



## Desenvolvendo uma superfície programável, expressiva e autônoma

*Developing an Expressive Independent Shape-changing Surface*

BODANZKY, Alice; MSc; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
[alicebodanzky@gmail.com](mailto:alicebodanzky@gmail.com)

### Resumo

Avanços na ciência de materiais e engenharia vem permitindo a ubiquidade da computação. Em breve computadores serão projetados para assumir qualquer forma física, alterando radicalmente a maneira como nós interagimos com nosso meio material. Para explorar esses desenvolvimentos de forma significativa, devemos primeiramente entender as propriedades e capacidades de materiais com computação embutida. Esta pesquisa levou a uma proposta de superfície programável, que muda de forma e se movimenta de maneira controlada, e a investigações sobre suas qualidades expressivas. Tem como foco de interesse a capacidade da superfície de se locomover no espaço de acordo com variações programadas em seus padrões de textura e topologia.

**Palavras Chave:** superfície programável; compósito computacional; materiais inteligentes.

### Abstract

*Advances in material science and engineering are allowing computation to be embedded everywhere. Computers will soon be designed to take any shape, thus radically changing how we interact with our material environment. To explore these developments in a meaningful way, we must first understand the properties and capacities of computationally enabled materials. This research has led to a proposal for an actuated shape-changing surface and investigations into its expressive qualities. It focuses on the surface's ability to move in space following programmed variations in terms of texture and topology patterns.*

**Keywords:** *shape-changing surface; computational composites; smart material.*

### Introdução

Os avanços na ciência de materiais e engenharia estão progressivamente possibilitando embutir computação em todo ambiente. Materiais inteligentes e compósitos computacionais mudaram nossa visão sobre o que a computação ubíqua pode significar. Eles fundiram as fronteiras entre material, forma, função e computação, ajudando assim a eliminar a divisão físico/virtual. Em um futuro próximo computadores serão capazes de adquirir qualquer forma (HOLMAN; VERTEGAAL, 2008). Inversamente, a matéria terá suas propriedades alteradas de maneira controlada (GOLDSTEIN; CAMPBELL; MOWRY, 2005). Tais desenvolvimentos não apenas modificam a forma como as pessoas interagem com computadores e com ambiente (VERTEGAAL; POUPYREV, 2008), mas ainda transformam completamente a



maneira com que o mundo material pode ser projetado (BUECHLEY; COELHO, 2010; COELHO, 2007).

Em decorrência disso, as pesquisas em campos como arquitetura, design de produtos, moda, informática e interação homem-computador estão rapidamente convergindo em torno do tema materiais inteligentes. Com o intuito de incorporar a maleabilidade do universo digital no mundo físico, pesquisadores desses campos têm procurado projetar displays cinéticos tridimensionais. A visão de Sutherland do *Ultimate Display* em 1965 abriu caminho para o desenvolvimento dos assim chamados displays de forma (SUTHERLAND, 1965). Um exemplo recente é *Lumen*, um display de forma atuado que mostra informações e imagens visuais por meio do movimento vertical programado de hastes combinado ao controle de LEDs embutidos nas mesmas (POUPYREV; NASHIDA; OKABE, 2007). Outro projeto na mesma linha é a *Aegis Hyposurface*, uma estrutura de escala arquitetônica feita de placas metálicas interconectadas, que são movimentadas por pistões pneumáticos, formando um display tridimensional (“Aegis Hyposurface”, 2012).

Embora esses projetos utilizem transformações físicas como meio para exibir informação, seu potencial como displays tridimensionais é ainda limitado pelo fato de seus sistemas de atuação não estarem embutidos na própria superfície. Em ambos os casos o hardware fica anexado e não verdadeiramente integrado à superfície impossibilitando, por exemplo, que ela seja envolvida em torno de outros objetos. O projeto *Surflex* aborda esse problema combinando espuma à liga com memória de forma (SMA - *shape memory alloy*) com o objetivo de criar uma superfície flexível que seja fisicamente deformável de maneira controlada (COELHO; ISHII; MAES, 2008). *ShapeShift* trabalha a mesma questão em escala arquitetônica ao embutir polímeros eletroativos nas camadas que compõem a superfície de modo a criar um display tridimensional deformável (“ShapeShift”, [s.d.]). Esses projetos são parte de um número crescente de trabalhos que exploram os princípios de superfícies computacionais capazes de mudar de forma de maneira autônoma. Além disso, eles contribuem para a idéia de que através da programação cinética, não mais "a forma segue a função, mas a forma torna-se a função" (PARKES; POUPYREV; ISHII, 2008)(tradução da autora).

No entanto, apesar do progresso recente do campo, a exploração do potencial dos chamados materiais computacionais permanece incipiente. Para que o horizonte de aplicações destes materiais no cotidiano das pessoas seja ampliado é necessário que designers investiguem teórica e praticamente não apenas suas propriedades, mas principalmente suas capacidades. Apenas quando questões como expressividade, estética e *affordances* forem também abordadas, os materiais computacionais serão verdadeiramente apropriados pelo universo do design (VALLGÅRDA; REDSTRÖM, 2007). Segundo Vallgård, ao explorar a poética e a estética expressiva desafiadora desses materiais novas funcionalidades podem ser reveladas (VALLGÅRDA, 2007). A autora ressalta ainda que o foco da investigação deve ser nos materiais em si e não somente em suas aplicações práticas.

Nesta pesquisa foi desenvolvida uma superfície programável que combina materiais com efeito, passivo e ativo, de memória de forma para explorar as qualidades performáticas e expressivas de materiais com computação embutida. Em consonância com a metodologia de Pesquisa através do design (RtD - *Research through Design*) a próxima seção descreve em etapas sucessivas o processo de desenvolvimento que conduz à construção de um protótipo funcional dessa superfície, cuja forma é programável. Especial atenção é dada às escolhas progressivamente feitas sobre as questões inter-relacionadas de materiais, forma, tecnologia e maneiras de explorar o potencial da superfície, pois acredita-se que eles tenham tido um



impacto significativo na qualidade resultante expressada pelo protótipo final. O artigo conclui com a discussão dos resultados deste projeto e com apontamentos sobre as possibilidades para futuros desenvolvimentos.

