

V!RUS

revista do nomads.usp
nomads.usp journal
ISSN 2175- 974X

**criação em processo+
creation in process+es**
sem 2 - 11

Como citar este texto: CHATURVEDI, S.; COLMENARES, E.; MUNDIM, T. S. Knitectonics. Traduzido do inglês por João Paulo Soares. **VIRUS**, São Carlos, n. 6, dezembro 2011. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus06/?sec=4&item=2&lang=pt>>. Acesso em: 00 m. 0000.

Knitectonics

Sanhita Chaturvedi, Esteban Colmenares e Thiago S. Mundim

Sanhita Chaturvedi é Arquiteta e Mestre em Novos Métodos para Fabricação Digital, Design e Urbanismo. Atualmente trabalha na Foster + Partners Architecture.

Esteban Colmenares é Arquiteto e Mestre em Novos Métodos para Fabricação Digital, Design e Urbanismo. Professor Visitante na Universidade de Central Lancashire, John McAslan + Partners.

Thiago S. Mundim é Arquiteto e Mestre em Novos Métodos para Fabricação Digital, Design e Urbanismo. Professor Visitante no Instituto para Arquitetura Avançada da Catalunha (IaaC) e atual diretor do YNOYarchitecture.

Resumo

"...técnicas que operam a nível material, se precisamos de ideias, seguirão a partir de técnicas e técnicas seguirão a partir de matéria..." - Gottfried Semper (1851, tradução nossa)

É possível uma simples máquina de artesanato doméstico facilitar um sistema ~~photoprot~~o-
tectónico?

O projeto Knitectonics visa explorar sistemas de fabricação digital que facilitem soluções arquitetônicas integradas, otimizadas e adaptativas (Malé-Aleman, 2009). Ele é inspirado pela beleza de sistemas naturais e sua inerente eficiência e desempenho. A pesquisa explorou a fabricação em campo de cascas estruturais únicas, integrando pele e estrutura, juntamente com serviços e infraestrutura, utilizando uma simples técnica caseira. Assim, incorpora um micro sistema de texturas e um macro sistema de estruturas, auto-organizado. Este artigo descreve como aspectos numéricos de técnicas têxteis foram usados, primeiramente para digitalmente imitar o processo de montagem e depois explorar e desenvolver um novo sistema de fabricação, com base em pesquisa de materiais e experimentação prática.

Palavras-chave: Fabricação digital; arquitetura emergente; arquitetura evolutiva; arquitetura têxtil; malha; pesquisa em design.

1. Introdução

Sempre existiu uma harmonia natural entre máquinas e matemática, e essa sincronização direcionou os cientistas à computação atual. O tear Jacquard, com seus cartões de madeira perfurados, foi o primeiro dispositivo mecânico que funcionou com um padrão binário. Ele trouxe a ideia de programação e ainda inspirou Charles Babbage a desenvolver o engenho analítico (Chisom, 2011). Desde a revolução industrial, as técnicas para manipulação de fibras em produtos têxteis não seguem procedimentos artesanais caseiros, nem os materiais estão sujeitos à quebra. Juntos, materiais e técnicas têm sido revolucionários, tanto é que hoje são usados para vários propósitos de alta-performance, como construção de aeronaves. Todas essas técnicas trabalham com o arranjo de materiais, para diferenciar padrões de superfícies e formas geométricas. Esta prática está em forte congruência com a arquitetura, mas na ausência de um projeto e ferramenta de visualização, o seu potencial ainda não foi totalmente aproveitado.

A relevância fortemente enraizada da produção têxtil em arquitetura é evidente nas obras teóricas do arquiteto alemão, do século XIX, Gottfried Semper, que inferiu que a produção têxtil foi a primeira arte técnica. Lars Spuybroek vislumbrou a possibilidade de transformar elementos flexíveis em rígidos através da colaboração entre várias técnicas de construção têxtil. Essas intuições teóricas em conjunto com a capacidade dos "tecno-têxteis" disponíveis poderiam ser unidas com processos mecânicos simples usados na indústria têxtil. Para esse fim, inúmeras técnicas de Intercalamento (como o posicionamento das fibras, tecelagem e costura 3D), Entrelaçamento (como tranças e nós) e Costura (tricô) foram estudadas e experimentadas.

O objetivo primário desse projeto foi alcançar geometrias complexas com inerente 'economia de meios', utilizando o material de maneira otimizada. Monocoques, onde a pele é também estrutura, visivelmente ilustram isso e o objetivo era estender essa economia para outros parâmetros de material, máquinas, infraestrutura, energia e tempo criando 'formas auto estruturadas'. A técnica de confecção de malhas tricotadas usa o potencial de mono-materiais contínuos como a fibra e apresenta a possibilidade de materializar estruturas unificadas sem a necessidade de fôrmas, contra outras técnicas têxteis que podem requerer configurações de máquina complexas e a utilização de moldes. Assim, a reinterpretção de um método existente e a articulação com uma sofisticada programação de um sistema mecânico para a exploração de novos processos de projeto arquitetônico, será demonstrada aqui com técnicas de confecção de malhas tricotadas.

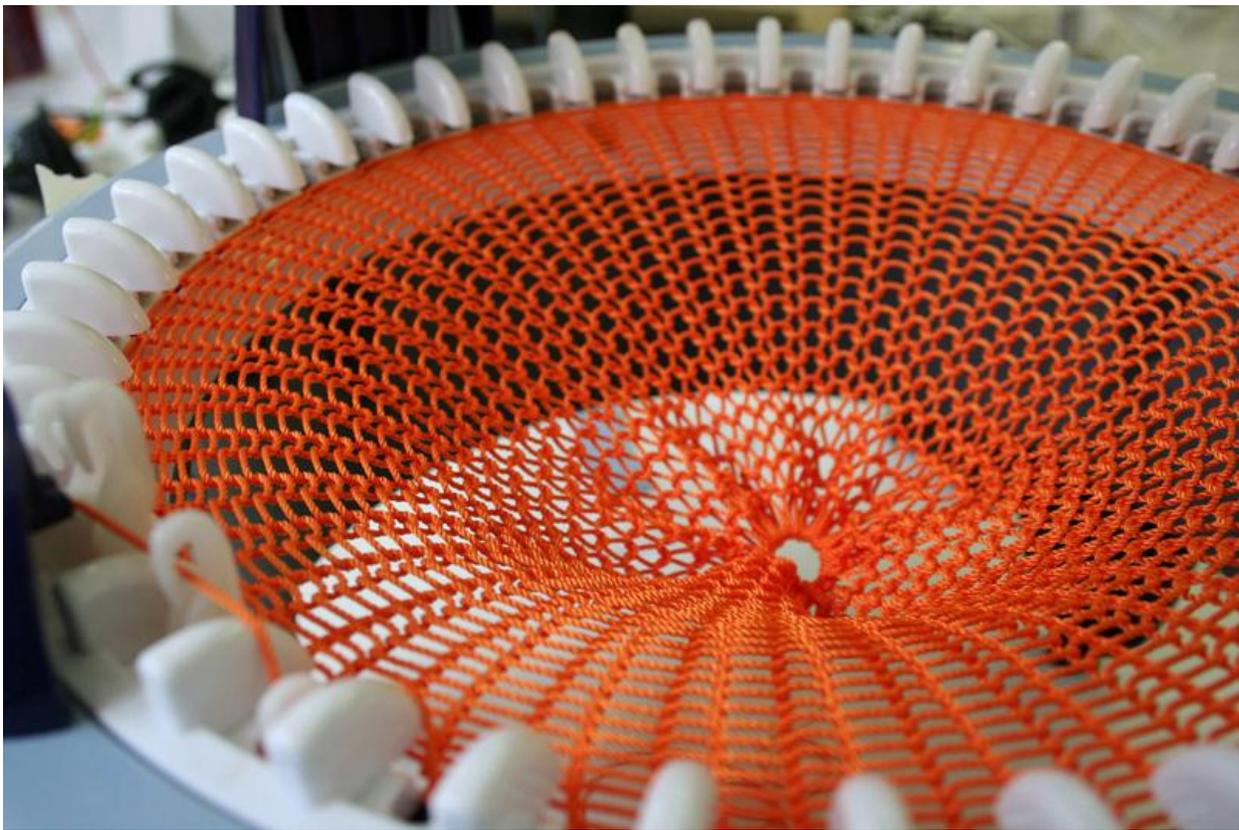


Figura 1. Máquina Caseira de Tricô Circular.

2. Evolução da Máquina

O processo desenvolvido na elaboração do projeto foi um diálogo paralelo entre experimentos analógicos, realizados utilizando uma máquina de tricô circular caseira (Figura 1) e simulações digitais, realizados utilizando linguagem Java na plataforma 'Processing'. Após a compreensão da máquina, do método e da metáfora do tricô, o desafio foi explorar as possibilidades tectônicas apresentadas pela técnica, resolver o problema de escala como um protótipo arquitetônico e adaptar o sistema para implantação em um terreno real. O primeiro passo para uma solução foi conectar duas ou mais máquinas com uma ponte, inspirado pela 'máquina de tricô para a produção de meias' de Benito Manini¹. Assim, embora o design do protótipo conceitual da máquina tenha começado com uma máquina caseira circular, evoluiu através de configurações retilíneas, cruciformes e hexagonais, para, posteriormente, voltar a uma configuração circular, ligada por pontes em uma grelha hexagonal (Figura 2).

¹ Benito Manini, 'Knitting Machine for Producing Tights', Patente dos Estados Unidos, número 5.226.297. 13 Jul. 1993.

