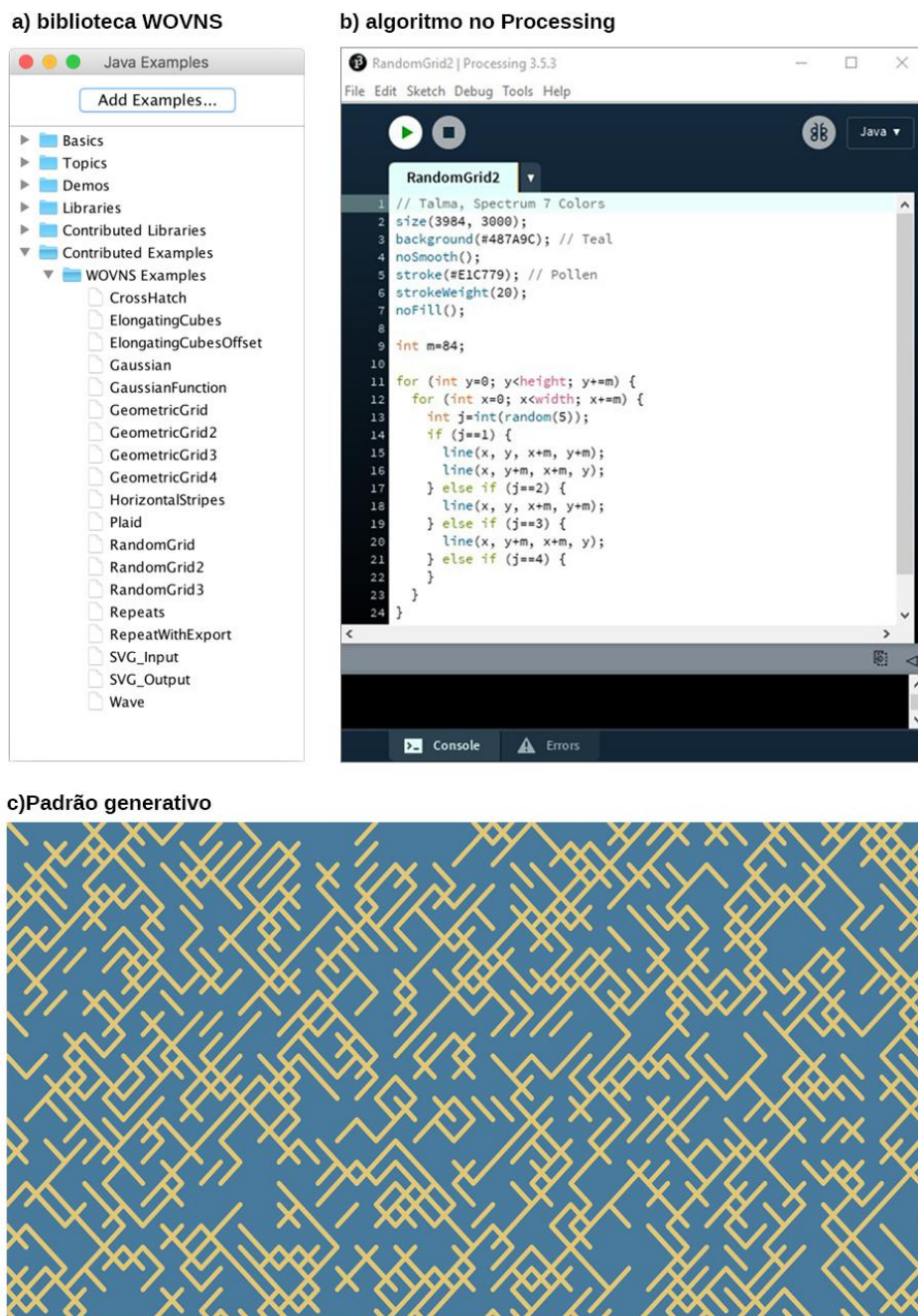


Fonte: WOVNS (2019)

■ Apresentação do projeto

Com uma paleta de cores própria, limitando a escolha do cliente de acordo com o processo disponível, a loja online disponibiliza não apenas a compra do produto com design próprio, como também os recursos para o design de novos padrões. Em uma página dedicada a tutoriais e orientações de design é possível aprender a instalar o software do Processing, baixar a biblioteca de arquivos da WOVNS, e manipular o código para a personalização das padronagens (Figura 40).

FIGURA 40 - Padronagem WOVNS



Fonte: Adaptado de WOVNS (2019)

As superfícies criadas e posteriormente submetidas pelos usuários na plataforma serão construídas pelo método de tecelagem Jacquard, que através da trama formaliza as mais diversas padronagens em tecidos encorpados. Por esse motivo, as superfícies neste caso são classificadas como superfície-objeto pela construção de suas formas estarem intrínsecas ao objeto.

■ *Análise*

Com essa atitude inovadora, a empresa propicia não apenas novos recursos para a venda de seus produtos, como também abre para a comunidade uma parte do conhecimento referente ao design digital com algoritmos.

O caso da WOVNS foi escolhido por apresentar uma aplicação prática do uso de algoritmos para o desenvolvimento de superfícies têxteis e a inserção recorrente no mercado de tais tecnologias. A proposta deles está na firmação de um processo híbrido, que combina métodos de criação de superfícies complexas com código programado e o processo tradicional de produção de tecelagem.

Além de estimular a programação de dados para o design de superfícies, o projeto da empresa abre a possibilidade da utilização de algoritmos em linguagem de programação com o auxílio do software Processing, comprovando a emergente inserção desses métodos criativos no setor e auxiliando em uma democratização de procedimentos computacionais para o desenvolvimento de estampas diferenciadas.

Com o uso do Processing para criação de padronagens, as superfícies passam a ser tratadas como sistemas visuais de organização da forma. O papel do designer, ou no caso do cliente, será de criar e personalizar o layout do padrão por meio da alteração das regras estabelecidas no código.

Enquanto a tecelagem por Jacquard trouxe uma revolução ao permitir a manufatura de padrões mais complexos, as tecnologias digitais de programação trouxeram o inverso, um avanço no desenvolvimento desses padrões cada vez mais complexos para aplicação direta em teares (TUCKER, 2016).

Nesse caso, podem ser levados em conta vários conceitos significativos para o design. Primeiramente, está o uso de algoritmos e o design paramétrico para a criação de padronagens. Em um segundo momento, pode ser considerada a acessibilidade do design por meio de códigos, e a conseqüente abrangência criativa desse processo, que gera um estímulo para a customização em massa. A liberdade que o comprador encontra em manipular e

personalizar suas padronagens incentiva a popularização de novas maneiras de se customizar o produto e de se inserir uma pluralidade visual no design de padrões.

Outra observação a ser feita é o fato da empresa aplicar o design criado por métodos de tecelagem, e não por meio de estamperia. Nesse sentido, mesmo que a superfície construída seja do tipo bidimensional, desenvolvida digitalmente, a aplicação ocorre por um processo tridimensional, na estruturação da trama têxtil, delimitando assim a superfície como objeto.

Apesar da abertura do processo criativo, o método ainda tem algumas limitações. Primeiro porque o comprador/usuário deve ter algum conhecimento mínimo de programação no Processing, por mais que a empresa disponibilize um tutorial de como alterar os algoritmos em sua página virtual.

Segundo, pelo próprio padrão em si. Ainda que o catálogo tenha várias opções de algoritmos, e que as possibilidades de alterações desses algoritmos sejam inúmeras, elas ainda são limitadas, principalmente quando levados em conta os conhecimentos técnicos do cliente.

Entretanto, as criadoras da empresa afirmam que seus produtos estão sendo muito bem aceitos pela comunidade criativa, não apenas entre designers independentes como entre grandes firmas arquitetônicas (MOLNAR apud POSTREL, 2017). Assim, pode-se afirmar que a iniciativa é válida ao trazer novos recursos para o mercado de têxteis e para as novas tendências de customização em massa.

4.1.4 Superfície-objeto 3D

Por último, mas não menos importante objeto de estudo desta pesquisa, foram consideradas as principais técnicas de construção de trama e, portanto, foram definidos 3 estudos de caso sobre a superfície-objeto tridimensional.

Como visto previamente, a tecelagem, o tricô e o crochê fazem parte de uma série de técnicas artesanais milenares que aportam conhecimentos formais e estéticos no desenvolvimento de têxteis. O entrelaçamento de fios respeita um processo lógico de cálculos matemáticos e regras algorítmicas que permitem o surgimento de texturas, geometria e topologia com complexidade.

Devido à importância dessas técnicas enquanto métodos construtivos de superfície, foram observados os projetos que tratassem desse conhecimento histórico sob uma nova ótica tecnológica:

a) Tecelagem

■ *Identificação do caso*

Zubin Khabazi (2010), em seu laboratório de arquitetura algorítmica chamado Morphogenesis, desenvolveu pesquisas sobre o desenvolvimento de algoritmos generativos para modelagem e impressão 3D, utilizando o *software* Rhinoceros com o Grasshopper para a construção de superfícies enquanto objetos tridimensionais.

■ *Apresentação do projeto*

Fazendo uma análise do processo construtivo da técnica de tecelagem, o autor propõe um olhar mais atento para processos de fabricação tradicionais como fundamentação para processos produtivos contemporâneos.

Khabazi (2010) afirma que todas as tramas têxteis, por serem superfícies flexíveis e maleáveis, podem ser tratadas como superfícies *Non Uniform Rational Basis Spline*⁸ (NURBS). Assim, consideradas como curvas uniformes não racionais, as *splines* são curvas polinomiais construídas através de pontos de controle externos que controlam sua curvatura, de modo que suas características matemáticas ajudam a preservar a fidelidade da superfície do objeto modelado no computador.

A modelagem digital com o uso de NURBS têm um papel significativo em gráficos de modelagem digital, como é o caso do Rhinoceros, e permitem a representação quase fiel de um produto de trama, onde o objeto construído pode ser facilmente alterado e o designer tem total liberdade de exploração.

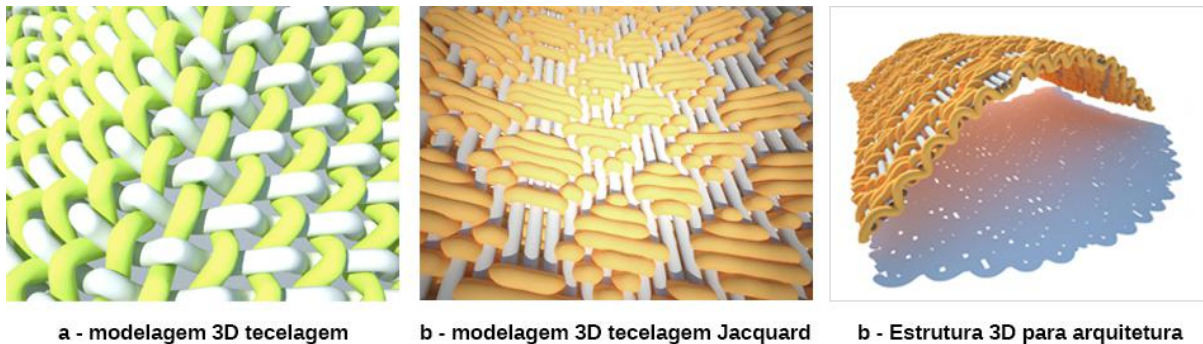
No projeto de Khabazi (2010), foram realizadas experimentações de construção da trama tecida dentro do algoritmo criado com o Grasshopper. Primeiro o autor realizou a modelagem tridimensional básica da estrutura entre trama e urdume, construindo um sistema de linhas que se movimentam e se entrelaçam em direção transversal.