### **Desenvolvendo uma Superfície Programável que Muda de Forma**

A discussão apresentada acima motivou o desenvolvimento de um material computacional – mais especificamente, de uma superfície com computação embutida que permite que a mesma mude de forma de maneira programada. Adotando a abordagem de Pesquisa através do Design (RtD), o desafio consistiu em criar uma superfície autônoma atuando integrando material, tecnologia e forma como fatores determinantes da expressão e funcionalidade da mesma. O objetivo foi explorar as qualidades expressivas da computação utilizando a superfície projetada como meio, contribuindo assim para o projeto de futuras interfaces cinéticas e displays tridimensionais. Em resumo, esta pesquisa investiga, do ponto de vista do projeto, o potencial da tecnologia computacional em relação a outros materiais.

### **Combinando Materiais**

O ponto de partida do processo de desenvolvimento da superfície foi a seleção dos materiais adequados e o estudo de suas propriedades. A tecnologia de liga com memória de forma (SMA) foi escolhida como atuador para a superfície. Também conhecido como músculo artificial ou eletrônico, SMA é uma liga que retorna à sua forma forjada quando aquecida acima de uma determinada temperatura. Em seu estado quente, chamado de fase austenítica, o fio muscular artificial torna-se rígido e contrai entre 3-5% de seu comprimento total. Quando esfriado, denominada de fase martensítica, o fio torna-se facilmente deformável, mas permanece na sua forma memorizada, até que alguma carga seja aplicada. Além de sua conveniente propriedade de contração, a liga com memória de forma foi escolhida devido ao seu leve peso, à sua presença transparente, à sua operação silenciosa e à sua expressão orgânica. Qualidades consideradas pertinentes pelo autor ao contexto de construção do compósito computacional desejado. O plástico (PVC) foi selecionado como o outro material que compõe a superfície. Suas propriedades, tais como flexibilidade e reversibilidade (a menos que seja dobrado), satisfazem os requisitos necessários para se atingir a mudança de forma almejada.

A computação foi a escolha natural para controlar o sistema material. No entanto, porque ela se estende além da percepção humana, entender a computação como material pode parecer um conceito um tanto abstrato. Löwgren e Stolterman (2007) chegam a afirmar que a tecnologia digital é o "material sem qualidades". No entanto, Vallgård e Sokoler (2010) contestam esta afirmação, argumentando que se computadores são capazes de afetar fisicamente o mundo, a computação em si necessariamente tem suas próprias especificidades materiais. De acordo com esses autores, os materiais computacionais têm quatro propriedades enumeradas abaixo:

- (1) *Temporalidade*: a expressão física da temporalidade do computador é a mudança;
- (2) *Reversibilidade & acúmulo*: os computadores podem armazenar e acionar estados anteriores adicionando (ou não) mudanças graduais a eles;
- (3) *Causalidade computada*: a capacidade do computador de computar baseado em entrada de



dados e de tornar o resultado disponível através de uma saída de dados permite determinar qualquer relação de causa-e-efeito desejada;

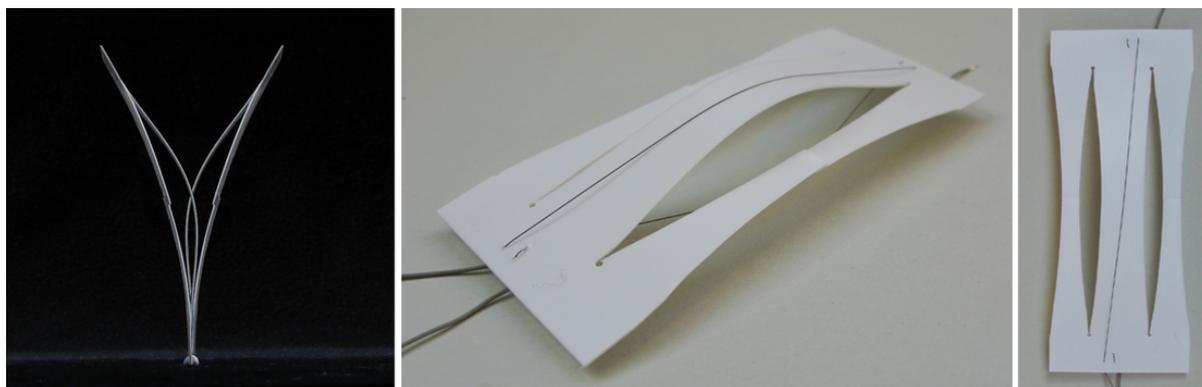
(4) *Conectividade*: a capacidade do computador de se conectar e comunicar.

Com exceção da última propriedade, conectividade, pode-se afirmar que todas as outras são relevantes no contexto deste projeto. A questão norteadora, portanto, se delinea na seguinte pergunta: como as propriedades físicas e digitais podem ser verdadeiramente integradas – fundidas- em um superfície programável capaz de mudar de forma? De acordo com Robles e Wikberg (2010), a resposta parece estar na organização destas relações com base em suas semelhanças e não em suas diferenças. Sob esta ótica, nota-se que todos os materiais selecionados compartilham um atributo essencial: a memória. Isto é, todos eles apresentam a capacidade de sofrer uma determinada mudança e de retornar ao seu estado anterior, memorizado. Esse conceito-chave orientou não apenas a escolha dos materiais, mas também todo o projeto da superfície programável desenvolvida.

## Encontrando a Forma

A fim de trabalhar com a maleabilidade da computação e permitir mudanças de forma programáveis, a superfície foi criada como uma matriz de pequenos elementos plásticos. Diferentemente de displays tradicionais, nos quais os pixels têm apenas duas dimensões, cada elemento desta superfície consiste em unidade tridimensional contendo altura e curvatura específicas ao longo de um único eixo. Como pode ser visto na Figura 1, a forma de cada unidade funciona ao mesmo tempo como um elemento estrutural e como uma membrana. Mais interessante de ser observado, contudo, é que a forma foi projetada em consonância com a propriedade em comum dos materiais, a memória. A performance do elemento é limitada pela sua própria forma, permitindo dois estados possíveis, convexo ou côncavo. Esses são mutuamente exclusivos, o que significa que um elemento nunca pode estar em ambos os estados ao mesmo tempo.