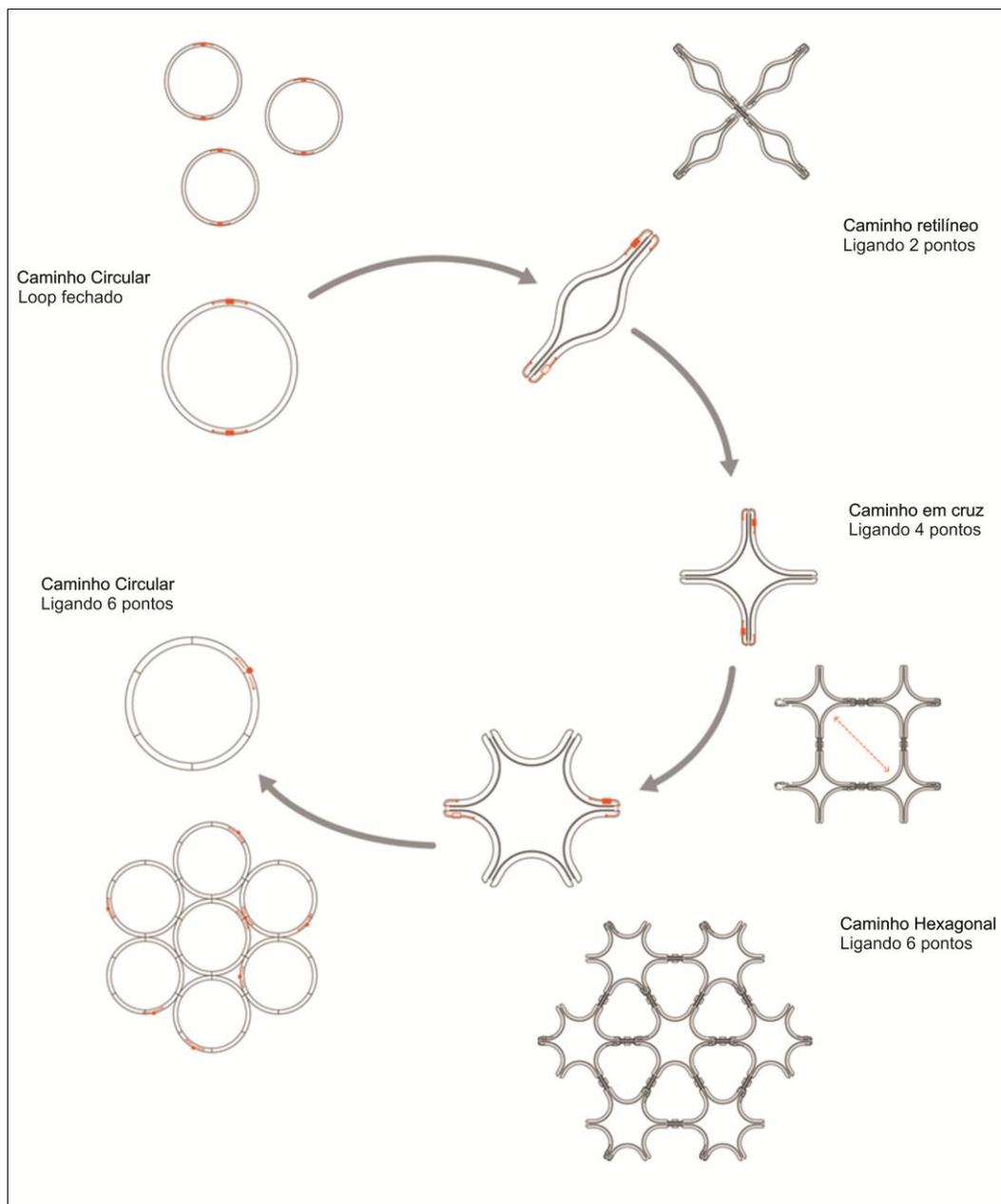


Figura 2. Evolução da Máquina.

Para ser viável como um processo de fabricação, a configuração digital da máquina de tricô circular com pontes exigiria elementos adicionais a seu funcionamento. Para criar estruturas sem fôrmas com este sistema, o 'anel de tricô' proposto moveria para cima costurando a malha que seria tensionada utilizando uma replica do 'anel de fixação', dentro da configuração da máquina, preso ao chão. Outro aspecto crítico era alcançar rigidez estrutural, a solução sugerida foi a utilização de fibras impregnadas com resina, que se solidificariam através da aplicação de raios UV vindos do 'anel de solidificação' (Figura 3). Para investigar e simular aspectos sistêmicos e a complexidade topológica com a máquina de solidificação de malhas, foi imperativa a construção

de um protótipo digital. A ideia foi criar um sistema de simulação que poderia imitar digitalmente todas as partes da máquina e suas ações, para criar a estrutura em malha. Assim, as ferramentas em conjunto representam uma nova linguagem de montagem que será explicada aqui como três fases.



Figura 3. Malha – Ligação – Anel de Solidificação.

A primeira fase de desenvolvimento de uma 'ferramenta de decodificação' envolveu o entendimento e a desconstrução das ações para costura da máquina e das propriedades materiais das fibras utilizadas, para posteriormente traduzi-las em uma malha, com seus comportamentos específicos. Essa ferramenta facilitou a apreciação e especulação de padronizações, topologias e comportamentos, além da capacidade da máquina analógica.

A segunda fase da simulação ajudou a conceituar o 'aparelho de design', com a interface como um diagrama de fabricação. O aparelho de design é baseado na compreensão sistêmica de uma máquina simples, onde a fibra construída articula perfeitamente superfície e camadas, sendo que a trajetória de uma única linha gera geometrias de uma, duas e três dimensões (Baumann, 2010). A interface permite a seleção do tamanho e configuração das máquinas, tipo e propriedades das fibras, dinâmica e equilíbrio do sistema e o curso da ação dos 'agentes' de alimentação da fibra. Os algoritmos implementados facilitaram a opção por sequências de cabeçotes pré-programados ou ajustados em tempo real e a visualização dos resultados. O sistema mecânico digital foi então aplicado em um cenário específico, para testar e demonstrar a capacidade tectônica do método desenvolvido.

A terceira fase propôs uma 'ferramenta generativa' que poderia ser desenvolvida no futuro para avaliar, selecionar e otimizar. Os sistemas digitais oferecem várias maneiras de configurar, sequenciar e controlar a máquina, de tal forma que o sistema não forneça um único resultado

preciso, mas várias soluções adequadas. As constantes do sistema, ou seja, os 'cromossomos', são variados para alcançar uma população aleatória. Estas iterações são avaliadas em função dos parâmetros prescritos e, em seguida, criadas ao longo de dez gerações para obter soluções arquitetônicas adequadas.

3. Ferramenta de Decodificação

Na fase inicial de simulação digital, o sistema de decodificação pôde simular diferentes fios com propriedades variadas, aberturas, diferentes padrões e solidificações, sob o efeito da gravidade e do tempo (Figura 4). A simulação foi focada principalmente em imitar digitalmente o comportamento e padronizações do tecido, com a compreensão da máquina analógica.

As partes da máquina que executam diferentes funções foram divididas em diferentes tarefas dentro do sistema de simulação, tais como as pistas, o alimentador de fios e as ligações da ponte. O script de simulação foi escrito em 'Processing' (Frey; Reas, 2010) e para simulações físicas foi utilizada uma biblioteca adicional 'Toxiclibs' (Schmidt, 2010).

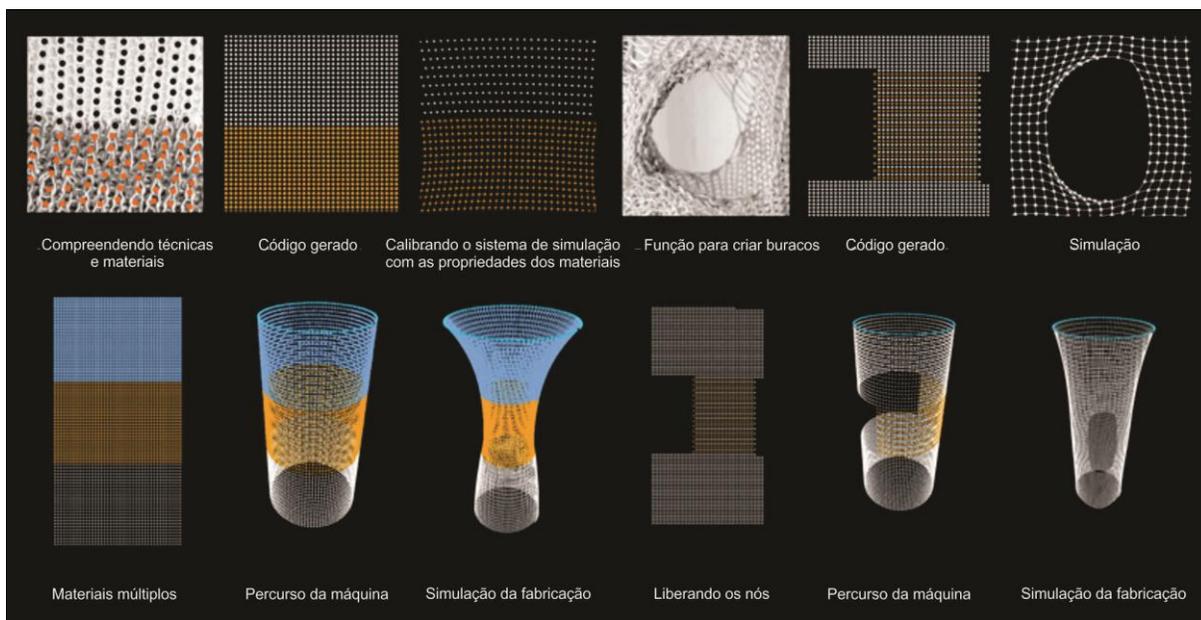


Figura 4. Processo de Decodificação Analógico e Digital.