Em um segundo momento, o autor explora a combinação da trama com base no processo de Jacquard de tecelagem, onde por uma série de regras binárias torna possível a

⁸ Em português: B-Spline Racional Não Uniforme.

realização de padrões e texturas. Essas superfícies tramadas tridimensionais são, então, exploradas em formatos diferentes (Figura 41).

FIGURA 41 - Representação da modelagem algorítmica da tecelagem



Fonte: Adaptado de Khabazi (2010)

■ *Análise*

O projeto explora novas perspectivas para construções arquitetônicas, trazendo em evidência um processo híbrido que combina o conhecimento tradicional de tramas têxteis com métodos de modelagem tridimensional. Com o uso de algoritmos se torna possível pensar na tridimensionalidade da superfície por meio de regras de organização e combinação de linhas e na formação da malha. Isso auxilia na visualização de estruturas com texturas diferenciadas e atribui plasticidade nas formas, de modo que as características da superfície variam não apenas no quesito dos materiais utilizados, como também nos métodos construtivos e processos de fabricação.

b) Tricô

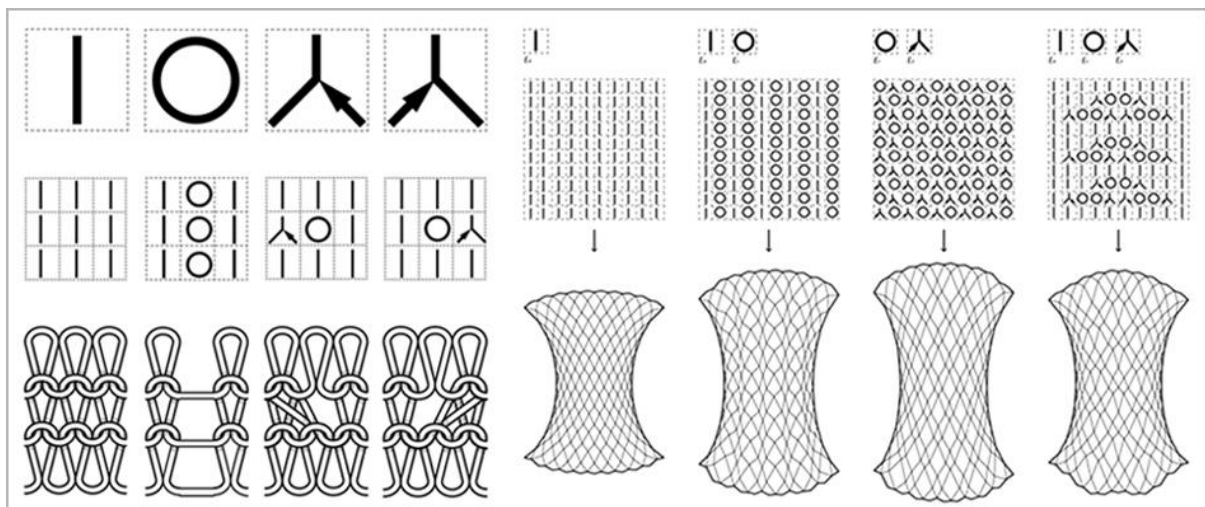
■ *Identificação do caso*

Carrie Lee McKnelly apresentou em 2015 sua pesquisa de mestrado no MIT, onde investigou a comunicação entre o físico e o digital por meio do tricô e de algoritmos. Utilizando conhecimentos referentes ao processo de tricô parcialmente mecanizado, o estudo aplicou os padrões topológicos da trama em modelagem digital através da ferramenta *Kangaroo* do *plug-in* do Grasshopper no Rhinoceros, com a proposta de estabelecer propriedades para a construção de uma superfície-objeto tridimensional.

■ Apresentação do projeto

Com o intuito de melhor entender a influência da topologia de uma estrutura tricotada na conformação de uma estrutura arquitetônica, o processo do tricô foi esmiuçado em padrões e representado por códigos visuais (Figura 42). O código identificado constitui-se de três tipos de pontos construídos: ponto tricô básico (*knit stitch*), representado por um traço; ausência de ponto ou orifício (*hole*), representado por um círculo; e ponto de transferência (*transfer stitch*), representado por um traço inclinado com uma seta indicando a orientação da transferência.

FIGURA 42 - Representação do código do tricô e os respectivos padrões de trama



Fonte: McKnelly (2015)

Esses três elementos compõem os padrões têxteis resultantes das máquinas de tricô, e os códigos obtidos podem ser transformados em informação digital para que, posteriormente, sejam recodificados em uma superfície física tridimensional.

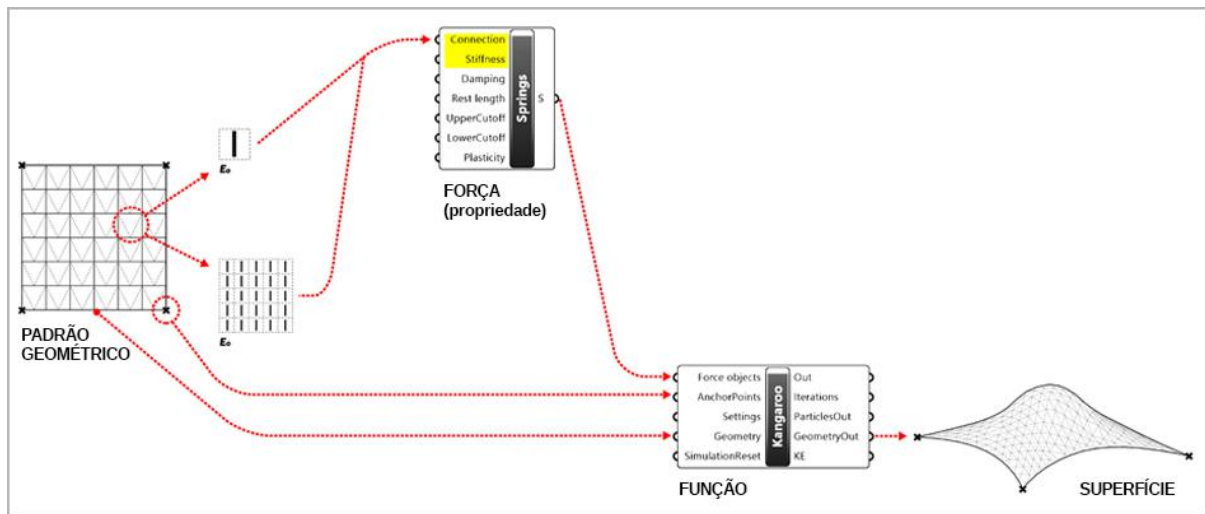
■ Análise

Em uma análise mais aprofundada, a pesquisa investigou as propriedades físicas de rigidez e força apresentadas nos modelos físicos desenvolvidos em tricô, considerando estas como características essenciais na determinação de flexibilidade, densidade e direção da trama estruturada.

Utilizando os números obtidos pela Lei de Hooke de constante elástica, foi gerado um modelo digital tridimensional baseado em um sistema de partículas de mola (*particle-spring system*), onde em uma malha de estrutura triangular foi possível simular o comportamento da superfície conforme o padrão estipulado da trama tricotada.

Isso pode ser mais bem observado na Figura 43 onde, no **padrão geométrico** gerado com os símbolos previamente estipulados é aplicada a **função** Kangaroo do Grasshopper, responsável pela inserção dos parâmetros de constante elástica e **força** identificados nos modelos físicos a fim de manipular e gerar a **superfície** esperada.

FIGURA 43 - Representação da modelagem algorítmica da tecelagem



Fonte: Adaptado de McKnelly (2015)

Para cada célula do padrão digital é designada uma medida de dureza representada no modelo de tricô, permitindo a programação da forma por meio de variação nas forças internas do material. Deste modo, o estudo mostrou a importância de se considerar o conhecimento analógico de processos têxteis como parâmetro no desenvolvimento de novas superfícies, onde o próprio material apresenta estruturas programadas e controladas pelo designer. Trazendo, assim, novas ferramentas na exploração de superfícies com propriedades físicas diferenciadas.

c) Crochê

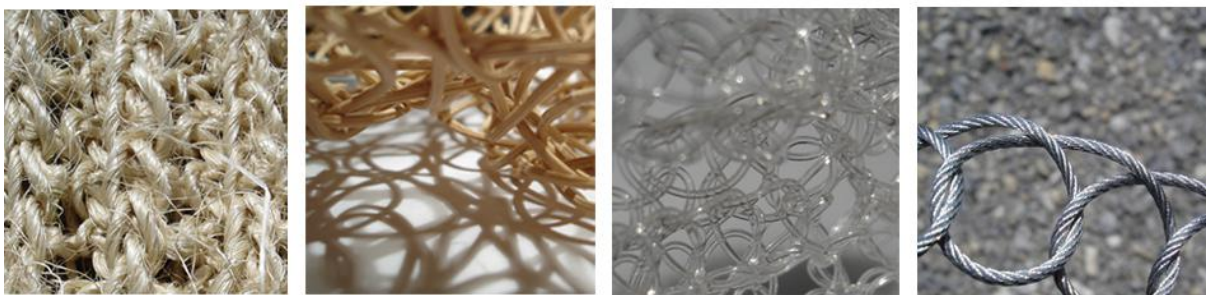
■ Identificação do caso

O último projeto a ser apresentado aqui é de Alexander Worden (2011), previamente referenciado na revisão bibliográfica deste trabalho. Usando como premissa a técnica do crochê para geração da forma e o uso de algoritmos criados no Grasshopper e no Rhinoceros, a pesquisa segue a mesma linha de Khabazi (2010) e McKnelly (2015) ao trazer novos métodos digitais de se inserir o conhecimento de padrões de trama para aplicação na arquitetura.

■ *Apresentação do projeto*

Os extensos estudos de Worden (2011) exploram o desenvolvimento de uma série de superfícies construídas manualmente com a técnica do crochê. Mais do que isso, entretanto, seu trabalho analisa uma gama de materiais diferenciados (Figura 44), com espessuras variadas e processos construtivos que se adaptam às condições da trama, garantindo uma série de diferentes características e propriedades físicas nas superfícies desenvolvidas.

FIGURA 44 - Superfícies tramadas em crochê com materiais variados



Fonte: Adaptado de Worden (2011)

Observando como os “nós” de entrelaçamento do crochê se comportam em situações diferentes, suas aplicações permitiram o entendimento do processo analógico, de modo que o conhecimento pudesse ser digitalizado por meio de algoritmos.

Ao evidenciar o processo de se construir o ponto (*stitch*) de crochê, o projeto elabora estruturas no ambiente de modelagem virtual com o uso de *splines*. Além de considerar também como princípios relevantes o estudo de emergência e topologia.

Após a digitalização das superfícies, foram realizados modelos das estruturas impressas com manufatura rápida em plástico ABS (Figura 45e) para simular a construção que seria feita no fim do projeto em madeira cortada à laser (Figura 45f).