Figura 1 – Um elemento em seus dois estados. Detalhe de como o SMA foi integrado ao elemento.



Fonte: autora

Embora, em teoria, o design do elemento possa ser considerado pronto cedo no processo de desenvolvimento, isto é, material, forma e função foram conceitualmente integrados, na prática um longo período de aperfeiçoamento foi necessário para tornar o elemento totalmente



funcional. O processo de desenvolvimento teve uma abordagem “mão na massa” intensiva, envolvendo muitos ciclos de prototipagem e testes, e gerando mais de cem alternativas intermediárias. O desafio consistiu em achar o equilíbrio adequado entre a espessura do material, as proporções da forma, a escala do protótipo e o método de integrar o SMA à superfície de modo que o conjunto funcionasse. Como essas características eram interdependentes ao aumentar, por exemplo, a escala ou proporções de uma unidade acima de determinados limites, o material plástico tornava-se muito pesado para ser forçado pelo SMA a mudar de forma. Além disso, dependendo de onde e como o músculo eletrônico fosse fixado ao plástico, quando aquecido ele continuava a dobrar a superfície ao invés de forçá-la a mudar de estado (côncavo/convexo). Várias soluções foram encontradas que permitiam movimentar a forma do elemento em uma única direção. No entanto, o movimento inverso era bloqueado em quase todas as tentativas pelo SMA que fora previamente aquecido.

A solução final do trabalho baseia-se no cruzamento diagonal de um músculo artificial em cada lado da superfície, conforme ilustrado no Figura 1, totalizando duas ligas com memória de forma por elemento. Os pontos de fixação da mesma são cuidadosamente definidos no elemento, cujas dimensões e proporções são também precisamente determinadas. Este princípio de projeto utiliza dois controles por elemento, um para forçar a superfície a curvar-se para cima e outro para baixo.

### **Criando a Superfície**

O próximo passo do projeto consistiu em multiplicar o elemento de modo a construir uma matriz para formar a superfície. Desde o início ficou claro que havia muitas maneiras de compor a superfície, e cada uma delas afetava o comportamento do sistema. Por isso, foi necessário realizar um novo ciclo de prototipagem iterativa com o objetivo de estudar os possíveis padrões de proliferação dos elementos e as suas respectivas implicações em termos de desempenho da superfície. Inicialmente, quatro alternativas foram desenvolvidas e analisadas como descrito a seguir (Figura 2):

(1) *Padrão entrelaçado*: estrutura firme e estética contínua agradável. A curvatura geral, entretanto, mostrou-se extremamente sutil em função da competição entre os eixos de curvatura dos elementos horizontais e verticais. Além disso, este padrão é trabalhoso para ser montado, pois utiliza uma grande quantidade de elementos para cobrir uma área relativamente pequena.

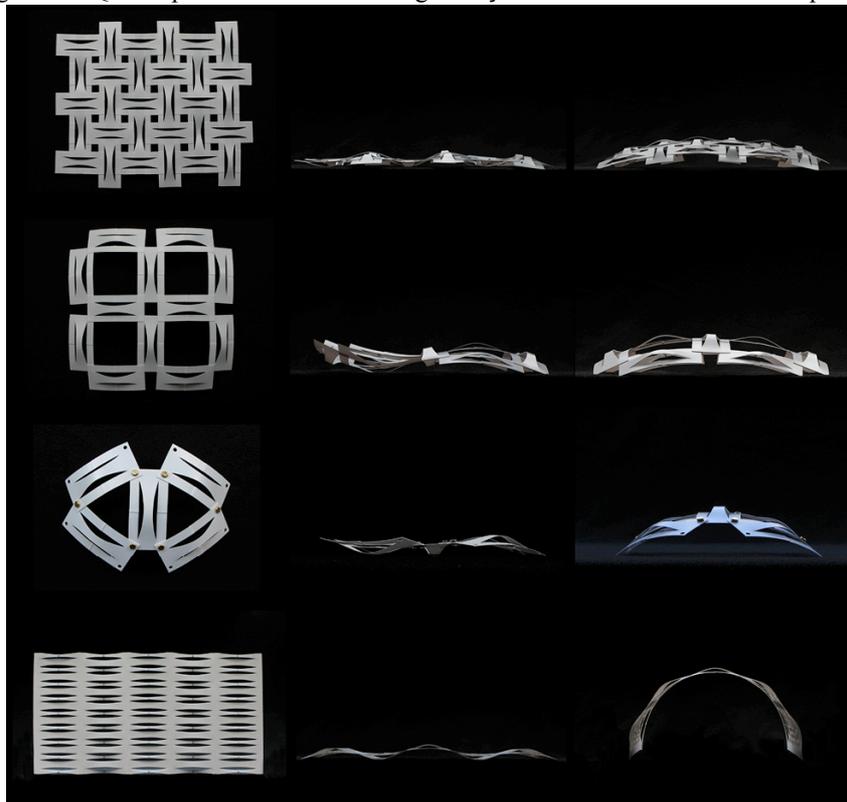
(2) *Padrão quadrado*: estrutura forte e leve, assim como o uso de poucos elementos por área poderiam ser citados como aspectos positivos dessa opção. Contra essa alternativa, no entanto, pesa o fato de a curvatura geral ser bastante pequena devido à curvatura concorrente entre os eixos dos elementos fixados na horizontal e vertical.

(3) *Padrão triangular*: esta alternativa proporciona grande liberdade formal, pois permite a construção de diversos padrões geométricos, tais como hexagonais, triangulares entre outros. Tem uma estrutura forte, leve e apresenta uma boa curvatura geral. O aspecto negativo consiste no fato do padrão tender a fechar muito rapidamente em uma forma sólida, tornando-o inadequado para a construção de superfícies planas.



(4) *Padrão linear*: apresenta uma estética contínua agradável, boa curvatura, e permite uma vasta exploração da performance. A estrutura fraca, a quantidade de componentes necessários por área e a curvatura ocorrendo em uma única direção contam como aspectos negativos.