3.1. Partes do Sistema

- Agulhas: é o menor componente de desempenho do sistema mecânico. Elas trançam os fios para criar a malha tricotada, enquanto seguram o primeiro nó para trançar o próximo conjunto de nós.
- Cama de Agulhas: é um seguimento da pista que serve como base para as agulhas. Cada cama tem certo número de agulhas e uma "ponte" no início da mesma.
- A Ponte: é o ponto em que duas camas de uma mesma pista são ligadas. Estes também se tornaram os pontos de conexão para a ligação com outras pistas.
- A Pista: é composta por seis camas de agulhas, e carrega a informação requerida para criar uma máquina de tamanho específico, isto é; raio, número total de agulhas e etc. Estes parâmetros determinam as especificidades das camas e das agulhas. Cada pista possui seis camas e, portanto, seis pontes, a cada 60 graus, que se conectam a outras pistas (Figura 5).

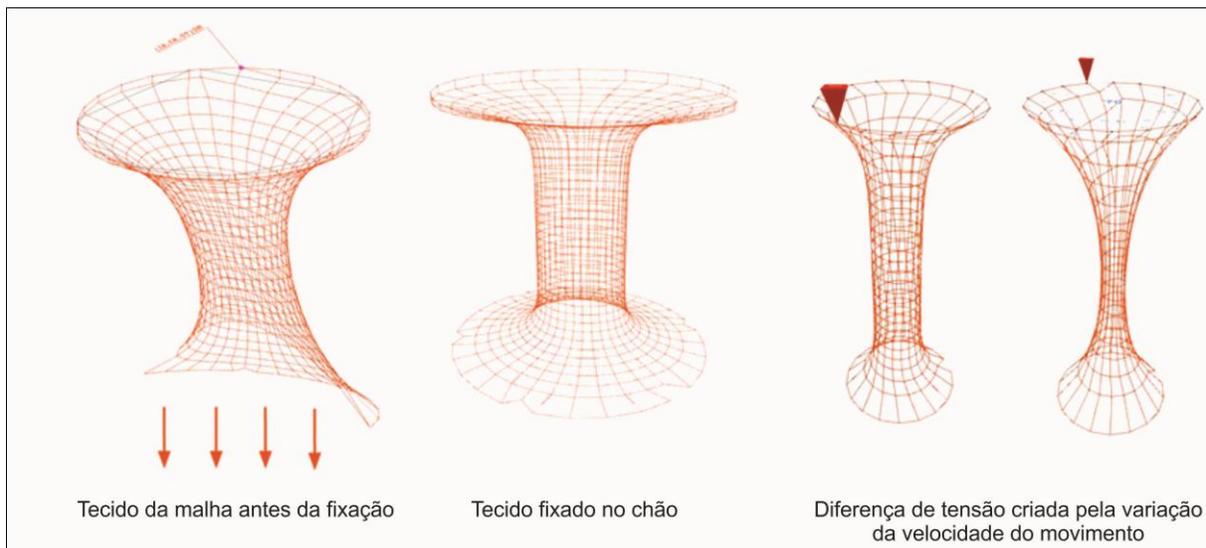


Figura 5. Anatomia da Máquina.

3.2. Ação de Tricô

O processo de confecção de malhas em uma máquina física envolve cada agulha de tricô para criar um ciclo. Este ciclo é mantido até os fios chegarem ao entre-ciclo para criar um novo ciclo, sendo assim em seguida, os nós soltos, criando-se o tecido. Por isso, cada nó está singularmente

ativo quando junto à agulha, e uma vez solto da agulha como parte do tecido, ele passa a fazer parte de uma ação coletiva. Na simulação cada nó na agulha é representado por uma 'partícula'. Estas 'partículas' quando soltas das agulhas, e configurando o tecido, podem ser descritas como um 'número de partículas' conectadas com 'molas', consideradas como o equivalente digital do fio.

3.3. Tecido Tricotado

Cada fio utilizado no tricô possui propriedades específicas e se torna indispensável incorporar esses dados dentro da simulação para obter uma imagem real do comportamento dos materiais. Com a queda do tecido tricotado através da gravidade, os comportamentos dos fios governam o comportamento do tecido. Assim, no script de simulação, cada fio possui as seguintes características.

- Física: Os nós do tecido são representados por 'partículas' conectadas com 'molas' da biblioteca com os algoritmos de física. Estas 'partículas' são submetidas à força da gravidade e a outras energias ao seu redor uma vez que os nós são relacionados e colidem entre si.
- Força do Fio: Os fios são diferenciados pela força de cada 'mola' de cada fio. A força elástica é definida por um intervalo de estiramento máximo e compressão máxima e uma posição de repouso ideal, de tal forma que as molas, sob a ação de todas as forças, tendem a voltar à posição de repouso.
- Peso dos Fios: Sendo a força aplicada a um objeto o produto da sua massa pela aceleração gravitacional, para calcular a força do fio, a gravidade é declarada como uma variável global e o peso de cada fio é definido em suas propriedades (Figura 6).

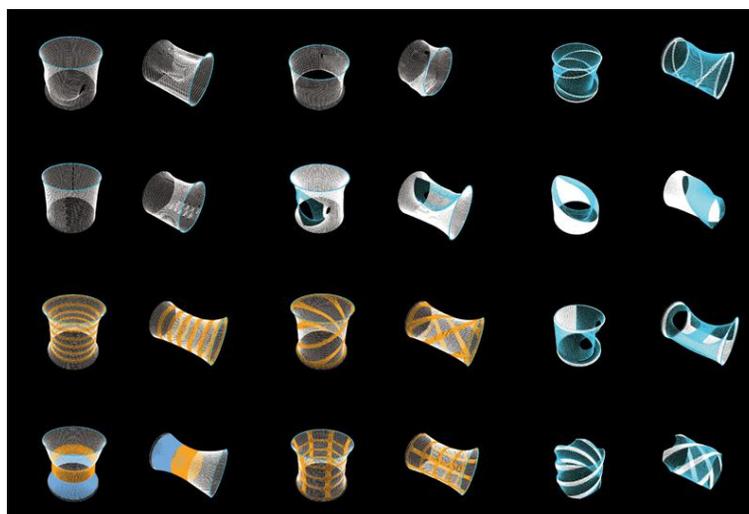


Figura 6. Possibilidade de Versões do Material.

3.4. Dinâmica da Máquina

No tricô convencional, a máquina está parada e o tecido é pressionado em rolos e puxado para baixo. No modelo conceitual, a máquina se move para cima enquanto tricota, e a gravidade e o solo são utilizados para prender e tensionar o tecido. As funções a seguir são utilizadas para simular a dinâmica do sistema em tempo real.

- **Fixação do Tecido:** Esta função permite a fixação do tecido ao solo ou a qualquer outro plano horizontal, sendo a distância após a fixação passível de ser ajustada através da interface. Aqui a primeira linha de 'partículas' nas agulhas da máquina, estão conectadas aos correspondentes pontos no plano de fixação.
- **Movimento da Máquina:** Esta operação ativa a movimentação vertical da máquina. A velocidade do movimento pode ser ajustada conforme a tensão necessária: um tecido de malha apertada exigiria uma alta velocidade e um tecido de malha solta requereria uma velocidade lenta.
- **Tensão:** Esta é uma necessidade absoluta para o tricô analógico e é obtida utilizando pesos. No sistema digital, a tensão derivada é uma combinação da velocidade de movimentação da máquina e o atrito causado pelo plano de fixação (Figura 7).

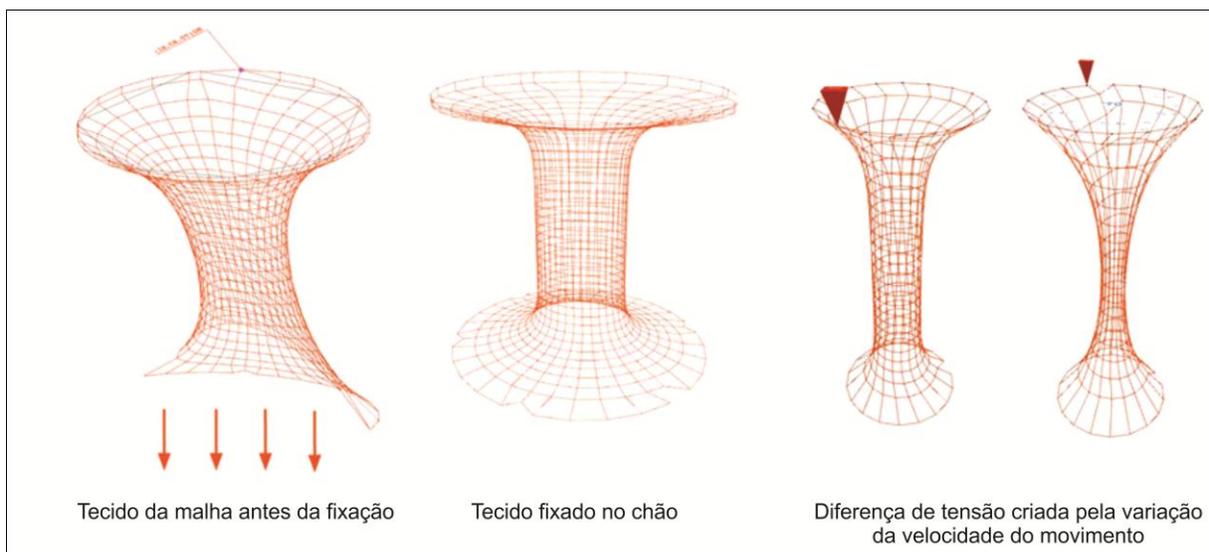


Figura 7. Dinâmicas da Máquina.