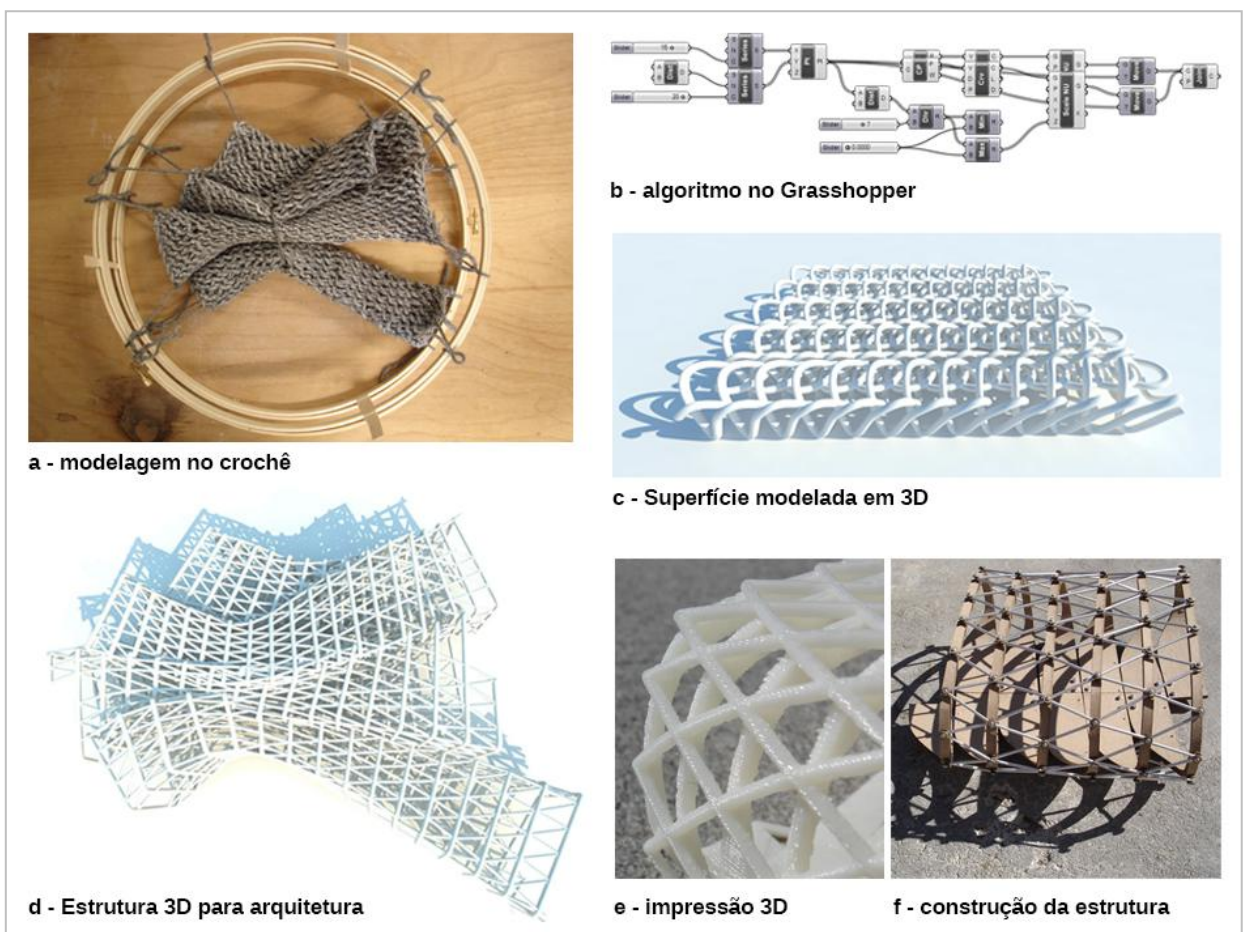
■ *Análise*

Os algoritmos (Figura 45b) desenvolvidos com modelagem tridimensional são exemplos da aplicação de técnicas generativas para padrões tramados de crochê. Um dos principais benefícios de se utilizar métodos de modelagem virtual (Figura 45c e Figura 45d) está na liberdade de se manipular a superfície que foi previamente construída na técnica manual (Figura 45a).

A impressão dos modelos com tecnologia 3D proporcionou uma melhor compreensão da aplicabilidade da proposta. Do mesmo modo, a construção dos protótipos explorou a conversão das superfícies e estruturas virtuais em materiais reais, como o uso de metal e madeira laminada.

Nesse contexto, vale ressaltar que a pesquisa traz muitos pontos positivos ao fazer uma exploração minuciosa no que se refere aos processos de fabricação e às condições necessárias para a produção de futuras estruturas arquitetônicas criadas digitalmente.

FIGURA 45 - Superfícies manipuladas no ambiente analógico e digital



Fonte: Adaptado de Worden (2011)

4.2 EXPERIMENTAÇÕES

Levando em consideração os projetos analisados nos estudos de caso, foram desenvolvidas neste trabalho algumas experimentações, com o propósito de alterar, reproduzir e criar algoritmos por meio de linguagem de programação.

Dentre os *softwares* mencionados na pesquisa, o aplicativo escolhido para a execução dos códigos programados foi o Processing. A escolha ocorreu devido à facilidade de se encontrar tutoriais e cursos online, de modo gratuito, que disponibilizassem as informações necessárias para sua utilização, o que incluiu a orientação para se desenvolver algoritmos generativos e com condições condizentes aos sistemas de complexidade. Além disso, sua classificação de *software* livre tornou possível e acessível o *download* e a instalação do programa no computador.

É interessante destacar que o Processing permite a realização de sistemas visuais que exploram tanto o âmbito bidimensional quanto o tridimensional. Entretanto, para interesse deste trabalho, o foco foi no desenvolvimento de superfícies bidimensionais com padrões de repetição, a fim de estabelecer os parâmetros primordiais para este tipo de projeto digital.

O Processing é uma linguagem baseada em Java, o que significa que o algoritmo é originado de um código escrito em inglês, com regras e expressões que irão determinar a execução de uma tela do programa. A tela de visualização é o que, no caso de um projeto de design de superfícies, pode se referir à uma peça gráfica com elementos de linguagem visual que constituem uma padronagem - que como visto, é composta de padrões de repetição e regras de organização dos módulos por meio de simetrias.

De uma maneira sucinta, pode-se considerar que um código do Processing deve apresentar dois componentes básicos: **Variáveis**, responsáveis pela inclusão de dados por meio de parâmetros; e **Funções**, responsáveis pela execução de comandos. Obviamente, existem muitos outros elementos de programação de um algoritmo que devem ser levados em consideração, mas Variáveis e Funções são as ferramentas mais essenciais para se adentrar ao desenvolvimento do projeto de um algoritmo.

Com ferramentas voltadas para designers e artistas, Reas e Fry (2014, p.11) afirmam que “o Processing foi projetado para facilitar a criação de elementos gráficos, como linhas, elipses e curvas na tela de exibição”. Para a criação de tais formas é preciso utilizar **Funções** previamente determinadas pela sintaxe do *software*, assim como a inserção de parâmetros que especificam as coordenadas e medidas da forma.

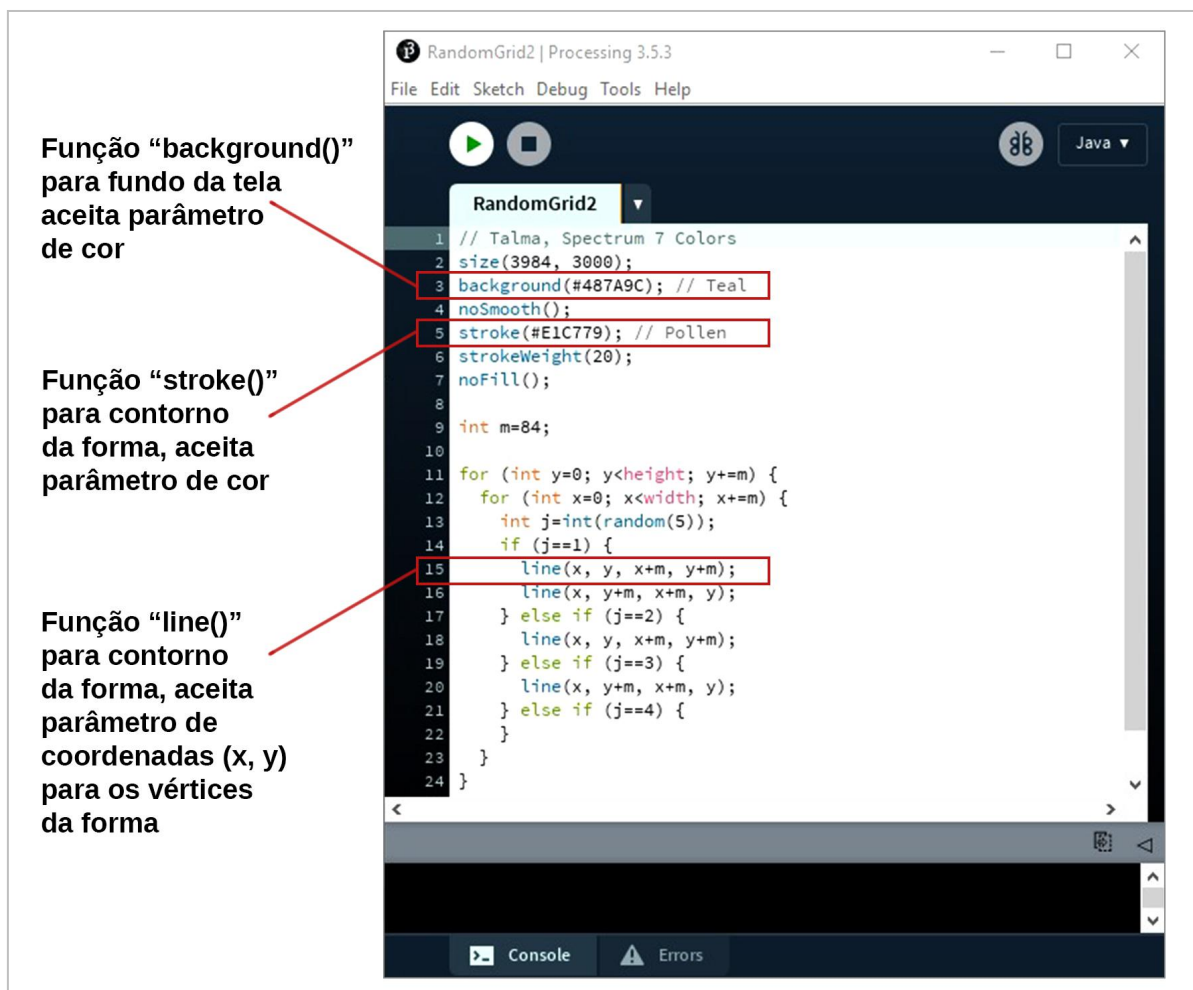
4.2.1 Etapa de alteração

A primeira etapa de realização de experimentação foi a reprodução e alteração de algoritmos existentes. Para isso, a simulação realizada teve como base os códigos fornecidos pela empresa têxtil WOVNS, mencionada nos estudos de caso.

Fazendo experimentações nos códigos, disponíveis gratuitamente no site oficial da empresa, foi possível verificar que uma simples alteração de variável, no caso de parâmetros previstos, ou em alguma ferramenta de função, permitiu a modificação completa do resultado visual exibido na tela.

Conforme a Figura 46, observa-se no código em Java as funções utilizadas para inserir a cor de fundo (*background*), as formas (*line*, *ellipse*, *rect*, etc.), e suas respectivas características estéticas, como preenchimento (*fill*, *noFill*) e contorno (*stroke*, *noStroke*, *strokeWeight*, etc.). As funções destacadas em vermelho foram as selecionadas para alteração de parâmetros.