Figura 2 – Quatro padrões distintos de organização dos elementos em uma superfície



Fonte: autora

Após a análise das alternativas descritas acima, o padrão linear foi escolhido para continuar sendo desenvolvido devido, principalmente, às inúmeras possibilidades de exploração em termos de performance que essa configuração oferece. Além dos outros aspectos positivos acima citados, sua montagem é mais simples se comparada às alternativas uma vez que envolve apenas colar a parte em que as peças se sobrepõem. Todos os outros requeriam ainda fixar um elemento no outro, o que interferiria na auto-organização característica da superfície podendo causar ruído na versão atuada da mesma.

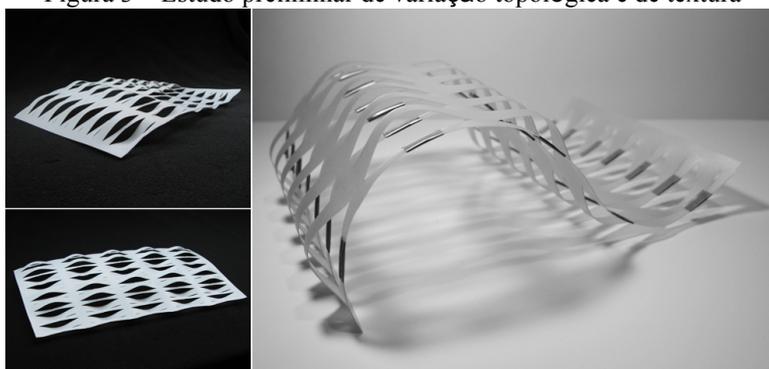
Mais uma vez, o processo de desenvolvimento continuou com intensos ciclos iterativos de prototipagem. Nesta etapa procurou-se solucionar a fraqueza identificada na estrutura e objetivou-se reduzir a quantidade de elementos utilizados no protótipo final, uma vez que a construção de cada unidade atuada é extremamente trabalhosa. Apesar dos inúmeros testes, as alternativas geradas mostraram-se ainda mais fracas em termos de estrutura ou arriscadas, pois provavelmente criariam problemas ao bom funcionamento do protótipo atuado. Por esta razão, o padrão linear permaneceu como a solução para o desenvolvimento do protótipo final da superfície programável que muda de forma.

O próximo passo consistiu em uma investigação mais detalhada das possibilidades de desempenho da superfície projetada. Conforme observado na Figura 3, uma mudança significativa na topologia e na textura pode ser atingida através da manipulação programada



dos elementos. Essas primeiras explorações já revelaram que, apesar da simplicidade conceitual e formal do elemento, a complexidade surge a partir da influência das mudanças individuais na configuração global da superfície, assim como no comportamento coletivo dos elementos.

Figura 3 – Estudo preliminar de variação topológica e de textura



Fonte: autora

### Construindo o protótipo atuado

Assim como nas outras partes do projeto, o desenvolvimento e a exploração das versões atuadas do protótipo aconteceram em etapas de crescente complexidade. Primeiramente, foi construída uma pequena superfície composta por 9 elementos distribuídos em uma matriz 3x3 (Figura 4). Esta foi considerada a configuração mínima para se constituir uma superfície e realizar uma investigação preliminar de suas qualidades expressivas. Nesta etapa o principal desafio foi a implementação eletrônica e a familiarização com o maneira com que a computação se manifestava fisicamente na forma da superfície projetada.

Conforme descrito anteriormente, o mecanismo usado na superfície é baseado na atuação eletronicamente controlada de dois fios de SMA por elemento. Um fio de SMA força a superfície com a qual ele está diretamente em contato a se movimentar para cima e o outro a empurra para baixo. A temperatura de cada fio do músculo artificial é regulada através de PWM. Convenientemente, esta forma de controle permite ainda a calibração individual de cada um dos dois fios para compensar pequenas diferenças de resistência entre eles. A espessura do SMA usado, 0.15mm de diâmetro, requer uma corrente máxima de 0,4A por fio. Caso contrário, a liga é superaquecida, perdendo suas propriedades. Apesar de o protótipo ter 18 controles no total, apenas 9 no máximo podem ser ativados simultaneamente, pois as duas posições possíveis para cada elemento são mutuamente exclusivas. Conseqüentemente, são requeridos 3.6A a 5V quando todos os elementos são ativados ao mesmo tempo. A quantidade significativa de energia consumida é um ponto a ser considerado quando a resolução da superfície for aumentada.

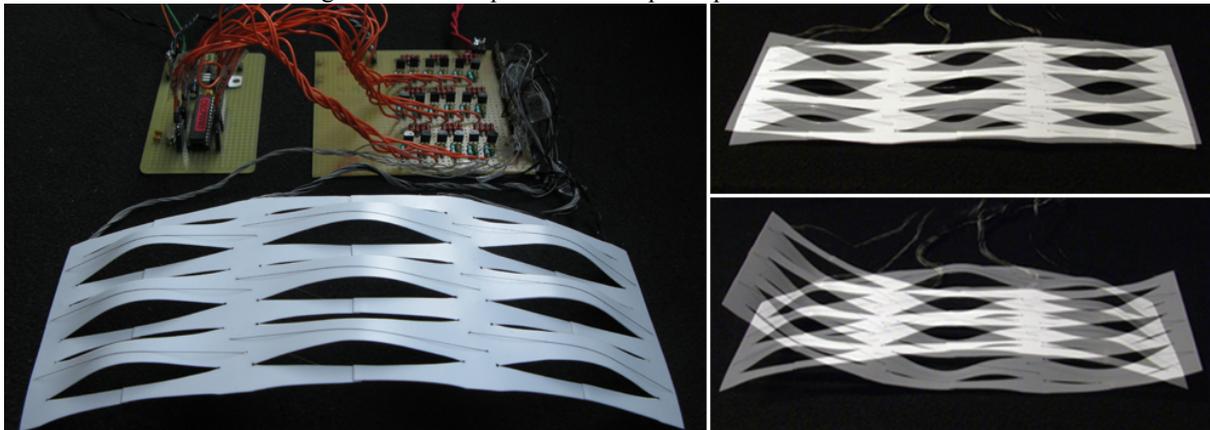
Os fios que conduzem a corrente elétrica para os músculos artificiais é uma outra questão relevante à construção do protótipo. Eles foram organizados de maneira a ficarem todos de um lado da superfície, deixando o outro lado completamente livre. O peso deles, no entanto afeta a curvatura da superfície, especialmente quando as bordas da mesma não estão fixadas. Um último problema técnico a ser mencionado é o tempo que os músculos artificiais levam para retornar a sua forma memorizada. Dois fatores determinam essa duração: temperatura e estresse. Sem a influência de qualquer estresse, um segundo é necessário para aquecer a liga e cerca de dois segundos são precisos para esfriá-la. Os níveis de estresse que



cada elemento da superfície sofre varia de acordo com o estado particular em que ele se encontra e também que seus vizinhos estão. Esta variação tem um impacto significativo na performance geral da superfície programável.