3.5. Materialidade

As implicações de se tricotar múltiplos fios simultaneamente foram estudadas em experimentos analógicos. Estando dentro do campo de compostos de fibras, matrizes de materiais para solidificação dos fios foram utilizadas e, depois, a possibilidade de uma combinação entre fibra e matriz em um único material, por exemplo o fio impregnado. Estes foram integrados à simulação.

- Múltiplos Fios: Cada fio único possui propriedades específicas, assim para combinar múltiplos materiais, a simulação cria um novo material com uma identidade distinta combinando as propriedades dos diferentes fios utilizados.
- Solidificação: Esta função imita a máquina e instiga o processo de solidificação do fio após ele ser tricotado. Para solidificar os nós, a simulação bloqueia a elasticidade das 'partículas' envolvidas.
- Fio Impregnado: O tecido tricotado pode ser flexível e rígido, portanto, o sistema digital também necessitava da flexibilidade para seletivamente solidificar um fio específico e não todos os fios. Dessa maneira a simulação leva em conta fios impregnados estruturais. (Figura 8).

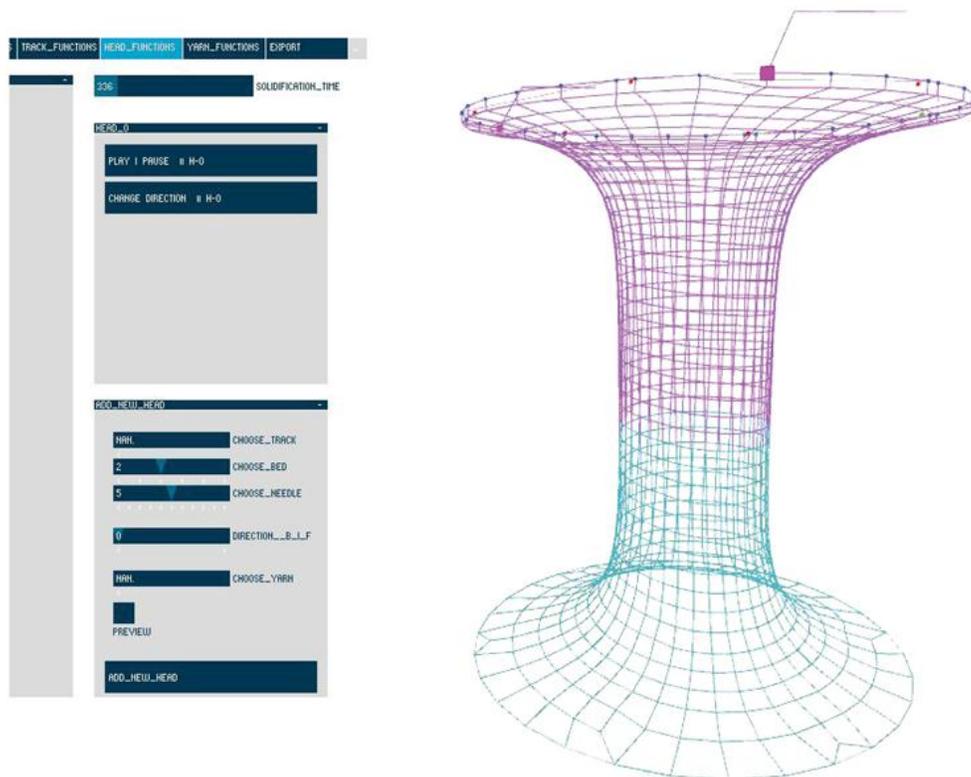


Figura 8. Materialidades – Tricotado (Magenta) e Solidificado (Azul).

4. Ferramenta de Design

Após decodificar as ações para o tricô e todas as partes da máquina proposta, a ferramenta foi utilizada para a criação de projetos. Os múltiplos cabeçotes foram programados para tricotar ao longo das pistas e a responder às pontes. (Figura 9)

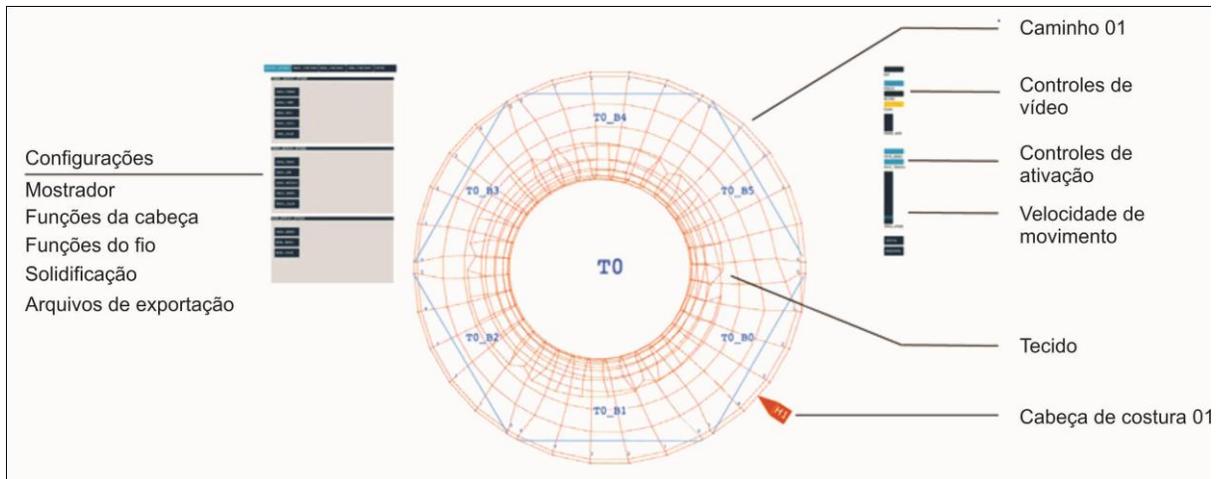


Figura 9. Desenho da Interface do Aparelho de Design.

O cabeçote carrega o fio e solta as partículas conectadas com molas ao longo da pista. Após a introdução da função da ponte, o cabeçote pode mover-se de uma pista para a outra. A ativação da ponte e sua rotina podem ser predefinidas no *script* ou modificadas em tempo real através da interface. Rotinas de ativação-desativação da ponte e cruzamento entre pontes, facilitam a criação de conexões, bifurcações e topologias.

4.1. Sequências de Cabeçotes

Melhorias no design da máquina levaram à dedução que a ponte não era necessária como um elemento físico, mas sim como uma ação dos cabeçotes. Em qualquer ponto de conexão de duas pistas na grelha hexagonal do arranjo circular, o cabeçote pode realizar qualquer uma das quatro ações prescritas. Essas ações são referenciadas como 'sequências'.

- Sequência 0: A 'sequência 0' é o comando para o cabeçote ignorar um ponto de conexão.
- Sequência 1: A 'sequência 1' para o cabeçote retornar.

- Sequência 2: A 'sequência 2' para o cabeçote criar uma ponte.
- Sequência 3: A 'sequência 3' para o cabeçote cruzar ponte (Figura 10).

É importante notar que este 'ponto de conexão' une duas agulhas em uma pista à duas agulhas correspondentes em outra pista. Assim, na sequência 2, o cabeçote cria uma ponte entre duas agulhas localizadas em paralelo, enquanto que na sequência 3, o cabeçote cria uma ponte através de duas agulhas localizadas em diagonal e costura tubos em conjunto. A cada cabeçote pode, portanto, ser prescrita uma rotina de 'n' números em sequências e essa rotina pode repetir indefinidamente.

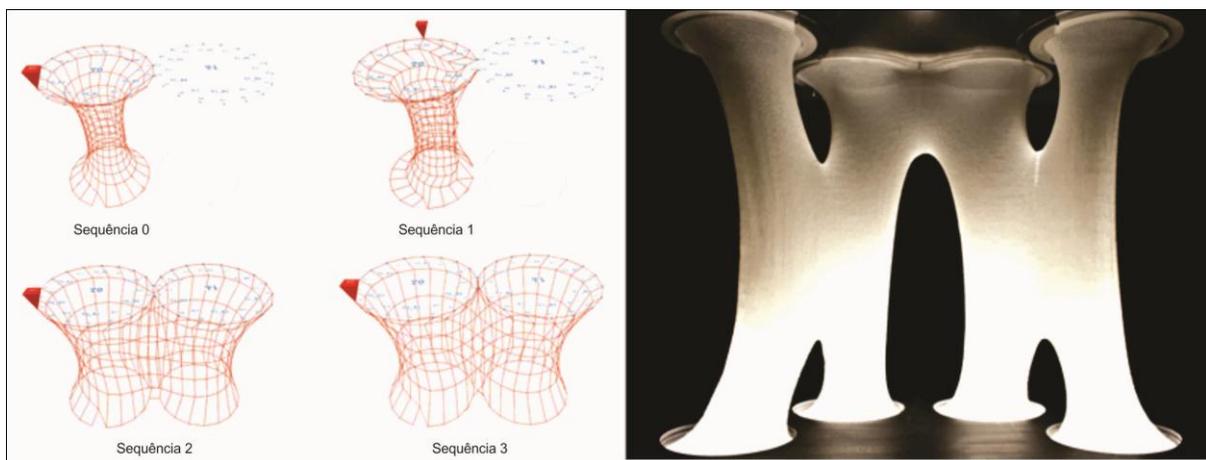


Figura 10. Sequência digital e uma Instância Analógica da Combinação de Sequências.