FIGURA 46 - Algoritmo de padronagem da WOVNS

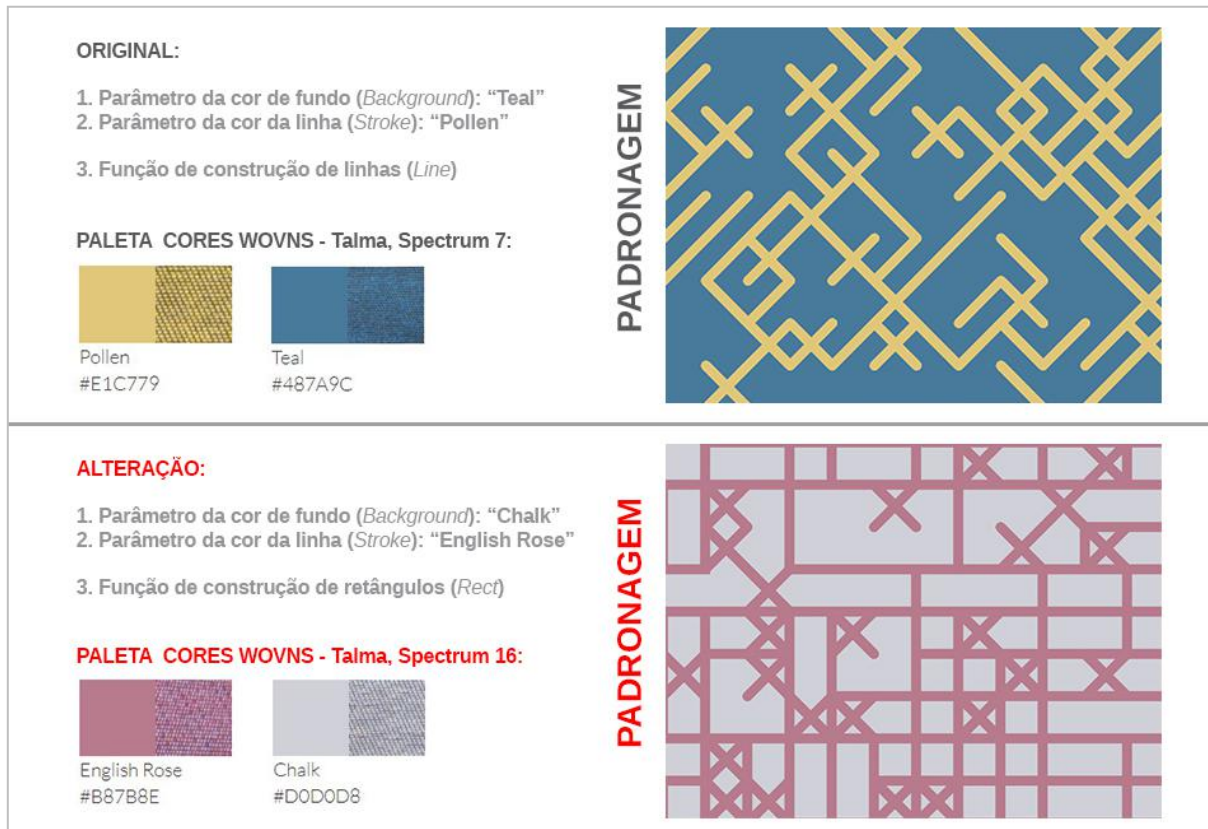


Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

O objetivo desta primeira simulação realizada foi simplesmente observar o funcionamento do algoritmo, de modo que fosse possível realizar algumas alterações. Primeiramente foi alterado o parâmetro referente à cor do fundo, seguindo uma das paletas de

cores disponibilizadas pela WOVNS. Em um segundo momento foi manipulada a função responsável pela construção das formas, que deixou de fazer referência à conformação de linhas e passou à elaboração de retângulos (Figura 47).

FIGURA 47 - Alterações do código de padronagem da WOVNS



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Essa simulação mostrou uma das possibilidades que um algoritmo pode ocasionar quando se mantém a sua estrutura do código e se alteram apenas os dados - parâmetros - inseridos. Os resultados obtidos podem ser infinitos e condizem com as escolhas do designer, dependendo dos objetivos desejados e do nível de conhecimento do profissional. Além dessas alterações realizadas poderiam ocorrer também mudanças com relação a muitos outros aspectos estéticos do padrão, como as propriedades de preenchimento e contorno das formas, por exemplo.

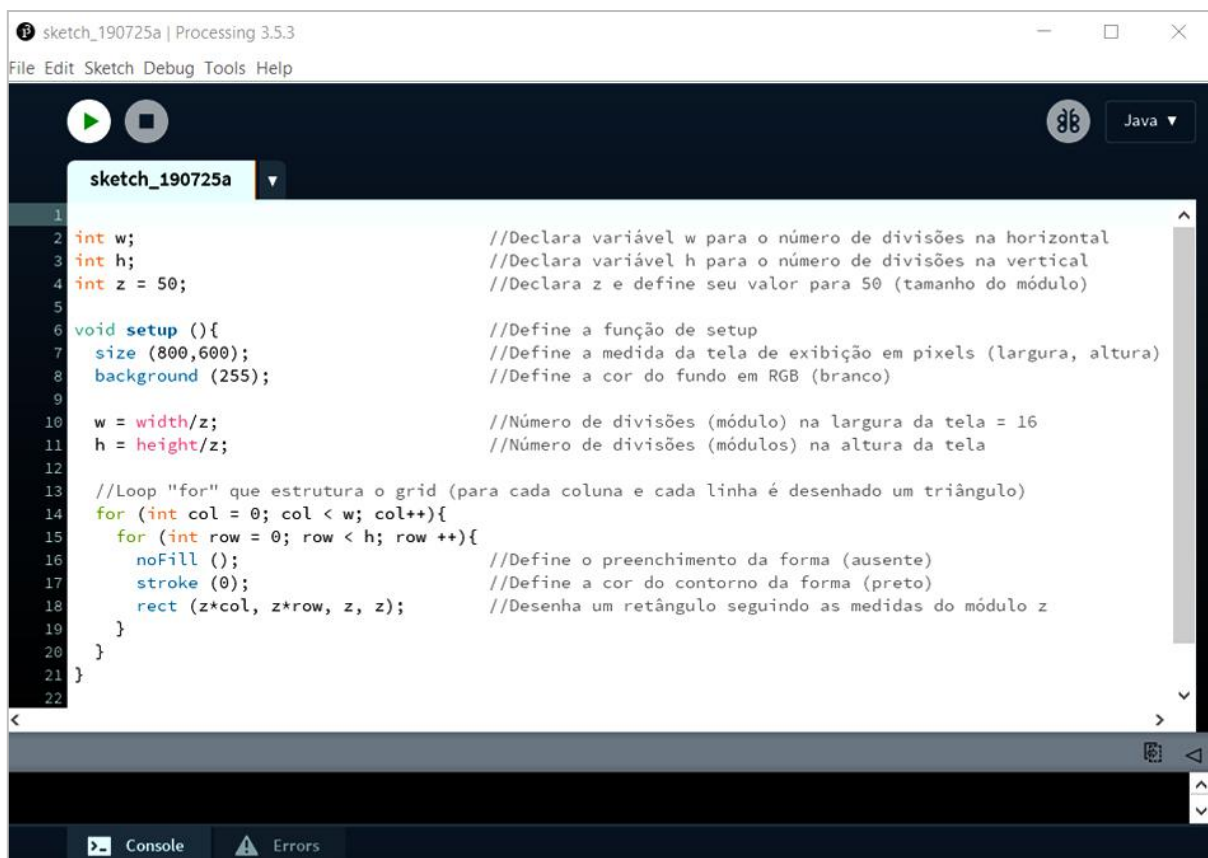
A imprevisibilidade, não-linearidade e capacidade de adaptação das formas por meio da alteração do código de programação consolidam a aplicação de princípios dos sistemas complexos no design de superfícies.

4.2.2 Etapa de reprodução

Ao observar os vários algoritmos de padronagens da WOVNS, foi possível entender melhor a aplicação de funções para manipulação de formas geométricas na tela. Nesse sentido, identificou-se também, em um dos códigos visualizados, o desenvolvimento de uma lógica de programação responsável pela estruturação de uma malha gráfica (*grid*), elemento significativo para a realização de padrões de repetição.

A construção de uma grade quadriculada é a maneira mais simples de se estruturar um padrão, regular ou irregular, onde o módulo irá se repetir. A partir disso, a segunda etapa da experimentação no Processing foi reproduzir um algoritmo responsável pela execução de um grid (Figura 48).

FIGURA 48 - Algoritmo do Processing



```

1
2 int w; //Declara variável w para o número de divisões na horizontal
3 int h; //Declara variável h para o número de divisões na vertical
4 int z = 50; //Declara z e define seu valor para 50 (tamanho do módulo)
5
6 void setup () { //Define a função de setup
7   size (800,600); //Define a medida da tela de exibição em pixels (largura, altura)
8   background (255); //Define a cor do fundo em RGB (branco)
9
10  w = width/z; //Número de divisões (módulo) na largura da tela = 16
11  h = height/z; //Número de divisões (módulos) na altura da tela
12
13  //Loop "for" que estrutura o grid (para cada coluna e cada linha é desenhado um triângulo)
14  for (int col = 0; col < w; col++){
15    for (int row = 0; row < h; row++){
16      noFill (); //Define o preenchimento da forma (ausente)
17      stroke (0); //Define a cor do contorno da forma (preto)
18      rect (z*col, z*row, z, z); //Desenha um retângulo seguindo as medidas do módulo z
19    }
20  }
21 }
22

```

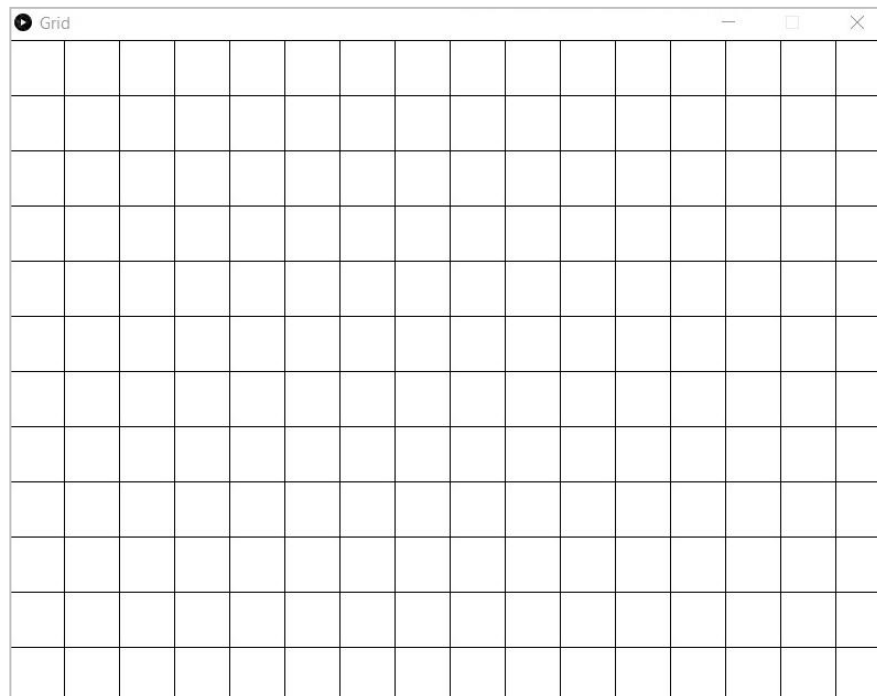
Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Como pode ser observado na Figura 48, os comentários que antecedem o uso de “//” esclarecem linha a linha da sintaxe inserida. A estrutura do código consiste em definir e atribuir valor às variáveis (w, h, z) que representam a quantidade e o tamanho dos módulos

que serão inseridos e repetidos no grid. Em seguida, é definida a condição lógica (*for*) para garantir um *loop* onde para cada coluna (*col*) e linha (*row*) seja inserido um quadrado (*rect*) com os parâmetros previamente definidos nas variáveis.

Desta maneira, o grid (Figura 49) será formado com fundo branco (*background(255)*) e linhas em preto (*stroke(0)*), podendo variar o tamanho de cada módulo de acordo com o valor estipulado pelo designer na variável *z*.