O software Max / MSP (“Cycling ’74”, [s.d.]) foi utilizado para programar e controlar as alterações de forma. Uma série de três tipos diferentes de testes foram realizados para observar a performance da superfície ao longo do tempo. O primeiro tipo explorou como o desempenho de um único elemento afeta a forma da superfície como um todo. Este teste foi executado no elemento central da matriz 3x3, pois é a única unidade cercada por elementos vizinhos em todos os lados. Diferentes cenários foram considerados: quando os limites de superfície estão fixos; quando estão soltos; e quando o estado dos elementos circundantes é alterado. Os resultados mostraram que as mudanças no estado de uma única unidade sempre afetam às superfícies individuais de seus vizinhos. A maior deformação ou deslocamento da curvatura geral da superfície ocorreu quando todos os elementos estavam no mesmo estado e o do centro foi movido na direção oposta para o outro estado.

Figura 4 – Protótipo atuado composto por uma matriz 3x3



Fonte: autora

O segundo aspecto testado foi verificar se as alterações em termos de textura eram perceptíveis mesmo quando a topologia geral permanecia constante. Neste experimento, a superfície foi mantida em uma posição plana através do uso de padrões alternados de ativação. Em outras palavras, se um elemento estivesse em estado A, seus quatro vizinhos diretos estariam no estado B, enquanto os seus vizinhos diagonais estariam, novamente, no estado A. Quando ativados, os elementos mudavam de estado, mas essa relação era sempre mantida. A mesma lógica foi aplicada, mas dessa vez alternando as linhas e, depois, as colunas. O último caso apresentou algumas variações de topologia devido ao tamanho reduzido da superfície. Em geral, no entanto, este método era capaz de manter a topologia geral da superfície plana, permitindo que a atenção se concentrasse apenas nas alterações de textura. Explorando predominantemente a propriedade de reversibilidade do sistema material desenvolvido, foi possível constatar que as mudanças na textura são sutis quando a superfície é vista de topo, mas tornam-se significativas quando a superfície é observada em perspectiva. Alternando os estados dos elementos, o espaço negativo dos mesmos desloca organicamente de posição. Esta variação da porosidade da superfície mostrou-se surpreendentemente eficaz e expressiva.



A última qualidade expressiva descoberta nesta versão do protótipo funcional foram as nuances de forma causadas pelas transformações topológicas. Nesta etapa de testes, um estado inicial e um final foram determinados para a curvatura geral da superfície: côncavo para o início e convexo para o fim. Em seguida, diferentes maneiras de fazer a transição entre completamente curvado para baixo até totalmente curvado para cima foram investigadas através da manipulação controlada dos elementos. O exploração sistemática das transições aconteceu da seguinte forma: em uma etapa, lançando diretamente todos os elementos de um estado para o outro; em três etapas, ativando colunas inteiras em sequência, três elementos de cada vez; e em nove passos, ativando um elemento após o outro em ordem sequencial. Ao manipular propriedades como temporalidade, reversibilidade e acúmulo, várias mudanças de forma da superfície foram criadas, resultando em diferentes formas de expressão. Por exemplo, modificando o tempo em que um elemento foi revertido para o outro estado, o efeito de visualização da trajetória foi criado. Portanto, as transições graduais possibilitadas pela superfície poderiam ser eventualmente utilizadas como narrativas formais. Após analisar este último experimento ficou claro que em uma superfície maior mais de um elemento deve ser acionado ao mesmo tempo para que as alterações topológicas sejam visíveis.

As explorações com a matriz 3x3 revelaram um potencial expressivo inegável para a superfície desenvolvida. A flexibilidade do plástico combinada à lentidão e ao silêncio com que o SMA opera resultou em uma performance orgânica e agradável. Além disso foi possível observar as diferenças de caráter expressivo que poderiam ser criadas através de manipulações programadas dos elementos. No entanto, o pequeno tamanho da matriz limitou o alcance dessas investigações e, por isso, um protótipo maior foi desenvolvido, conforme descrito a seguir.

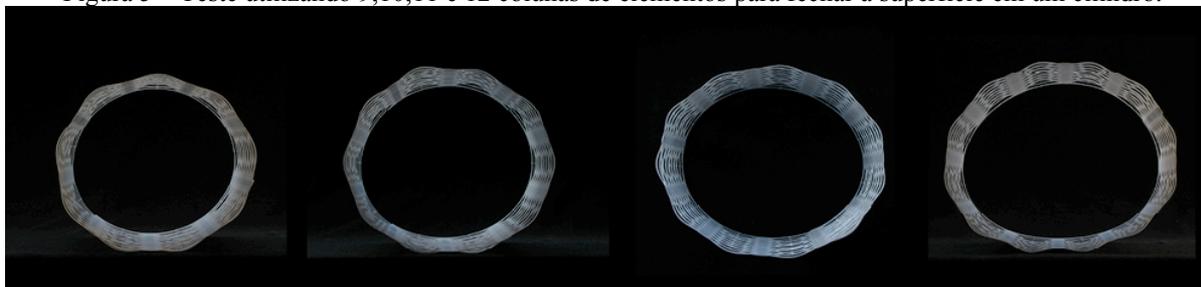
### **Da superfície plana ao objeto cilíndrico**

A fim de determinar o tamanho adequado do protótipo funcional final, foi necessário antecipar como prosseguir nas investigações de sua performatividade. Novamente aqui, a manipulação de protótipos estáticos provou ser uma abordagem rápida e útil para a realização da tarefa. Essa etapa revelou uma direção inusitada e promissora na qual a pesquisa do expressividade do sistema material desenvolvido poderia seguir: deslocamento autônomo no espaço. Porque a superfície é física, isto é, ela tem massa e peso, seu equilíbrio pode ser alterado quando os elementos são ativados por linhas. Além da deformação na forma global da superfície provocada por esse processo, quando o estado de uma linha inteira de elementos é invertido, um deslocamento da superfície no espaço pode ser observado. Devido à forma de colina dos elementos enfileirados, não foi difícil de imaginar que essa mudança de posição poderia ser programada para ocorrer em uma direção específica. Por se tratar de um modo não convencional de explorar a expressividade de materiais computacionais, as qualidades de movimento da superfície atuada foram selecionadas como objeto de estudo do protótipo final.