4.2. Ponto de Início do Cabeçote

Na configuração de uma grelha hexagonal fechada com três ou mais pistas, há um perímetro externo e um perímetro interno, fechado dentro das pistas. O ponto de início do cabeçote no exterior em relação ao perímetro interno pode produzir resultados diferentes. O ponto inicial do cabeçote pode ser direcionado, especificando-se uma pista, a cama de agulhas, a localização numérica da agulha, e a orientação do movimento como sentido horário ou anti-horário. Como o trajeto do cabeçote é prescrito pela rotina de sequências, o resultado de malha é específico para o ponto de início na configuração das pistas.

4.3. A solta dos Nós

A densidade da malha pode ser alterada e furos podem ser criados ao se soltar os nós das agulhas. A ideia da máquina digital é experimentar com topologias e aberturas em uma escala apreciável, assim o foco estava em soltar os nós não apenas de agulhas individuais, mas sem para grupos de agulhas. O sistema de simulação ofereceu a possibilidade de soltar uma pista inteira ou camadas de agulhas específicas de uma pista, ou ainda, apenas a ponte, de acordo com os pré-requisitos de *design* na aba 'funções das pistas' na interface de projeto. (Figura 11)

4.4. Número e Trajeto do Cabeçote

Como mencionado anteriormente, existe um perímetro externo e interno fechado dentro das pistas. Esses perímetros – a pista propriamente dita (perímetro maior) e os interstícios criados (perímetro menor) – podem ambos ser empregados como trajetos para os cabeçotes. Curiosamente a velocidade dos movimentos da máquina se torna crítica a partir do momento em que o tempo requerido para cada perímetro se torna diferente, o que pode causar ou que o tecido interno se torne muito solto ou o tecido externo muito tensionado. Isso pode ser contornado com a inserção de mais pontas no perímetro maior. Estes interstícios proporcionaram a possibilidade de variar os volumes fechados das malhas e criar elementos estruturais, subdivisões e veios. (Figura 11)

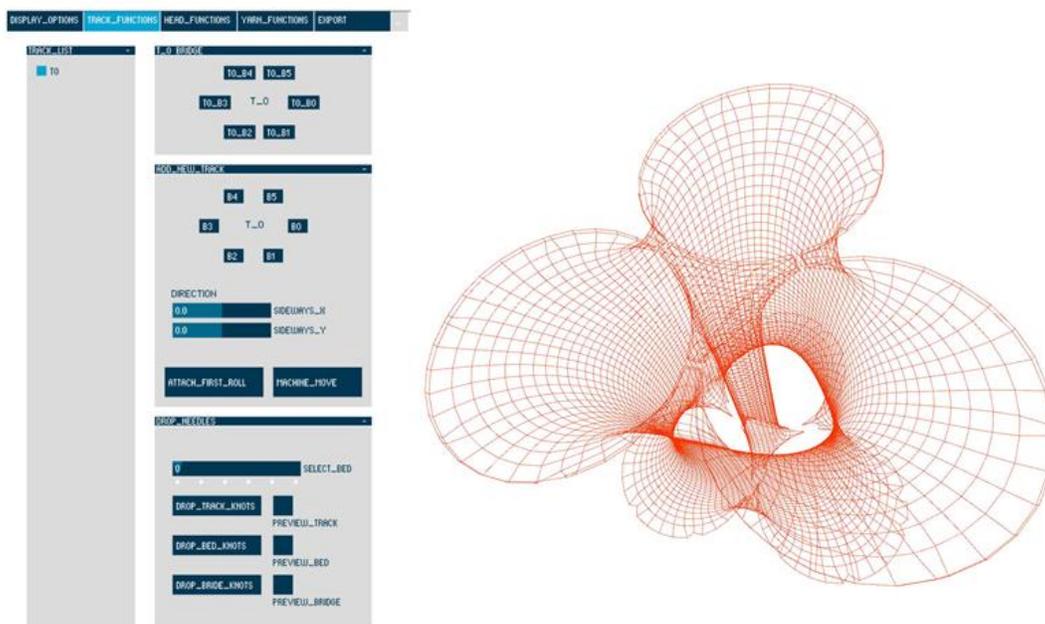


Figura 11. Interface de solta dos Nós / Modelo com Variação de Perímetro.

4.5. Controle de Fixação

Juntamente com todas as funções apresentadas acima dentro do sistema digital, a opção por fixar ou não fixar em qualquer momento específico e a possibilidade de fixação no solo ou em qualquer outra superfície plana, abre um novo campo de possibilidade para topologias e morfologia (Figura 12).

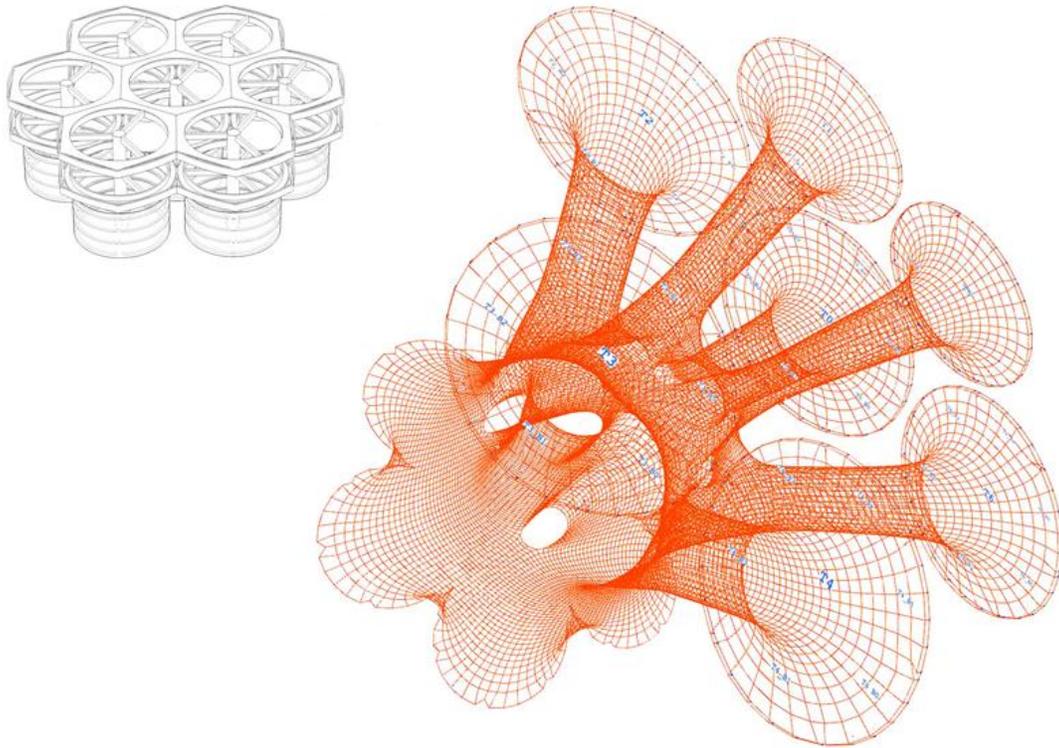


Figura 12. Configuração com Sete Pistas e a Possibilidade Gerada.

5. Aplicação na Arquitetura

A interface de projeto foi desenvolvida a partir do entendimento de técnicas analógicas, sistemas mecânicos e comportamento dos materiais. A ferramenta de design contém todo o conhecimento obtido através da ferramenta de decodificação e da oportunidade de vislumbrar o tricô como um princípio de construção. A coreografia dos cabeçotes determina a maneira como o material construído e define um novo vocabulário para a arquitetura.

As configurações permitem obter superfícies topológicas complexas uma vez que a máquina possui uma relação um-a-um com o material resultante e as coordenadas naturais locais criam uma estrutura global-local. Além disso, para abordar questões de nível macro e micro com o sistema, foi introduzida a ideia de uma máquina de tamanhos variados através de uma grelha

hexagonal, assim agregando a capacidade de integrar múltiplas escalas, resoluções e funções. Os aspectos tectônicos são direcionados a dois níveis do sistema, primeiramente a um nível espacial ou programático, fornecendo espaço, estrutura e furos, e em segundo lugar um nível performático, proporcionando micro infraestrutura, serviços incorporados e casca performativa (Figuras 13a, 13b e 13c).

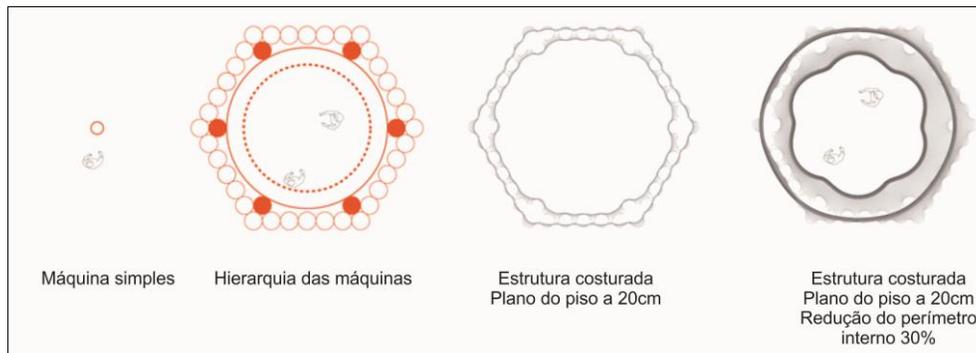


Figura 13a. Dimensões e Hierarquia da Máquina.