FIGURA 49 - Grid criado com algoritmo do Processing



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Esta etapa de ‘Reprodução’ se diferencia da ‘Alteração’ pois o algoritmo foi reproduzido completamente, tendo como base uma estrutura lógica existente mas sem necessariamente utilizar as mesmas variáveis ou definições de construção de formas.

Devido à complexidade que um algoritmo pode chegar a ter, a prática da reprodução é algo recorrente, que permite ao designer-programador a possibilidade de facilitar o seu trabalho e produzir projetos mais elaborados e diferenciados em menos tempo. Por esse motivo, além de existir uma grande quantidade de códigos abertos e disponibilizados online gratuitamente, existe também uma ampla discussão sobre direitos autorais e sobre até que ponto um designer-programador é detentor de determinado código. Apesar desse assunto não

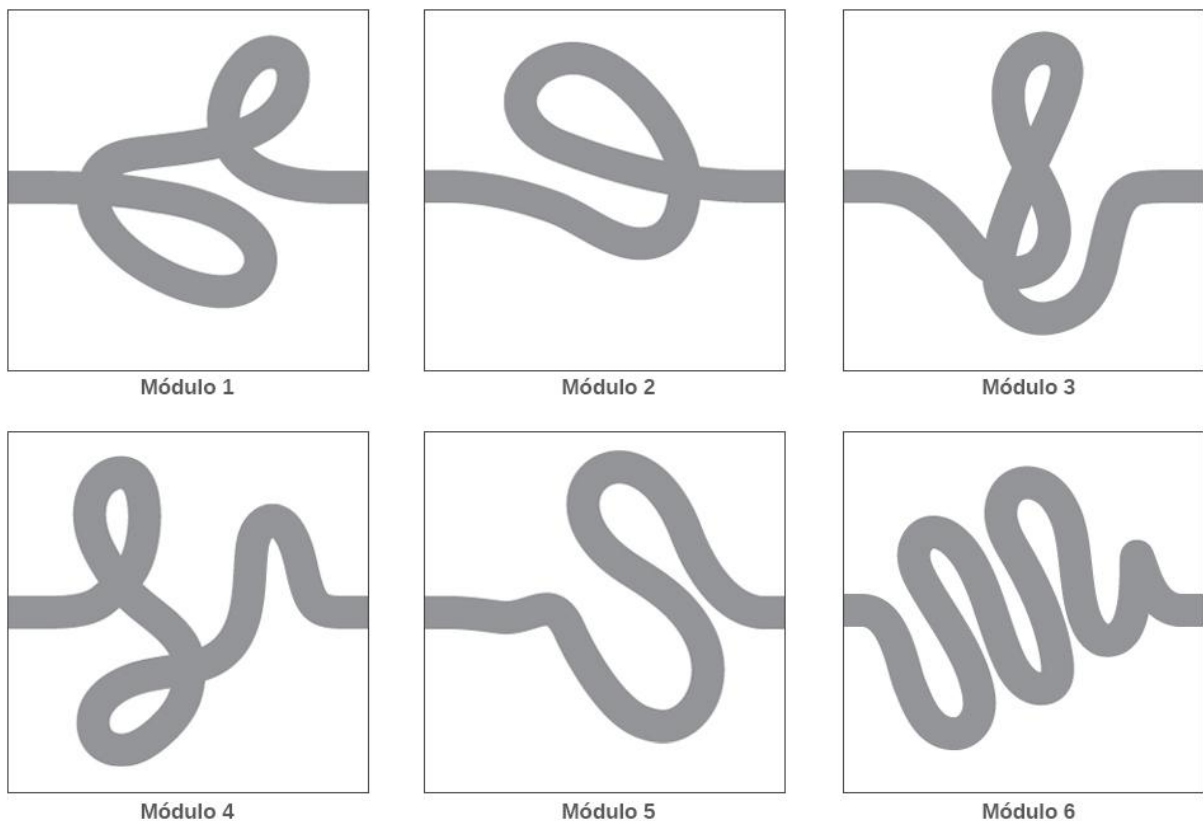
ser explorado neste trabalho, vale a pena deixar claro que esses questionamentos existem dentro da área do design com linguagem de programação.

4.2.3 Etapa de criação

Tentando ir além da simples substituição de parâmetros e formas geométricas ocorrida na ‘Alteração’ e explorar mais as possibilidades oferecidas pelo código desenvolvido na ‘Reprodução’, surgiu a proposta da ‘Criação’ de um algoritmo de padronagem que, ao invés de funções de formas geométricas, fosse além e utilizasse como parâmetro o uso de imagens, previamente desenvolvidas, como elemento modular.

Assim, considerando questões relativas à constituição de rapport, onde para a realização do padrão o módulo deve apresentar característica de encaixe em suas laterais, foram desenvolvidos 6 tipos de módulos diferentes, todos permitindo um padrão contínuo independente da combinação. Fazendo referência às linhas contorcidas apresentadas nos têxteis, os módulos foram criados em vetor no *software* Adobe Illustrator (Figura 49).

FIGURA 50 - 6 tipos de módulos de repetição



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Inicialmente as imagens foram desenvolvidas em tons de cinza com fundo branco, e todos os módulos se encaixam entre si no sentido horizontal (Figura 51).

FIGURA 51 - Módulos se encaixam na lateral horizontal



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Seguindo então o código do grid criado e realizando as adaptações necessárias para a inserção de imagens no algoritmo, foi desenvolvida uma função responsável por inserir os 6 módulos diferentes de maneira aleatória. A regra de repetição utilizada foi o *Random*, função que dentro de uma margem escolhida randomiza qual valor ou objeto será apresentado na tela. A aleatoriedade aqui se apresenta como propriedade muito significativa para a construção de padrões variados e complexos.

FIGURA 52 - Algoritmo de padronagem aleatória no Processing

```

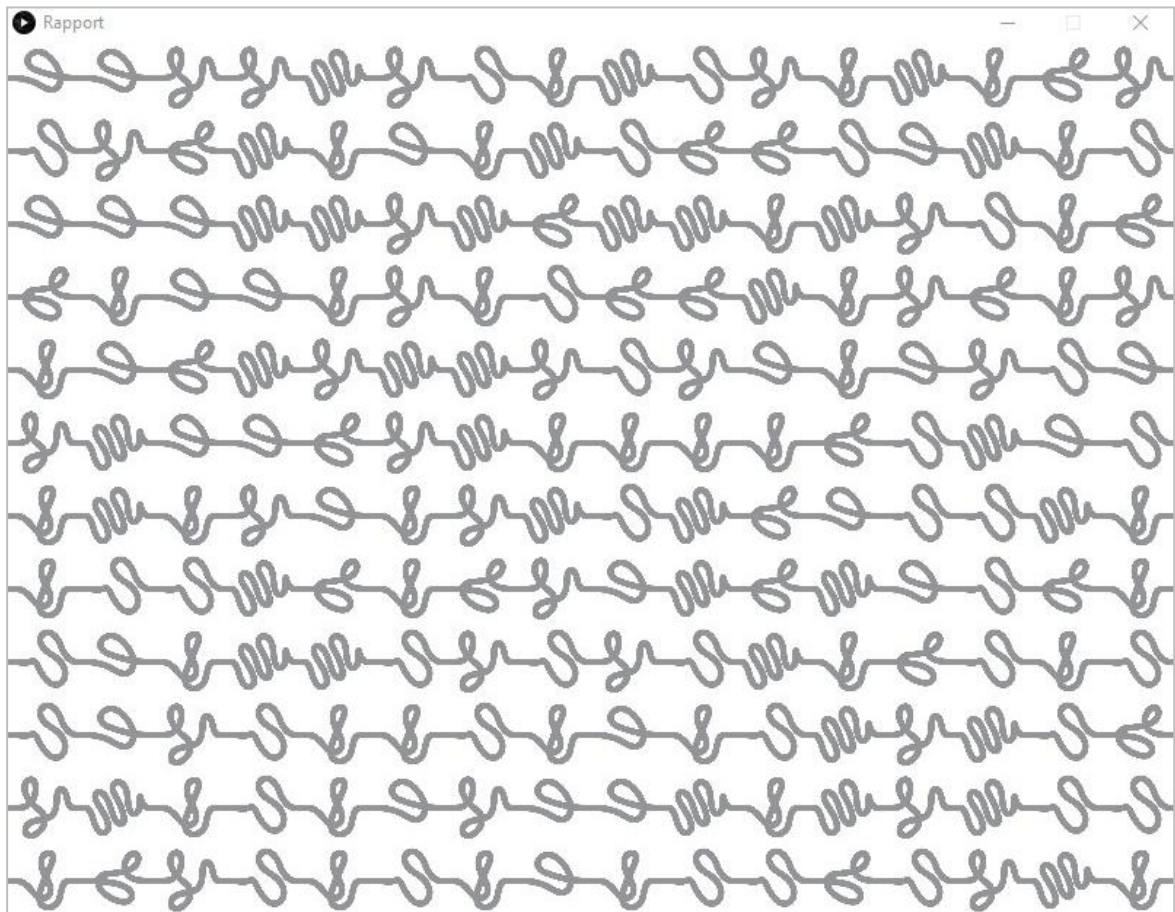
1 //CÓDIGO //DESCRIÇÃO DO CÓDIGO
2
3
4 int maxImages = 6; //Declara variável 'maxImages' para o número máximo de imagens inseridas
5 int w; //Declara variável w para o número de divisões na horizontal
6 int h; //Declara variável h para o número de divisões na vertical
7 int z = 50; //Declara z e define seu valor para 50 (tamanho do módulo)
8
9 PImage [] modulo = new PImage [maxImages]; //Declara a variável array 'modulo' para inserção de imagens
10
11 void setup () { //Define a função de setup
12   size (800,600); //Define a medida da tela de exibição em pixels (largura, altura)
13   background (255); //Define a cor do fundo em RGB (branco)
14 }
15
16 for (int i = 0; i < modulo.length; i++){ //Loop "for" que adiciona todas as imagens na variável 'modulo'
17   modulo[i] = loadImage ("modulo"+i+".jpg");
18 }
19
20 w = width/z; //Número de divisões (módulos) na largura da tela
21 h = height/z; //Número de divisões (módulos) na altura da tela
22
23
24 for (int col = 0; col < w; col++){ //Loop "for" que estrutura o grid (para cada coluna e cada linha é inserido um módulo)
25   for (int row = 0; row < h; row++){
26     int index = int (random (5)); //Define que o módulo escolhido seja randômico
27     noFill (); //Define o preenchimento da forma (ausente)
28     stroke (0); //Define a cor do contorno da forma (preto)
29     image (modulo[index], z*col, z*row, z, z); //Exibe uma a uma as imagens na tela na posição do grid
30   }
31 }
32 }
33

```

Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Cada vez que o algoritmo reinicia, um novo padrão é gerado (Figura 52), nunca se repetindo uma padronagem anterior. A sequência dos módulos é completamente aleatória e imprevisível, constituindo em uma superfície bidimensional com propriedades de complexidade.

FIGURA 53 - Padronagem gerada pelo Processing



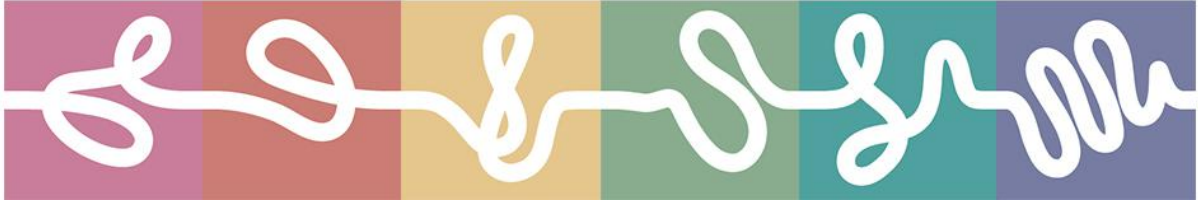
Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

Ao realizar essa experimentação, observou-se que entre um padrão e outro dificilmente é possível verificar que houve muita alteração na composição dos módulos. Isso ocorre por alguns motivos, como por exemplo o fato dos módulos serem muito parecidos, estando todos na mesma cor e com desenhos similares. Para resolver essa questão, podem ser realizadas alterações na cor, na quantidade de módulos, desenhos de linhas mais diferenciados entre si, entre outras soluções.