Considerando que este projeto explora as qualidades e expressão de sistemas materiais e não as suas funcionalidades, como ocorre no desenvolvimento de "aplicações práticas" de tais sistemas (REDSTRÖM, 2005), decidiu-se que o mais adequado seria escolher uma forma abstrata geométrica para o protótipo final. Baseado nos testes manipulação manual mencionados acima, optou-se por fechar a superfície em uma forma cilíndrica uma vez que o formato circular facilitaria explorações de movimento. Assim sendo, passou-se a adotar a forma cilíndrica a partir desta fase no processo de desenvolvimento. Um aspecto que colabora para esta decisão, é que própria curvatura da superfície, se estendida, sugere a forma de uma roda, e o movimento de rolamento segue como um desdobramento óbvio desta aparência.



Figura 5 – Teste utilizando 9,10,11 e 12 colunas de elementos para fechar a superfície em um cilindro.



Fonte: autora

O modo como a expressividade da superfície seria investigado estava claro neste momento, no entanto a resolução da matriz do protótipo final permanecia uma questão a ser decidida. Como a construção de cada elemento atuado requer um extenso e demorado trabalho manual, fazia-se necessário achar uma solução que utilizasse um número mínimo de elementos, mas que conseguisse preservar a curvatura de cada unidade e o bom funcionamento dos músculos artificiais integrados à superfície.

A Figura 5 exhibe os testes realizados em um modelos estáticos usando 9, 10, 11 e 12 colunas para fechar a superfície em um cilindro. Esta experiência ajudou não apenas a compreender as deformações e o estresse causados pela carga do próprio material, mas também permitiu ter uma noção do potencial expressivo de cada uma dessas configurações. A alternativa com 12 colunas era sem dúvida a mais rica em termos de qualidades expressivas. Ela também era capaz de manter corretamente a curvatura de cada elemento. Contudo, esta opção não se estruturava bem e próprio peso da superfície causava deformações na forma geral do cilindro na posição de repouso. A grande quantidade de elementos utilizados era outro aspecto negativo desta alternativa (Figura 6).

Figura 6 – Investigação das qualidades expressivas da superfície



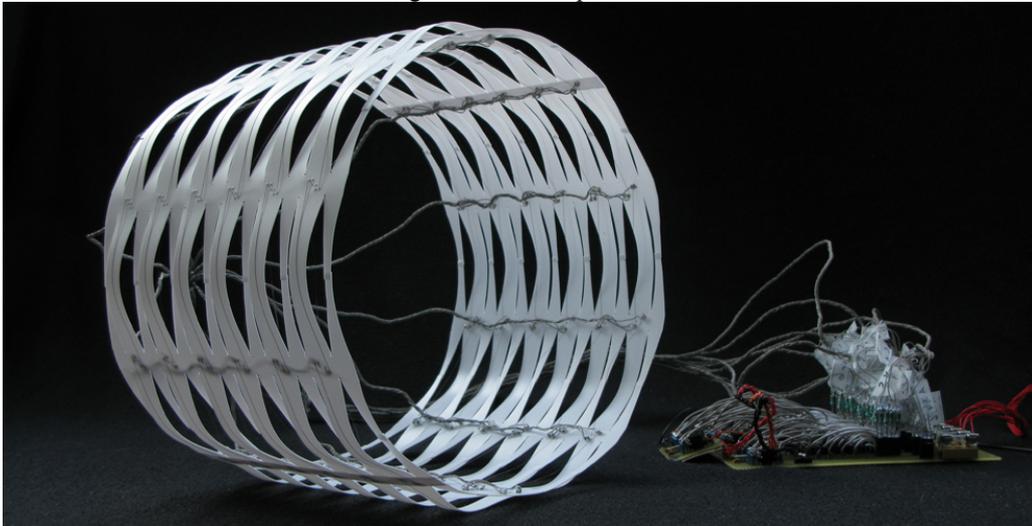
Fonte: autora

Após uma análise cuidadosa de todas as alternativas geradas, nenhuma mostrou-se ideal. Por um lado quanto menor era o número de colunas, menos elementos eram utilizados e mais estruturado o cilindro se tornava. Por outro lado, menos colunas significava um número menor de configurações de forma possíveis e representava ainda uma maior tensão nos SMA prejudicando seu bom funcionamento. Dito isso, a alternativa de 10 colunas foi selecionada como a mais adequada por ser considerada um meio termo entre as vantagens e desvantagens apresentadas. O número de linhas, por sua vez, foi decidido baseado-se no princípio de economia de elementos. Seis linhas parecia ser um número suficiente para manter o equilíbrio



da forma cilíndrica, ao mesmo tempo que permitia a exploração do seu comportamento expressivo. O protótipo final atuado foi construído, portanto, usando uma matriz de 10x6 (Figura 7).

Figura 7 – Protótipo final atuado



Fonte: autora

O conhecimento adquirido durante os testes intermediários possibilitou reduzir o número de controles necessários para a protótipo final. Em princípio, para controlar os elementos individualmente teria sido preciso um total de 120 controles (para mover cada unidade para cima e para baixo). Contudo, ficou evidente que as mudanças de forma podiam ser mais efetivamente percebidas quando vários elementos eram ativados ao mesmo tempo. A atuação em grupos de elementos também ajuda na força com que a superfície é deformada, o que é desejável quando o objetivo é movê-la no espaço. Por isso, foram implementados 60 controles ao todo no protótipo final. Cada coluna tem 3 controles, o que significa que dois elementos são sempre ativados simultaneamente. Esta decisão tem implicações relevantes na performance da superfície, pois ela corta a resolução da mesma pela metade.