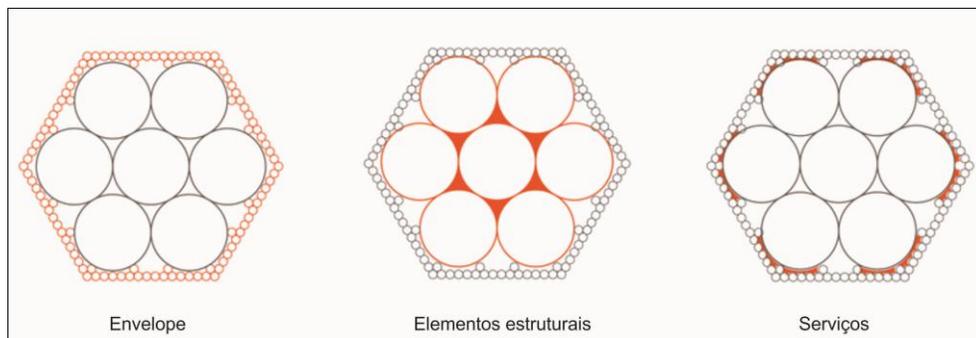


Figura 13b. Resolução e Relacionamento entre Elementos Tectônicos.



Figura 13c. Relacionamento Analógico-Digital entre Elementos Tectônicos.

O sistema foi analisado para colocar em prática de maneira apropriada o método reinterpretado. Sendo multiescalar, modular e colaborativo, possui potencial para atender a várias escalas, programas e situações, podendo se adaptar às restrições de locais através da implantação flexível e de abordagens de uso de material disponíveis. O sistema possui uma natureza de aplicação como protótipo no campo de instalações rápidas, de mínimo impacto através da integração de um sistema único. As múltiplas camadas interconectadas propiciam a oportunidade de implementar micro infraestruturas e serviços dentro de uma estrutura unificada, tornando-o adequado à infraestrutura de nível macro.

Para testar o sistema foi escolhido como cenário de aplicação o desenvolvimento de uma nova infraestrutura para uma nova tecnologia de transporte – o sistema Personal Rapid Transit (PRT) na cidade de Bath. A estética, leveza e transparência dos tecidos, adequadamente o situam em uma cultura profundamente enraizada de produção têxtil em cidades históricas inglesas. O Sistema PRT demonstra ressonância com as topologias de malhas criadas pelo sistema mecânico proposto, através dos conceitos de continuidade/bifurcação, redes/nós (Figuras 14a e 14b).



Figura 14a. Aplicação na Arquitetura / Estação PRT Canopy em Bath.

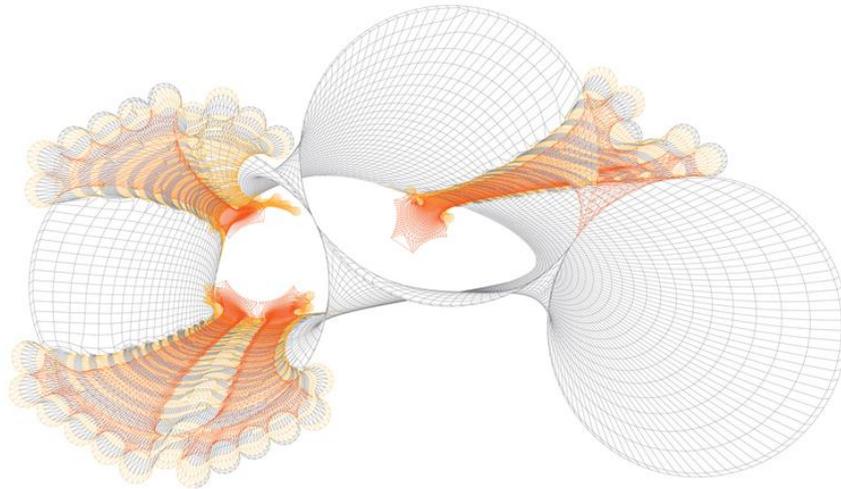


Figura 14b. Plano da Cobertura da Estação PRT Canopy, Demonstração da Ferramenta de Projeto.

Diferentes localidades por onde a infraestrutura do PRT se estende dentro de outras infraestruturas da cidade foram selecionadas para explorar a natureza do protótipo do sistema com base no programa, escala, contexto, configurações da máquina e material. (Figura 15). Embora todas as estações utilizassem o mesmo sistema, o design e a abordagem de implantação de cada uma variou, assim testando e demonstrando a viabilidade do sistema e também definindo seus limites e alcances.

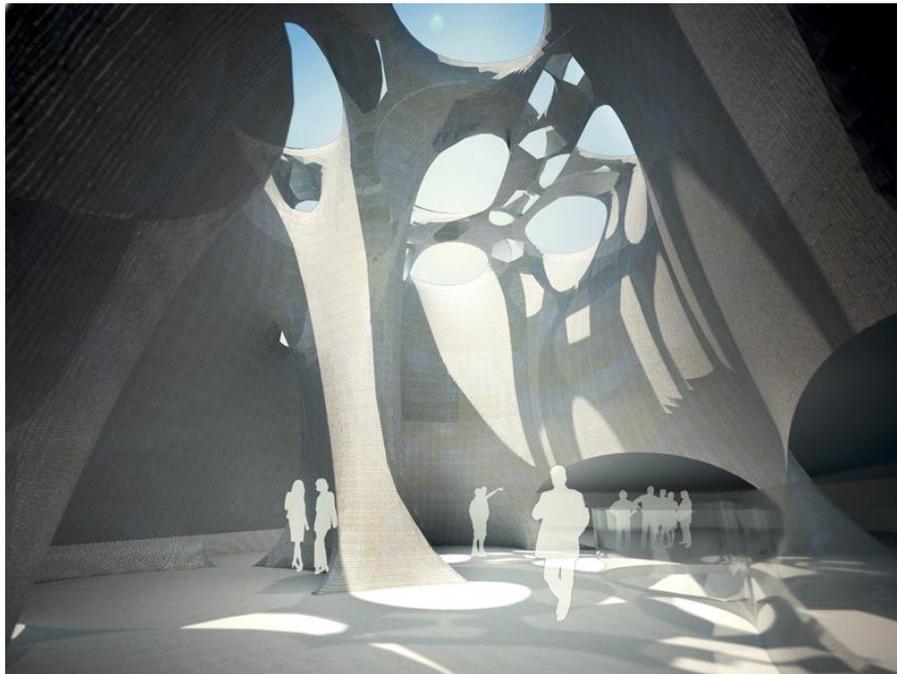


Figura 15. Aplicação / Museu de Arte e Estação PRT Subterrânea em Bath.

6. Ferramenta Generativa

A ferramenta de projeto aqui proposta facilita a realização da maioria das tarefas que trabalham com materiais convencionais e máquinas envolvidas na produção de arquitetura. O sistema mecânico digital proporciona várias opções de configurações em termos de número de pistas, seus arranjos, conexões de pontes, números de cabeçotes de costura, pontos de início e tipos de fios utilizados. Junto com o controle de fixação, movimentação e solidificação, e mais importante, as sequências prescritas para os cabeçotes, as permutações e combinações possíveis são infinitas.

O sistema fornece múltiplas soluções com equivalente adequação, assim tornar-se-ia extremamente complexo chegar aos mesmos resultados de maneira linear (Alfaris e Marelló, 2008). Com o objetivo de criar soluções arquitetônicas apropriadas, somente um sistema generativo poderia ser capaz de avaliar, selecionar e otimizar requisitos para o modelo arquitetônico proposto.

A terceira ferramenta –os algoritmos generativos – foi uma modesta tentativa para gerar uma gama de valiosas soluções arquitetônicas através do sistema mecânico proposto com base na concepção estrutural e na análise do espaço. Com precisão e sofisticação melhoradas, o procedimento poderia ser uma ferramenta de otimização de objetivos e no futuro poderia ser ampliado para outros parâmetros físicos e de performances como aberturas, alturas, resolução de superfícies, camadas e etc..

Para entender sistemas generativos, tomamos como referência o artigo de Anad Alfaris e Ricardo Merello *'The Generative Multi Performance Design System'* apresentado no ACADIA 2008. O artigo propõe um quadro de soluções generativas com o desenho de espaços definidos através da linguagem de criação de sistemas, com a integração de vários critérios de desempenho. O sistema é composto de quatro fases, nomeadas: síntese, análise, avaliação e otimização. Através deste ciclo, armazenam-se módulos de parâmetros, constantes e restrições. Para testar a viabilidade de um sistema generativo através da comparação de diferentes iterações buscando a solução ótima, esses ciclos foram aplicados ao sistema mecânico digital aqui apresentado.

- Síntese: Parâmetros básicos da arquitetura em relação a estrutura e espaço, em que se estabelece as intenções de projeto.
- Análise: Desde que a força da gravidade e a movimentação vertical da máquina de tricô controlam a fabricação do tecido, a estrutura é caracterizada pela tensão existente nos nós. O espaço é incorporado na dimensão do invólucro criado.
- Avaliação: para entender o esforço em diferentes regiões e as alterações nas sessões de cruzamento nos dois eixos do tecido tricotado, modelos físicos foram estudados.