Explorando algumas dessas possibilidades, o desenho de linhas que se enroscam de maneira orgânica foi mantido e foram realizadas alteração nas propriedades de cor. No caso

das linhas, a cor do contorno deixou de ser cinza e passou a ser branco; enquanto que as cores do fundo variaram em 6 tons diferentes (Figura 54).

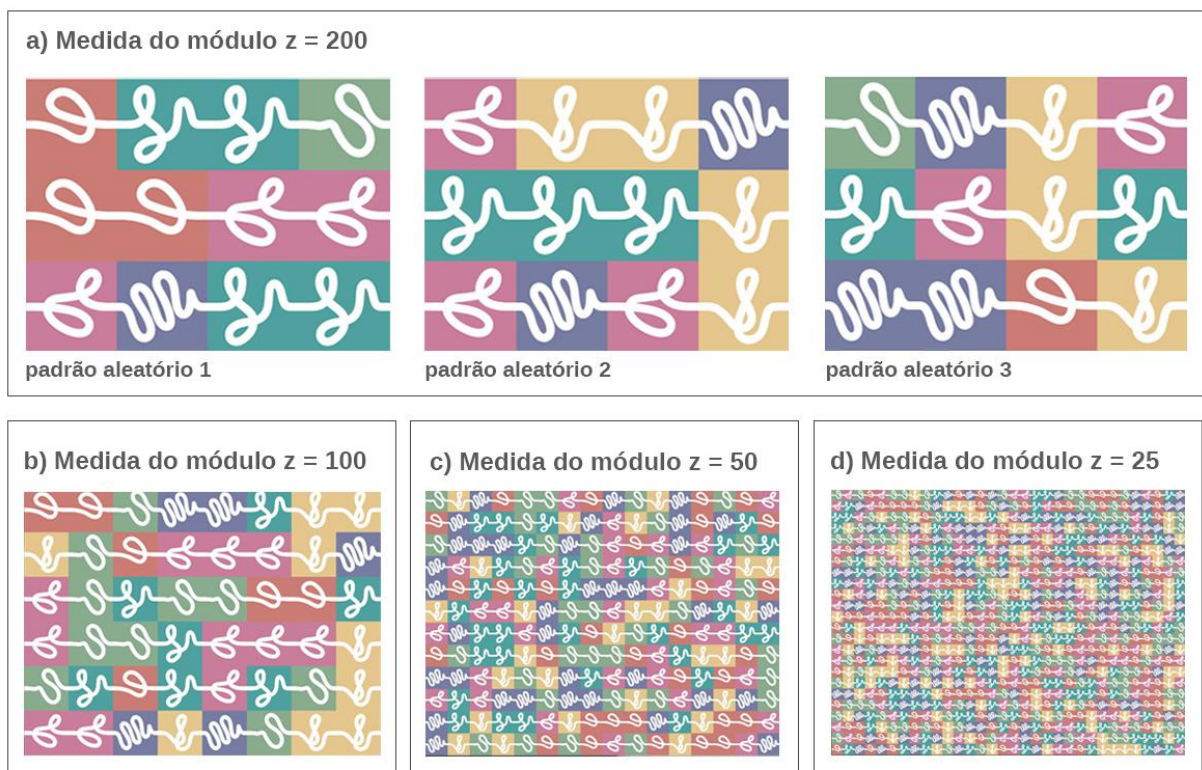
FIGURA 54 - Módulos coloridos



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

A partir destes módulos, foram gerados novos padrões utilizando o mesmo algoritmo do Processing realizado anteriormente. Na Figura 55a é possível visualizar a aleatoriedade com que os módulos são combinados, tornando a padronagem complexa e imprevisível. Também se manipulou a variável z , responsável por determinar o tamanho dos módulos, de modo que observa-se nas Figuras 55b, 55c e 55d o efeito visual apresentado pela padronagem conforme o número de repetições dos módulos.

FIGURA 55 - Padronagens aleatórias com quantidade de repetição diferentes



Fonte: Elaborado por Mariana Laranjeira

O processo criativo para a realização das duas versões dos módulos de linhas apresentados, tanto na versão em tons de cinza quanto na versão colorida, teve como propósito uma abstração visual da trama têxtil.

É significativo mencionar que a randomização, principal característica de complexidade inserida no algoritmo desenvolvido, se apresentou principalmente na inserção e no posicionamento dos módulos. Entretanto, ela poderia ser uma propriedade facilmente aplicada em outros parâmetros do algoritmo como na cor e no tamanho, por exemplo. Trazendo assim, uma ampla gama de possibilidades visuais para os padrões gerados.

Fazendo uma análise final sobre o processo de experimentação realizado neste trabalho, é significativo considerar as duas fases que envolvem um projeto de design de superfícies com programação. Em primeiro lugar, deve-se considerar o processo criativo, no qual o designer precisa entender sobre os métodos de construção de padrões e estruturas de repetição, relativos aos conhecimentos de superfícies, sejam estas do tipo envoltório ou objeto. Nesse sentido, foi valorizado o desenvolvimento dos módulos e os respectivos encaixes, assim como a preocupação com a continuidade da repetição, e com questões estéticas e de composição visual.

Em um segundo momento, deve-se dar atenção ao processo de construção do algoritmo. A simplicidade do objetivo esperado não necessariamente irá condizer com a simplicidade do código. Para isso, é preciso considerar a sintaxe e lógica de programação envolvidas.

Essas duas questões são essenciais para que qualquer programa desenvolvido com linguagem de programação possa ser executado. A sintaxe faz referência ao uso correto de expressões e funções determinadas pelo software utilizado, o que neste caso foi o Processing. Se alguma palavra ou mesmo algum caractere estiver mal colocado, o algoritmo apresentará uma mensagem de erro e não funcionará, ou executará com deficiência. Deste modo, para que não ocorram problemas de sintaxe, é importante que o designer adquira os conhecimentos necessários para escrever o código, o que em outras palavras significa aprender a falar o idioma do *software* utilizado.

Por outro lado, ainda que o código esteja com uma sintaxe correta, se ele não apresentar uma lógica de execução, não haverá resultado nenhum.

Entender a importância dessas questões e saber alinhar com as metodologias de design específicas é o mais importante passo para o desenvolvimento do design de superfícies digitais e complexas.

5 CONCLUSÃO

Acompanhando a mudança de paradigma que vem ocorrendo em muitos campos da ciência, este trabalho teve como propósito a consideração e o entendimento do conceito de complexidade e sua influência dentro das pesquisas na área do design.

Os estudos sobre a complexidade, e o que acredita-se ser coerente com uma possível teoria da complexidade, são relativamente extensos e se enredam por todas as áreas de conhecimento. Com isso, é importante ressaltar que o objetivo não foi buscar todas as visões relativas ao assunto, mesmo porque isso seria inviável, mas que foi sim do interesse deste trabalho encontrar as principais referências e conceitos que se encaixassem especificamente com as pesquisas do campo do design de superfícies.

Como visto, a complexidade é uma condição muito abrangente e pode ser tratada e inserida no contexto do design de formas distintas. Ela pode ser entendida enquanto uma maneira de se organizar o pensamento, no sentido de se entender o design como uma ferramenta transdisciplinar e holística. Desta forma, ela se insere no contexto das etapas metodológicas de um projeto com a inclusão de disciplinas variadas que podem ir desde o trabalho manual artesanal e as técnicas têxteis, a matemática, a ciência da computação, a biomimética e até as próprias especialidades do design, como o design generativo e o design de superfícies.

Entretanto, observou-se que as teorias da complexidade podem também se apresentar como um modo de se definir métodos de criação e produção, se tornando uma ferramenta para a organização de sistemas visuais e formais. Por essa vertente, ela foi tratada nessa pesquisa como um conceito fundamental para a estruturação de sistemas de formas geométricas e a composição de padrões visuais com aplicações em superfícies reais ou virtuais mais complexas.

De maneira mais específica, o objetivo principal foi entender os princípios básicos para se criar um algoritmo com programação de dados que tivesse enfoque no desenvolvimento de padrões de repetição e, assim, visualizar o modo mais simples de se programar o código e estabelecer precedente para algoritmos cada vez mais complexos.

Neste contexto, as técnicas de construção de trama, como os processos de tecelagem, tricô e crochê, são exemplos típicos de como a aplicação da matemática associada com o trabalho manual permite o manuseio e a objetificação de problemas e cálculos. Estas técnicas artesanais identificadas comportam um número vasto de aplicações interessantes, mostrando

a conveniência de se revelar a estrutura geométrica subjacente e de se conduzir questões através de uma perspectiva lógica. Ao estabelecer uma conexão entre as superfícies têxteis com a programação de algoritmos e o desenvolvimento de formas por meio de softwares digitais, foi possível estabelecer a importância do uso de novas tecnologias no processo de superfícies com mais complexidade.

A principal justificativa desse tipo de pesquisa, na qual as tramas têxteis são inseridas no ambiente digital e transformadas em padrões complexos por meio de ferramentas de programação, está em entender novas maneiras de se construir superfícies, explorando texturas e formas dentro do atual contexto tecnológico. Novas metodologias híbridas de projeto trazem novas oportunidades, não apenas para que designers-artesãos explorem mais o conhecimento tradicional da realização do trabalho manual, mas também para que designers-programadores possam aplicar as muitas funcionalidades e propriedades em projetos digitais e inovadores. O profissional do futuro pode se revigorar com as possibilidades expressivas que um conhecimento híbrido, entre digital/virtual e físico/análogo tem a oferecer.

Fazendo uma revisão das gramáticas da forma, o desenvolvimento de padrões de repetição e as simetrias, foi significativo destacar a importância do envolvimento de uma metodologia específica ao design de superfícies para a realização de padrões de repetição e, por consequência, na compreensão por parte do designer dos processos envolvidos.

Em acordo com esses conhecimentos investigados, o profissional de design que se interesse em explorar as propriedades organizacionais e evolutivas dos sistemas complexos, deve buscar complementar sua formação para realizar uma alfabetização digital com relação às novas linguagens de programação e aplicativos voltados ao design, como é o caso do Processing e do Grasshopper.

É importante considerar que o aspecto colaborativo do Processing, por exemplo, abre uma porta de possibilidades para os designers e artistas-programadores que estão iniciando nesse meio de linguagens de programação, e conseqüentemente, auxilia no condicionamento destes profissionais permitindo, muitas vezes, que o foco da criação seja mais no lado criativo e estético do projeto do que no lado lógico e matemático envolvido.

O foco no uso das novas tecnologias deve estar em encontrar os benefícios que estas apresentam quando comparadas com técnicas tradicionais. Alguns destes benefícios podem ser referentes à melhora do processo de projeto e, conseqüentemente, no trabalho do designer. As possibilidades criativas e diferenciadas que as linguagens de programação proporcionam para o design podem influenciar significativamente nas etapas de criação e execução da composição visual. A otimização e variedade dos resultados, obtidos por meio de algoritmos

computacionais, também devem ser levadas em conta. Além disso, o projetista pode se beneficiar de uma possível diminuição da carga de trabalho e a possibilidade de uma grande quantidade de imagens esteticamente diferenciadas geradas por um único algoritmo.