### Explorando a expressividade

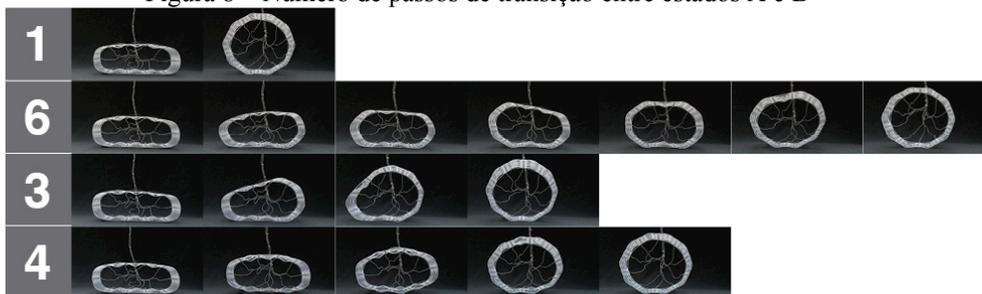
Experimentações com o cilindro atuado foram orientadas em duas direções principais: (1) maneiras pelas quais a topologia da forma global pode ser deformada e (2) diferenças na qualidade do movimento derivadas das manipulações programadas no padrão de textura e topologia da superfície. Com o objetivo de, inicialmente, obter uma noção geral do comportamento da superfície quando fechada na forma cilíndrica, experimentou-se ativar vários padrões aleatoriamente. A partir desta primeira experimentação com o cilindro, tornou-se evidente que o SMA exigia um tempo maior para virar o elemento na direção oposta se comparado ao teste feito anteriormente com a superfície aberta. Além disso, em certas posições os elementos adicionaram muita tensão ao músculo artificial tornando impossível recuperar a sua forma contraída. Isto significa que cada transformação de forma ocorreu em um ritmo mais lento em comparação com os testes na superfície aberta e que a sequência na qual os elementos são activados é determinante para a efetivação dos padrões de deformação.

Conforme foi previamente verificado nos testes com a superfície atuada de matriz 3x3, as diferenças na expressão podem ser alcançadas alterando a maneira como a topologia da superfície se modifica de uma forma para outra. Como ilustra a Figura 8, experimentos



semelhantes foram realizados com a forma cilíndrica, onde foram definidos um estado inicial A e um estado final B enquanto o número de passos de transição entre eles variou. Este teste mostrou que quanto mais rápida a transição ocorre, seja por reduzir o número de passos ou diminuir o tempo entre eles, mais inteligível é a intenção de transição do estado A para B. Aumentando o número de etapas intermediárias e, especialmente, aumentando o tempo necessário para que ocorra a mudança subsequente, o foco de atenção é facilmente disperso e os passos intermediários tendem a ser observados como estados novos em vez de passos transitórios de A para B.

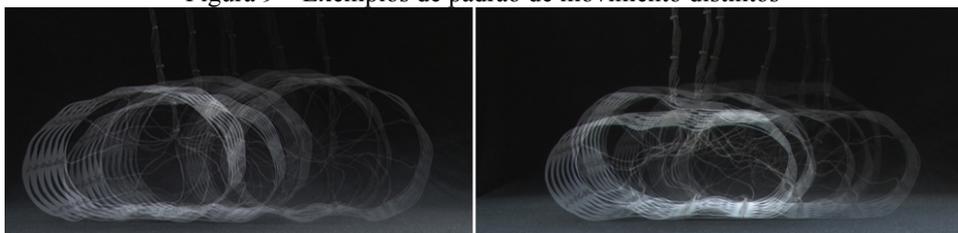
Figura 8 – Número de passos de transição entre estados A e B



Fonte: autora

A última série de explorações foi dedicada à qualidade do movimento (Figura 9). Ao manipular as linhas inferiores sequencialmente a superfície se deslocava no espaço em linha reta. Além disso, investigações em torno da ordem e do tempo, bem como do número de linhas ativadas, resultaram no surgimento de padrões de movimento distintos. A diferença mais significativa no estilo do movimento foi observada quando as linhas inferiores e superiores foram acionadas sequencial e simultaneamente. Este teste sugere que a combinação de padrões de deformação em seqüência abre grandes oportunidades para explorar as qualidades de movimento da superfície.

Figura 9 – Exemplos de padrão de movimento distintos



Fonte: autora

## Discussão

Como foi mencionado na introdução o surgimento de materiais computacionais desperta a imaginação de designers em campos como arquitetura, interação homem-computador, moda, entre outros. No entanto, as qualidades únicas e as potenciais aplicações destes materiais ainda precisam ser melhor estudadas e compreendidas. Esta pesquisa visa contribuir para essa discussão, investigando as qualidades expressivas de uma superfície programável capaz de mudar de forma, com especial atenção às questões de movimento.

O processo de desenvolvimento relatado acima está em grande parte alinhando com o apontamento feito por Vallgård de que a pesquisa deve se concentrar na dimensão material



da computação e nas possibilidades nela encontradas. Assim, como se viu anteriormente, a concepção do elemento, a sua combinação na forma de superfície aberta e mais tarde em um cilindro, bem como as explorações de movimento, todos esses pontos se articulam num intenso "diálogo" com os materiais em questão, quais sejam, o componente plástico, os músculos artificiais, cabos, etc. Esta interação entre o designer e os materiais não deve ser interpretada apenas como passos em direção a objetivos pré-concebidos para não limitar as possibilidades. Essa pesquisa demonstra que mesmo quando o objetivo foi explorar as qualidades expressivas do material computacional desenvolvido, a investigação se beneficiou enormemente ao permitir que fosse parcialmente direcionada pelas possibilidades oferecidas pelos próprios materiais. Em última instância, as soluções decorrentes dessa interação dependeram das contribuições feitas pelos materiais em si, que não poderiam ter sido previamente definidas. A ocasião em que isso ficou mais evidente foi a decisão de explorar as qualidades expressivas da superfície atuada através do movimento. Embora fosse possível, no início deste projeto, antecipar algumas dimensões da expressividade dessa superfície, a visão específica para explorar o movimento só pode surgir após um longo interrogatório dos protótipos intermediários. Uma vez que essa potencialidade foi observada nos materiais, abriram-se novas oportunidades, tais como fechar a superfície em um cilindro, fazendo-o rolar, explorando diferentes maneiras de rolar, etc.