Computacionalmente, para avaliação estrutural, o sistema mede as forças de tensão (a força elástica em comparação a força de retorno a posição de repouso) agindo em cada nó e sua caracterização quando: mais alongado, delongado, e idealmente alongado, com base na calibragem de modelos físicos. Na simulação proposta, o alongamento ideal é demonstrado pela cor verde, o mínimo alongamento é representado pela cor azul e o alongamento moderado e representado em amarelo. A cor vermelha representa o alongamento limite, além do qual a elasticidade está no ponto de ruptura e, portanto, inadequado, mostrado em preto.

A partir de modelos físicos concluiu-se que um tecido de malha normalmente se estende até um terço do comprimento original. Considerando o comportamento de auto-organização dos nós, a implicação do aumento do comprimento é visível na seção transversal reduzida do tubo. Assim, para avaliação espacial, a menor dimensão para espaços ainda habitáveis é estabelecida baseada no tamanho da máquina e a percentual diminuição da seção após o alongamento. As opções foram avaliadas em relação a essa dimensão mínima, descartando opções inviáveis (Figura 16).

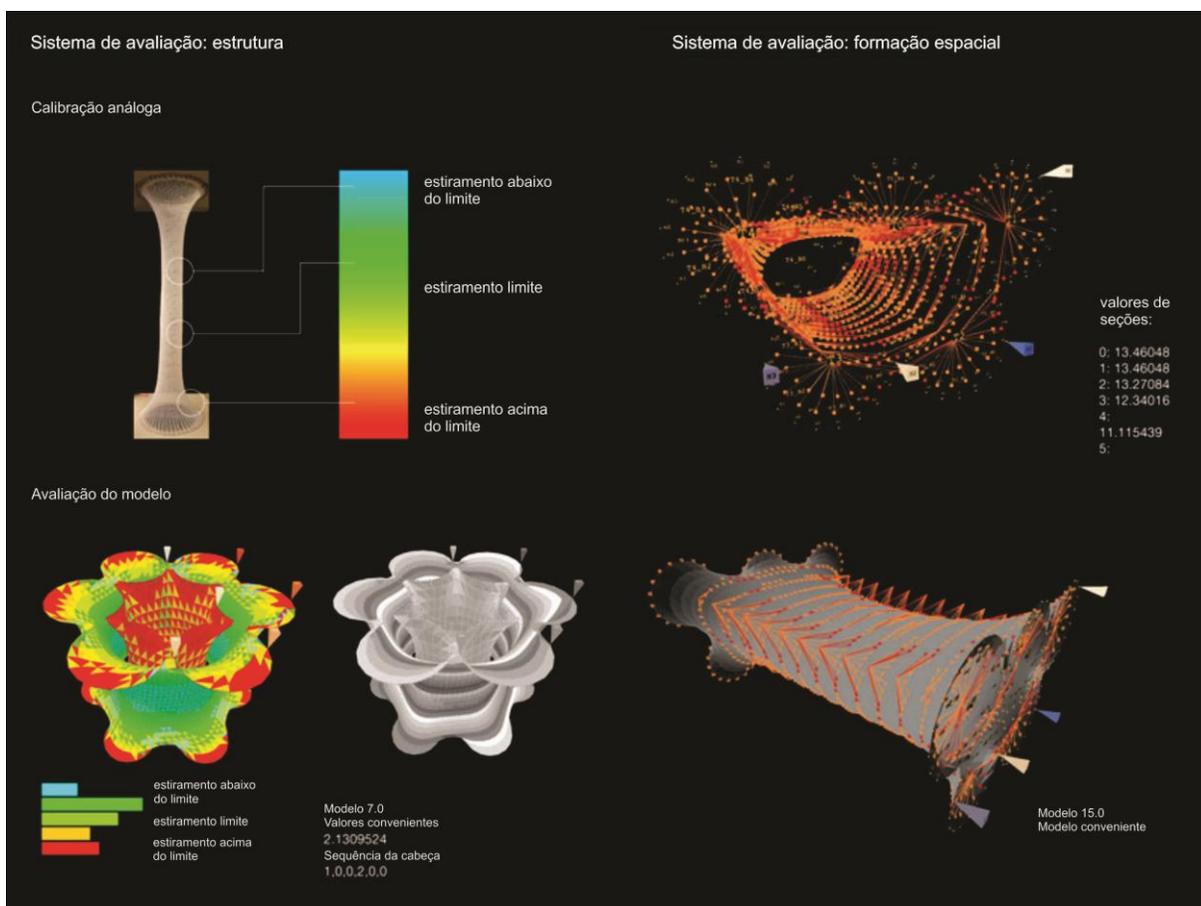


Figura 16. Avaliação dos Parâmetros da Estrutura e dos Espaços.

- Otimização: Tipicamente, a solução ideal poderia ser escolhida, comparando-a contra a "melhor solução pré-definida". Mas o sistema proposto não possui soluções ideias pré-definidas, assim cria-se o desafio de apresentar a solução ideal através de uma serie de possibilidades.

"A evolução começa a partir de um conjunto de soluções de design geradas aleatoriamente para guiar a evolução. Não se propõe produzir uma solução global ideal, mas sim dirigir o processo evolutivo para produzir um conjunto de boas soluções" (Alfaris; Merello, 2008). Esse algoritmo de evolução pode ser decomposto em cinco estágios: função de aptidão, mecanismo de seleção, acoplamento, acasalamento e introdução de mutação (Rutten, 2010). Aplicando esses princípios para desenvolver uma ferramenta de otimização, as constantes ou os cromossomos foram definidos em respeito às configurações das pistas e a localização dos cabeçotes. O primeiro conjunto de cem iterações foi gerado por uma combinação aleatória de sequências 0, 1, 2 e 3 (0=continue, 1=volte, 2=vá até a ponte e 3=cruze a ponte) que são comparáveis aos genes ou ao DNA na evolução biológica.

Iterações foram avaliadas em função dos parâmetros da estrutura e do espaço e atribuídas um valor de aptidão. Para avaliação estrutural, a aptidão é determinada pelo número de nós idealmente esticados, como um valor com peso positivo e o número de nós com estiramento máximo e nós com estiramento mínimo, como um valor com peso negativo. Estas foram as medidas para obter o valor de aptidão. Similarmente, para avaliação espacial, a distância dos 'espaçamento das células' em cada segmento da superfície desde o eixo central é medido em relação à distância ideal prescrita e, em seguida, em média, em todo o envelope.

Das cem iterações, são selecionadas como as melhores, dez iterações com os maiores valores de aptidão estrutural e espacial. Essas dez iterações são acopladas com mais dez iterações geradas da mesma maneira para gerar a prole da segunda geração. Esse processo é repetido por mais dez gerações. Curiosamente, as dez iterações resultantes tendem a ser similares a partir da sétima geração (Figura 17).

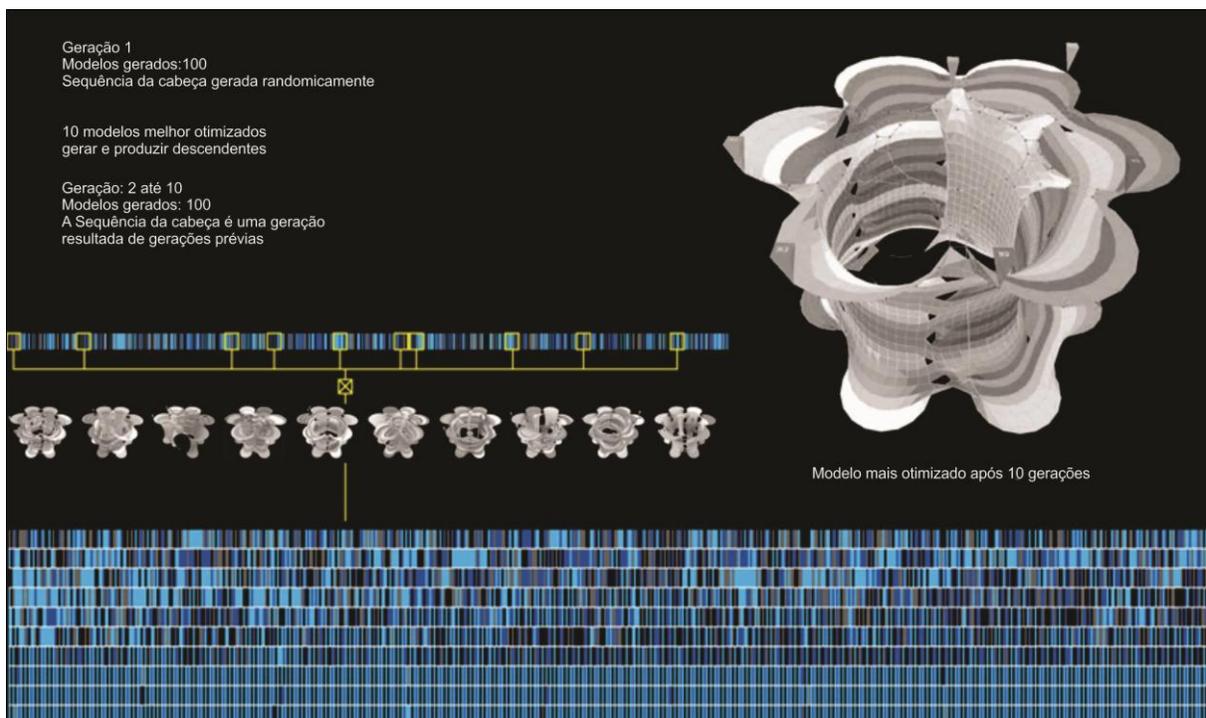


Figura 17. Algoritmo Genético Desenvolvendo Interações a partir de Dez Gerações.