Levando em consideração os estudos de caso realizados, a pesquisa proporcionou o entendimento de uma evolução funcional e estética em códigos abertos que podem ser alterados e transformados de modo que uma mesma função de criação de padrão pode variar de acordo com os propósitos e as aplicações da superfície. Foi possível identificar que os projetos de superfícies variam entre bidimensionais e tridimensionais, e que apesar dos exemplos escolhidos mostrarem aplicações variadas, a essência do desenvolvimento de todos faz referência direta com o hibridismo entre design (de superfícies), conhecimento analógico têxtil, comportamento de complexidade e uso de tecnologia digital. Confirmando os parâmetros estabelecidos no início deste trabalho.

Sobre as experimentações, foram absorvidos os fundamentos básicos, observados ao longo da pesquisa, para a realização de superfícies complexas simuladas em ambiente digital, como as propriedades que um sistema de complexidade deve apresentar, as metodologias de design envolvidas no processo do projeto de superfícies com padronagens, e o uso das ferramentas de programação e codificação de algoritmos por meio do software digital.

Pesquisas futuras podem aproximar ainda mais as relações entre a superfície física com as tecnologias computacionais, por meio do desenvolvimento de formas e estruturas que sejam influenciadas pela programação de dados e suas características. Nesse sentido, em uma proposta além, novas investigações podem trazer a possibilidade de se associar ao design de superfícies complexas com outras tecnologias como o uso de sensores e plataformas eletrônicas, como o Arduino. Também podem-se considerar evoluções que ocorram nas superfícies digitais e interativas, onde o uso de algoritmos generativos e evolutivos pode se apresentar de modo muito inovador quando se levantam, por exemplo, questões como a interação com o usuário ou a entrada de dados aleatórios, sustentados pelos princípios de emergência da forma e organização adaptativa dos elementos do sistema visual.

Em suma, pode-se afirmar que a pesquisa atendeu as demandas da hipótese proposta no início do projeto, e mostrou que a assimilação dos conceitos referentes à complexidade e o consequente uso de tecnologia digitais de programação de algoritmos, podem contribuir significativamente para o desenvolvimento do design de superfícies cada vez mais eficientes e inovadoras.

6 REFERÊNCIAS

AGKATHIDIS, A. **Generative design: Form-finding techniques in architecture**. London: Laurence King Publishing Ltd, 2015.

ALEXENBERG, M. L. **The Future of Art in a Postdigital Age: From Hellenistic to ebraic Consciousness**. Chicago: Intellect Books, 2011.

ALEXIOU, K.; JOHNSON, J.; ZAMENOPOULOS, T. Embracing complexity in design: Emerging perspectives and opportunities. In: INNS, T. (ed.). **Designing for the 21st century: Interdisciplinary methods and findings**. Vol. II, New York: Gower Publishing, 2010.

ALLGAYER, R. **Formas Naturais e Estruturação de superfícies mínimas em arquitetura**. 2009. 167 f. Dissertação (Mestrado em Design e Tecnologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

ARCHITIZER, A. **Product Winners: Finishes-Fabric & Textiles**. 2017. Disponível em: <<https://awards.architizer.com/winners-gallery/?event=1000&type=52>> Acesso em março de 2019.

ARIDA, S. **Contextualizing Generative Design**. 2004. 110f. Dissertação (Master of Science in Architecture Studies) – Massachusetts Institute of Technology, Boston, 2004.

ASHBY, W. R. **Uma Introdução à Cibernética**. São Paulo: Editora Perspecctiva S.A, 1970.

AUTHER, E. **Andean weaving and the appropriation of the ancient past in modern fiber art**. Disponível em: <<http://www.bauhaus-imaginista.org/articles/824/andean-weaving-and-the-appropriation-of-the-ancient-past-in-modern-fiber-art?0bbf55ceffc3073699d40c945ada9faf=3gtfpl736vfb6cbrc8gjf2sf4>> Acesso em: jan. 2019.

BAURMANN, G.; TAIMINA, D. Crocheting Algorithms. In: **The Cornell Journal of Architecture**. p.100-107, 2011.

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

BELCASTRO, S. M.; YACKEL, C. **About Knitting...** In: Math Horizons, v. 14, n. 2, p. 24–27, Mathematical Association of America, 2017. Disponível em <<http://www.jstor.org/stable/25678655>>. Acesso em 04 de Março de 2017.

BOZOLAN, S. M. **O pensamento computacional: ensino e aprendizagem através do software Processing**. 2016. 145f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC, São Paulo, 2016.

BONIME, W. **How WOVNS is revolutionizing the interior design textile market.** 2017. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/westernbonime/2017/09/09/how-wovns-is-revolutionizing-the-interior-design-textile-market/?fbclid=IwAR3j1xf-p1Hy4qotcLYJ-xIPcrszjVZPNcOPpGPF4kGyLt0Wo0OY6QpLG_0#62776c38247f> Acesso em março de 2019.

BRANCH TECHNOLOGY. **Cellular Fabrication 3D:** Printing platform. Disponível em: <<https://www.branch.technology/>> Acesso em: jan. 2019.

BREANN. **Color Kaleidoscope Crochet Blanket Pattern.** 2018. Disponível em: <<https://www.hookedonhomemadehappiness.com/color-kaleidoscope-crochet-blanket-pattern/>> Acesso em: março de 2019.

BRIGGS-GOODE, A.; TOWNSEND, K. **Textile Design:** Principles, Advances, and Applications. Oxford: Woodhead Publishing, 2011.

BUENO, E. **Grasshopper.** In: GASPAR, J. (ed.) 101 Conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. São Paulo: Probooks, 2016.

CHAM, K. The art of complex systems science. In: ALEXIOU, K.; JOHNSON, J.; ZAMENOPOULOS, T. (Ed.). **Embracing complexity in design.** New York: Routledge - Taylor & Francis Group. cap. 7, p. 121-142, 2010.

CHAPMAN, G. **Chaos and Complexity.** In: KITCHIN, R.; THRIFT, N. (ed.). International Encyclopedia of Human Geography, v.2, Amsterdam: Elsevier, p. 31–39, 2009.

CHATTERJEE, A. **John Ruskin and the fabric of architecture.** New York: Routledge, 2018.

CHRISTIE, A. H. **Pattern Design:** An introduction to the study of formal ornament. Courier Corporation: New York, 2013.

COMPLEXITY LABS. **Complexity Theory Course.** 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vp8v2Udd_PM&index=2&list=PLsJWgOB5mIMDRt8-DBLLVfh-XeKs2YAcg> Acesso em: Agosto de 2018.

COMPLICADO. Michaelis - Dicionário online brasileiro de língua portuguesa. 2019. Disponível em <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/complicado/>> Acesso em março de 2019.

EADIE, L.; GHOSH, T. K. Biomimicry in textiles: past, present and potential. An overview. **Journal of The Royal Society Interface** 2011, v. 8, p. 761-775, 2011.

FABRICATE, Studios. **Crochet 101:** Beginner. Disponível em: <<https://www.fabricatestudios.com/product/crochet-101-beginner/>> Acesso em: março de 2019.

FIELD, M.; GOLUBITSKY, M. **Symmetry in chaos: a search for pattern in mathematics, art, and nature.** 2nd ed. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2009.

FILHO, L. B. O. **Complexidade em processos corporativos: Caos, auto-organização, emergência e vieses sistêmicos.** 2008. 145f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - Instituto Superior de Ciências do trabalho e da Empresa - ISCTE, Lisboa, 2008.

GALANTER, P. **The problem with evolutionary art is...**In: Evo Applications 2010, Part II, LNCS 6025. Berlin: Springer-Verlag Heidelberg, p. 321-330, 2010.

_____. **What is generative art?** Complexity theory as a context for art theory. In: GA2003 - 6th Generative Art conference, Milan, Italy. 2003.

GARCIA, M. **Architecture + Textiles = Architextiles.** In: AD Architectural Design Magazine, vol.76, issue 6, december 2006. Disponível em<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ad.345>> Acesso em: março de 2019.

GARCÍA, A.P.; MARTÍNEZ, F. G. **Natural structures: strategies for geometric and morphological optimization.** In: International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Valencia, 2009, p. 893-906.

GESLER, N. **Jacquard mechanism and cards - image from Berlin Technological Museum.** 2002. Disponível em: <<http://people.duke.edu/~ng46/topics/jacquard.htm>> Acesso em: março de 2019.

GIPS, J. **Shape grammars and their uses: Artificial perception, shape generation and computer aesthetics.** Interdisciplinary Systems Research 10, Springer Basel AG, 1975.

GRANDJEAN, M. **L'archive mise en réseau: La visualisation de données en sciences humaines est un moyen, pas une fin!** 2013. Disponível em:<<http://www.martingrandjean.ch/archive-reseau-visualisation-donnees-sciences-humaines/>> Acesso em: jan. 2019.

HAECKEL, E. **Kunstformen der natur.** Vienna: Verlag des Bibliographischen Instituts, 1904.

HANN, M. **Symbol, pattern and symmetry: The cultural significance of structure.** London: Bloomsbury Academic Publishing, 2013.

HEYLIGHEN, F. **Building a Science of Complexity.** In: 1988 Annual Conference of the Cybernetics Society - Cybernetics Society, King's College, London. 1988. Disponível em: <<http://pcp.vub.ac.be/Papers/BuildingComplexity.pdf>>.

HEYLIGHEN, F.; CILLIERS, P.; GERSHENSON, C. **Complexity and Philosophy.** In: Complexity, Science and Society. Oxford: Radcliffe Publishing, 2007.

HUNT, B. **The threee-body problem.** dez. 2017. Disponível em: <www.epsilontheory.com/three-body-problem> Acesso em: jan. 2019.

INNS, T. (ed.). **Designing for the 21st century: Interdisciplinary methods and findings.** Vol. II, New York: Gower Publishing, 2010.

JOHNSON, N. F. **Simply complexity: A clear guide to complexity theory.** Oxford: Oneworld Publications, 2011.

KANDINSKY, W. **Circles in a circle.** 1923. 1 original de arte, óleo sobre tela, 98.7cm x 5.6 cm. Disponível em: <<https://www.wassilykandinsky.net/work-247.php>> Acesso em: jan. 2019.

KHABAZI, Z. M. **Generative algorithms concepts and experiments: Weaving.** E-book. Disponível em: <www.morphogenesisism.com>, USA, 2010.

_____. **Generative algorithms: using Grasshopper.** E-book. Disponível em: <www.morphogenesisism.com>, USA, 2012.

KISD, Köln International School of Design. **3D-Printing-Design Award: KISD Project “sonogrid“ Among Top 5.** 2016. Disponível em: <<https://kisd.de/en/projects/3d-printing-design-award-kisd-project-sonogrid-among-top-5/>> Acesso em: março de 2019.

KLEE, P. **Highway and byways.** 1929. 1 original de arte. Óleo sobre tela. Disponível em: <<https://www.wikiart.org/en/paul-kllee/highway-and-byways-1929>> Acesso em: jan. 2019.

KNIGHT, T. W. **Designing a shape grammar: problems of predictability.** In: GERO, J. S.; SUDWEEKS, F. (eds.). *Artificial Intelligence in design '98*, cap. 9, p. 499-516. Springer Science, 1998.

KOCH, Kerstin; BHUSHAN, Bharat; BARTHLOTT, Wilhelm. Multifunctional surface structures of plants: An inspiration for biomimetics. **Journal Progress in Materials Science**, v. 54, p. 137–178, 2009.