Nesse contexto, as limitações deste projeto se confundem com as restrições produtivas de qualquer pesquisa de projeto baseada na prática. Ainda assim, é possível identificar, na fase de desenvolvimento atual, algumas questões que se beneficiariam de uma maior atenção em futuras versões. Por exemplo, uma versão sem tantos cabos de fornecimento de energia seria útil para evitar a interferência dos mesmos no movimento da superfície. Além disso, a utilização de um material composto em camadas, em vez da lâmina de plástico, poderia permitir a fusão total do SMA com a superfície do elemento e potencialmente evitar o mau funcionamento do músculo artificial em certas posições. Desenvolvimentos ao longo destas linhas certamente contribuiriam para uma melhor exploração das qualidades expressivas de materiais computacionais em aplicações como esta superfície programável que muda de forma.

## **Conclusão**

Nesta pesquisa foi projetada uma superfície programável que muda de forma, e em seguida investigações preliminares de suas qualidades foram realizadas. Conforme descrito no artigo, o processo de desenvolvimento consistiu em muitos ciclos iterativos de prototipagem para permitir a integração bem-sucedida da forma, material e sistema de atuação. Possibilitou ainda compreender e explorar em profundidade as especificidades expressivas e cinéticas do material computacional desenvolvido, culminando na revelação de suas qualidades de movimento e deslocamento no espaço.

Embora os resultados deste estudo se destinem a ser extremamente específicos para este caso, algumas soluções podem ser abstraídas e generalizadas ganhando relevância em um contexto mais amplo. Ao se trabalhar com atuação autônoma de forma física, projetar uma forma que apresenta estados memorizados provou ser uma escolha relevante porque aproxima a linguagem material da computacional. Sua fisicalidade, entretanto, não deve ser ignorada e as deformações transitórias entre estados devem sempre ser levadas em consideração.

Finalmente, a exploração do potencial expressivo da superfície não deve ser limitada a uma forma cilíndrica. Uma extensa investigação de diferentes formas alternativas globais,



bem como a personalização de elementos individuais poderiam revelar novas qualidades cinéticas e movimento.

Esta pesquisa mostrou como a integração dos materiais envolvidos, o projeto das restrições, a definição dos limites e, finalmente, o design da forma podem desempenhar um papel crucial na expressão da mudança de forma de superfícies programáveis. E, certamente, são elementos decisivos de seu caráter autônomo.

## Referências

**Aegis Hyposurface.** MARK BURRY, 20 jan. 2012. Disponível em: <<https://mcburry.net/aegis-hyposurface/>>. Acesso em: 6 maio. 2017

BUECHLEY, L.; COELHO, M. Special issue on material computing. **Personal and Ubiquitous Computing**, v. 15, n. 2, p. 113–114, 1 jul. 2010.

COELHO, M. **Programming the material world: a proposition for the application and design of transitive materials.** Ubicomp. **Anais...2007**

COELHO, M.; ISHII, H.; MAES, P. **Surflex: A Programmable Surface for the Design of Tangible Interfaces.** CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. **Anais...: CHI EA '08.**New York, NY, USA: ACM, 2008

**Cycling '74.** Disponível em: <<https://cycling74.com/>>. Acesso em: 6 maio. 2017.

GOLDSTEIN, S. C.; CAMPBELL, J. D.; MOWRY, T. C. Programmable matter. **Computer**, v. 38, n. 6, p. 99–101, maio 2005.

HOLMAN, D.; VERTEGAAL, R. Organic User Interfaces: Designing Computers in Any Way, Shape, or Form. **Commun. ACM**, v. 51, n. 6, p. 48–55, jun. 2008.

LÖWGREN, J.; STOLTERMAN, E. **Thoughtful Interaction Design: A Design Perspective on Information Technology.** [s.l.] The MIT Press, 2007.

PARKES, A.; POUPYREV, I.; ISHII, H. Designing Kinetic Interactions for Organic User Interfaces. **Commun. ACM**, v. 51, n. 6, p. 58–65, jun. 2008.

POUPYREV, I.; NASHIDA, T.; OKABE, M. **Actuation and Tangible User Interfaces: The Vaucanson Duck, Robots, and Shape Displays.** Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction. **Anais...: TEI '07.**New York, NY, USA: ACM, 2007

REDSTRÖM, J. On Technology as Material in Design. **Design Philosophy Papers**, v. 3, n. 2, p. 39–54, 1 jun. 2005.

ROBLES, E.; WIBERG, M. **Texturing the “Material Turn” in Interaction Design.** Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction. **Anais...: TEI '10.**New York, NY, USA: ACM, 2010



**ShapeShift.** , [s.d.]. Disponível em: <<http://caad-eap.blogspot.com/>>. Acesso em: 6 maio. 2017

SUTHERLAND, I. **The ultimate display.** . In: INFORMATION PROCESSING 1965: PROCEEDINGS OF THE IFIP CONGRESS 65.2. Washington, DC: Spartan Books, 1965

VALLGÅRDA, A. **Investigating the Aesthetic Potential of Computational Composites.** Transitive Materials: Workshop at UbiComp'07. **Anais...**2007

VALLGÅRDA, A.; REDSTRÖM, J. **Computational Composites.** Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. **Anais...**: CHI '07. New York, NY, USA: ACM, 2007

VALLGÅRDA, A.; SOKOLER, T. A Material Strategy: Exploring Material Properties of Computers. **International Journal of Design**, v. 4, n. 3, 2010.

VERTEGAAL, R.; POUPYREV, I. Introduction. **Commun. ACM**, v. 51, n. 6, p. 26–30, jun. 2008.