7. Conclusão

As fibras trabalhadas criam e articulam superfícies e camadas e a partir da trajetória de uma única linha surge uma/duas/três geometrias dimensionais – Auto similar e repetitiva, de vínculos entrelaçados e sequência perfeita – De regras locais que definem uma linguagem de montagem que produz resultados globais dinâmicos – Com um material antes sem valor que se transforma. Essa é a riqueza de uma técnica artesanal.

A técnica pré-concebidos através de instruções pré-programadas no tear *jacquard*, deu lugar a computação. Com uma máquina de fabricação local, inspirada por uma técnica caseira, que recebe o *feedback* da materialidade e responde a ela, as três ferramentas do sistema proposto usam a computação para o design, visualização, instrução e fabricação em tempo real.

'*Knitectorics*' é nosso humilde esforço para reinterpretar um sistema mecânico e uma técnica existente para articular novos processos de criação em arquitetura. Nossa tentativa, de uma maneira inicial, foi de explorar diversos índices de sistemas mecânicos, materialidades, implantação, topologias, estratificações, escalas, parâmetros, algoritmos e etc.

Contemplando um futuro para o projeto, existem várias preocupações em potencial para nos focarmos. Como mencionado anteriormente, o algoritmo generativo é uma possibilidade para uma

ferramenta de otimização dos objetivos, mas no isolamento de uma série de preocupações subjetivas. Reconhecemos que os parâmetros para avaliação desses algoritmos requerem sofisticação e precisão melhoradas e também insumos técnicos de especialistas. Outra aproximação pragmática poderia ser a construção de um protótipo funcional da máquina proposta com o objetivo de apreciar o potencial estrutural da técnica e obter *feedback* da materialidade. Isso poderia eventualmente incentivar um estrato da utilização e composição de fibras ainda pouco explorado dentro da arquitetura.

O vasto mundo dos têxteis – técnicas, materiais, processos, máquinas, etc. – é um mundo bem intimidante. Para efeito de simplificação, definimos um pequeno e preciso conjunto de ferramentas no que diz respeito à técnica de confecção de malhas. O ponto foi considerado como cruzamento entre laços, dentro da trama construída pela máquina de tricô circular. A solidez da superfície pode ser modificada utilizando diferentes tipos de pontos e a variação na topologia pode ser criada aumentando ou diminuindo o tamanho do nó (ponto fechado e ponto aberto). Princípios aplicáveis da desconstrução da máquina de tricô podem nos escutar no campo dos espaços tridimensionais construídos a partir de tecidos de alta resistência. Podemos assim expandir o conjunto de ferramentas técnicas e estudar as implicações desses sistemas.

Turing propôs o conceito de "computação" com base notação binária e concebeu a "máquina universal" para representar a função de qualquer máquina existente, assim, a questão foi estender a ideia de notação dentro de nosso sistema computacional e diretamente utilizá-lo na máquina proposta. Nós observamos a oportunidade dentro da ideia de notação em traduzir nossos comandos digitais em ações físicas mecânicas, similar ao código utilizado na máquina de tricô industrial contemporânea. Nosso esforço preliminar na utilização de rotinas algorítmicas foi no sequenciamento do movimento dos cabeçotes de costura na cama de agulhas, mas que pode ser estendido para cada agulha individualmente; e ainda pode ser ampliada para a construção de uma matriz taxonômica que organize os pontos da costura de acordo com qualidades espaciais como o invólucro, a transparência, as interdependências entre as partes, etc..

Como nosso sistema mecânico é um sistema baseado em tensão e o tricô tem um comportamento de auto-organização, todas as superfícies resultantes criadas são superfícies simplificadas. Porém, as possibilidades de superfícies e geometrias podem ser exploradas para além da família de superfícies simples, eventualmente submetendo-se a malha tricotada a adicionais carregamentos, pressões, estiramentos e deformações. Por exemplo, a estrutura de malha trançada poderia ser trabalhada, localmente e não-uniformemente, tornando o processo mecânico mais ágil através da possibilidade de diferentes fixações utilizadas ou solidificações. A máquina e o material final tem tido uma relação direta para nós, mas nos apreciamos o potencial de 'controle do material' em oposição à 'auto-organização' isolada.

Outra ideia é investigar a aplicação de nossa máquina como um sistema de fabricação de componentes isolados da arquitetura, que podem ser organizados de maneira conjunta para organizar um todo e não uma única estrutura em totalidade.

É interessante notar que a estética é derivada de um aspecto funcional do design, que por sua vez foi deduzido a partir da lógica técnica do sistema de construção. Assim, o 'processo de construção' é o 'DNA da criação' em que buscas quantitativas se tornam qualitativas.

Esses foram os primeiros passos em uma pesquisa para o desenvolvimento de um sistema paramétrico digital baseado na confecção de malhas que permita fabricação em tempo real e a interação com parâmetros, propondo uma 'solução otimizada' para o suporte de designers que podem vir a criar e ampliar a elaboração de projetos em máquinas como a proposta (Figura 18).

Porém mais importante é que esse processo paramétrico de decodificação, desenho e geração, pode ser utilizado com qualquer outro processo mecânico para desenvolver métodos inovadores de fabricação em arquitetura.

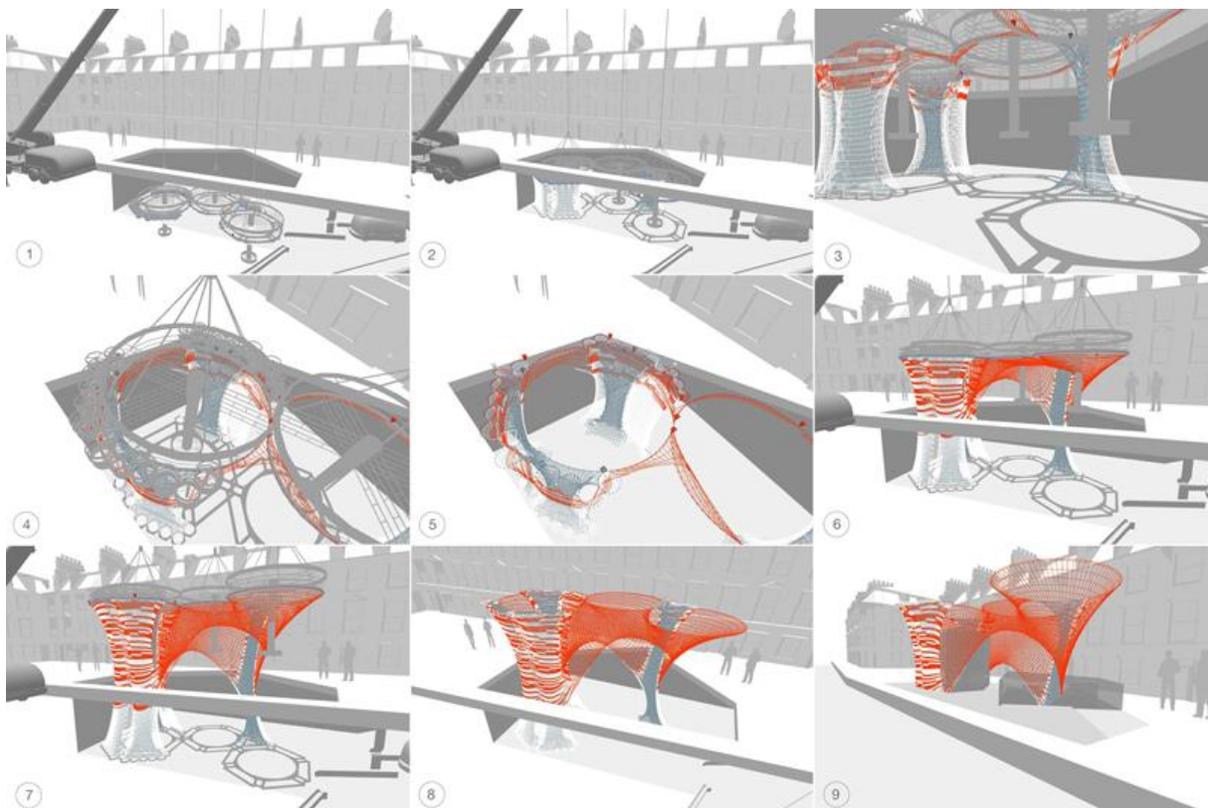


Figura 18. Implantação Local do Processo Utilizando a Técnica de Construção de Malhas.

References

ALFARIS, A.; MERELLO, R. The generative multi performance design system. **ACADIA**, p. 449-455, 2008.

BAURMANN, G. **Crocheting algorithms**. 2010. Disponível em: <http://aap.cornell.edu/events/upload/baurmann_abstract.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2011.

CHISOM, M. **The Jacquard loom**: its history, development & relationship to computers. 2011. Disponível em: <http://gernot.xarch.at/weave/article_about_jacquard.html>. Acesso em: 24 fev. 2011.

FREY; REAS. **Processing software**. [n.d.] Disponível em: <www.processing.org>. Acesso em: 10 fev. 2010.

MALÉ-ALEMANY, M. **Machinic control**: studio brief 2009-10. Design research lab, volume 13 (Proto Design). England: Architectural Association, 2009.

Manini, B. 1993. 'Knitting Machine for Producing Tights', United States Patent, Number 5,226,297.

RUTTEN, D. **Evolutionary principles applied to problem solving**. 2010. Disponível em: <<http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles>>. Acesso em: 21 set. 2010.

SCHMIDT, K. **Toxi libraries for processing**. [n.d.] Disponível em: <www.toxiclibs.org>. Acesso em: 6 out. 2010.

SEMPER, G. **The four elements of architecture and other writings**. England: Cambridge University Press, 1989.