KONDO, S.; MIURA, T. Reaction-Diffusion Model as a Framework for Understanding Biological Pattern Formation. **Science**, American Association for the Advancement of Science, vol. 329, 2010, p. 1616-1620.

KOVACS, B. **Tactile knit.** Disponível em: <<https://cargocollective.com/borikov/tactile-knit>> Acesso em: jan. 2019.

LANDAHL, K. **On form thinking in knitwear design.** 2013. 61f. Tese (Studies in Artistic Research) - University of Borås, Sweden, 2013.

LANG, R. **Twists, tilings, and tessellations: Mathematical methods for geometric origami.** Boca Raton: CRC Press, 2018

LEAPMAN, M. **The knit stitch pattern handbook**: an essential collection of 300 designer stitches and techniques. New York: Potter Craft, 2013.

LEPPÄNEN, T. et al. Turing systems as models of complex pattern formation. **Brazilian Journal of Physics**, vol. 34, n. 2A, June, 2004.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência**: o futuro do pensamento na era da informática. São Paulo: Editora 34, 1998.

LOBACH, B. **Design Industrial**: Base para configuração dos produtos industriais. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 2001.

LORENZ, E. N. **The essence of chaos**. Washington: UCL, University Press, 1993.

LOUVRE. **Panneaux et frises de revêtement**: Second moitié du XVIIe siècle. Disponível em: <http://cartelen.louvre.fr/cartelen/visite?srv=car_not_frame&idNotice=22717> Acesso em: jan. 2019.

LUPTON, E.; PHILIPS, J. C. **Novos fundamentos do design**. São Paulo: Cosac Naify, 2008.

MACCABE, G. S. **Sending your secrets safely with chaos**. set. 2013. Disponível em: <<https://logicallytightrope.wordpress.com/2013/09/01/sending-your-secrets-safely-with-chaos/>> Acesso em: jan. 2019.

MACNAB, M. **Design by Nature** – Using universal forms and principles in design. New Riders: Canada, 2012.

MAKOVICKY, E. **Symmetry**: Through the eyes of old masters. Denmark: De Gruyter, 2016.

MALIK, A. K. **Mass Customization!** An approach through Generative Design. In: 19h Generative Art Conference Proceedings, Milan, 2016.

MCCORMACK, J.; DORIN, A.; INNOCENT, T. **Generative design**: a paradigm for design research. In: Redmond, J. et. al. (eds) Proceedings of Futureground, Design Research Society, Melbourne, 2004.

MCLEAN, A.; HARLIZIUS-KLÜCK, E.; JEFFERIES, J. Introduction: Weaving Codes, Coding Weaves. In: **TEXTILE - Cloth & Culture**, 15:2, p. 118-123, 2017.

MCKNELLY, C. L. **Knitting Behavior**: A material-centric design process. 2015. 57f. Dissertação (Master of Science in Architecture Studies) - MIT Massachusetts Institute of Technology, 2015.

MELLO, P. O. B. **Arte e programação na linguagem Processing**. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC, São Paulo.

MENEGUCCI, F. **Design de Superfícies Têxteis: diretrizes de ensino-aprendizagem para a formação em design de moda por meio da abordagem experiencial**. Bauru, 2018. Tese (Doutorado em Design) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018.

MENNEL, K. L. **Knit Architecture: Low Tech Fabrication Techniques in Modern Design**. 2012. 78f. Monografia (Bachelor of Science in Architecture) - MIT Massachusetts Institute of Technology, 2012.

MINUZZI, R. F. B. Interação entre Arte e Design na formação em Design de Superfície. **Actas de Diseño**, Buenos Aires, v. 13, p. 79-84, 2012. Disponível em: <http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/vista/detalle_articulo.php?id_libro=396&id_articulo=8490>. Acesso em: março de 2019.

MITCHELL, M. **Complexity: A guided tour**. New York: Oxford University Press, 2009.

MONTAGNA, G.; CARVALHO, C. **Textiles, identity and innovation: Design the future**. London: Taylor & Francis Group, 2019.

MORIN, E. **On complexity: Advances in systems theory, complexity, and the human sciences**. New Jersey: Hampton Press Inc., 2008.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem as coisas**. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1998.

NAKE, F. **Hommage à Paul Klee**. 1965. 1 original de arte. Impressão serigráfica em papel. Disponível em: <<http://dada.compart-bremen.de/item/artwork/414>> Acesso em: jan. 2019.

O’MEARA, K. **Print design for ultimate textile**. Disponível em: <<http://www.kristiomeara.com/print-design-for-ultimate-textile/>> Acesso em: jan. 2019.

OLIVEIRA, A. L. Ensaio crítico sobre a primeira e a segunda antinomias de Kant. **Revista de Filosofia Síntese**, Belo Horizonte, v. 28, n. 91, p. 169-187, 2001.

OXMAN, N. Variable property rapid prototyping. **Journal of Virtual and Physical Prototyping**. v.6, n.1, p. 3-31. 2011.

PAIO, A. **Gramática da forma**. In: GASPAR, J. (ed.) 101 Conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. São Paulo: Probooks, 2016.

PANITZ, M. A. **Dicionário técnico: português-inglês**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003.

PEARCE, P. **Structure in nature is a strategy for design**. Cambridge: MIT Press, 1978.

POSTREL, V. **The impact of digital technology on textile manufacturing.** In: AATCC - Textile Testing, Conference & Education Source. 2017. Disponível em: <<https://www.aatcc.org/pub/aatcc-news/newsletters/0417a-story1/?fbclid=IwAR3CSSKpXr3riKJXJevhvgquBt4il1BFaff3vVmLlb1TcOdEcAi00exISJo>> Acesso em: março de 2019.

PROCTOR, R. M. **Principles of Pattern Design.** Dover Publications: New York, 1990.

REAS, C. **Network C.** 2012. DAM Gallery. Disponível em: <https://dam-gallery.de/kuenstler_ui/casey_reas/#1522142020853-7ccabfe9-20e0> Acesso em: jan. 2019.

REAS, C.; FRY, B. **Processing: a programming handbook for visual designers and artists.** The MIT Press, 2nd edition. Cambridge, 2014.

REAS, C.; MCWILLIAMS, C. **Form + code in design, art, and architecture.** Nova York: Princeton Architectural Press, 2010.

RINALDI, R. M. **A intervenção do design nas superfícies projetadas: processos multifacetados e estudos de caso.** 2013. 190 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru, 2013.

ROSENBERG, J. S. **Chinese pottery: The first five millennia.** Museums and Collections. 2016. Disponível em: <<https://harvardmagazine.com/2016/06/harvard-exhibition-neolithic-chinese-pottery>> Acesso em: jan. 2019.

RUBIM, R. **Desenhando a superfície.** 2ª. Ed. São Paulo: Edições Rosari. 2010.

RUSSELL, A. **Repeatless: transforming surface pattern with generative design.** In: Shapeshifting Conference: Auckland University of Technology, Nova Zelândia, 2014.

RUTHSCHILLING, E. A. **Design de superfície.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.

RZEVSKI, G. **Using complexity science framework and multi-agent technology in design.** In: ALEXIOU, K.; JOHNSON, J.; ZAMENOPOULOS, T. Embracing complexity in design. Taylor&Francis e-Library, 2010.

SARACENO, T. **14 Billions (Working Title).** 1 original de arte. Instalação. 2010. Disponível em: <<https://studiotomassaraceno.org/14-billions-working-title/>> Acesso em: jan. 2019.

SCHWARTZ, A. R. D. **Design de superfície: por uma visão projetual geométrica e tridimensional.** 2008. 200 f. Dissertação (Mestrado em design) - Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho', UNESP, 2008.

SEMPER, G. **Style in the technical and tectonic arts: Texts and documents 1803-1879.** MALLGRAVE, H. F. (Org.). Los Angeles: Getty Publications, 2004.

SILVA, M. L. F. da. **Design de Superfícies:** por um ensino no Brasil. 2017. 298 f. Tese (Doutorado em design) - Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho', UNESP, 2017.

SPELLER, T. H. Jr.; WHITNEY, D.; CRAWLEY, E. Using shape grammar to derive cellular automata rule patterns. **Complex Systems Journal**, vol. 17, 2007, p. 79-102.

SPROTT, J. C. Simplifications of the Lorenz attractor. **Nonlinear Dynamics, Psychology and Life Sciences**, vol. 13, n. 3, 2009, pp. 271-278.

SPUYBROEK, L. **The Architecture of Continuity:** Essays and Conversations. TSeries. Rotterdam: V2 Publishing, 2008

STEARNS, P. **Fragmented Memory:** A Triptych of Data Portraits Rendered from Raw Digital Information. 2013. Disponível em: <<https://phillipstearns.wordpress.com/fragmented-memory/>> Acesso em: março de 2019.

STEWART, M. **Double Pointed Knitting Needles.** Disponível em: <<https://www.marthastewart.com/1535871/double-pointed-knitting-needles>>. Acesso em Janeiro de 2019.

STINY, G. **Pictorial and formal aspects of shape and shape grammars.** Interdisciplinary Systems Research 13, Springer Basel AG, 1975.

TACHI, T. Designing Freeform Origami Tessellations by Generalizing Resch's Patterns. In: **Journal of Mechanical Design.** Vol. 135, 2013.

TEDESCHI, A. **Algorithms-Aided Design - AAD:** Parametric strategies using Grasshopper. Brienza: Le Penseur, 2014.

TERZIDIS, K. **Algorithms for Visual Design Using the Processing Language.** Wiley Publishing, Indiana: 2009.

TOUSSAINT, E. R; TOUSSAINT, G.T. **What is pattern?** In: Proceedings of Bridges 2014: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture. Seoul, Korea. 2014

TUCKER, E. **Wovns platform turns digital designs into on-demand Jacquard fabric.** 2016. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/2016/07/07/wovns-dena-chelsea-molnar-digital-textiles-design-jacquard-fabric/>> Acesso em: março de 2019.

TURING, A. The Chemical Basis of Morphogenesis. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Series B - Biological Sciences, v. 237, 1952, p-37-72.

TURNER, J. C.; GRIEND, P. V. (eds.) **History and science of knots.** In: Series on knots and everything. Vol 11. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1996.

VIEIRA, A. K. **Design generativo – estudo exploratório sobre o uso de programação no design**. 2014. 117f. Monografia (Graduação em Design) – USP, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

WASHBURN, D. K.; CROWE, D. W. **Symmetries of culture: theory and practice of plane pattern analysis**. Seattle: University of Washington Press, 1988.

WIDEWALLS. **How did Tessellation Transform from Method to Art?** 2016. Disponível em <<https://www.widewalls.ch/tessellation-mathematics-method-art/>> Acesso em março de 2019.

WILLIAMS, C. **Textile and digital spaces - Binary textiles**. 2013. Disponível em: <<https://xxxclairewilliamsxxx.wordpress.com/2013/12/>> Acesso em março de 2019.

WOLFRAM, S. **Cellular automata and complexity: collected papers**. Boca Raton: Taylor & Francis Group Publishing, 1994.

WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Routledge, Taylor & Francis Group. New York, 2010.

WOODSTOCKINN. **Knitting needles**. Disponível em: <<https://www.woodstockinn.com/do/events/knit-night-0>>. Acesso em Janeiro de 2019.

WORDEN, A. G. **Emergent Explorations: Analog and Digital Scripting**, 2011, 161 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2011.

WOVNS. **A platform for custom woven textiles**. Disponível em: <<https://www.wovns.com/>> Acesso em: março de 2019.

YU, Rongrong; GERO, John; GU, Ning. **Impact of Using Rule Algorithms on Designers' Behavior in a Parametric Design Environment: Preliminary Result from a Pilot Study**. CAAD Futures, CCIS 369, pp. 13–22, 2013.