

NOVAS POSSIBILIDADES REACÇÃO NA ARQUITETURA.  
INTERACÇÃO  
INTELIGÊNCIA

RENATA ALEXANDRA SOUSA MOREIRA | TESE DE MESTRADO EM ARQUITETURA | FACULDADE DE ARQUITETURA DO PORTO



Agradecimentos.

Ao orientador, José Pedro Sousa, pelas conversas

À mãe e ao pai, Laura e Jorge, pelo apoio

Ao irmão, Jonas, pela distração

Aos primos, Andreia e Olívio, pelo tempo

À amiga, Carlota, pela companhia

Ao amigo, Robin, pela música

Obrigado.



## RESUMO

A concepção dos espaços tem mudado ao longo da história da arquitetura, adaptando-se sempre os níveis de conhecimento de cada período. Se agora não conseguimos pensar numa arquitetura do renascimento sem a descoberta da perspectiva, muito menos conseguimos entender os edifícios de Corbusier sem a revolução industrial e a invenção da máquina.

Da mesma forma, assistimos hoje a profundas alterações nos nossos modos de viver introduzidas pelas recentes descobertas da física sobre a mecânica quântica das partículas, pelas manipulações químicas das propriedades dos materiais ou pelo surgimento de novas tecnologias digitais como os microprocessadores, sensores e materiais sensíveis ao toque (touchscreens). Para além das profundas alterações que tem vindo a introduzir na metodologia processual da prática arquitetónica, o computador e o uso de ferramentas digitais de desenho aliadas aos novos modos de fabrico robótico, abrem uma nova etapa na arquitetura. Os processos de projetar e construir mudam, dando origem a novas ideias sobre 'espaços que apesar de ainda não estarem completamente materializados, começam a habitar o nosso imaginário e a ganhar forma', como refere Antonino Saggio<sup>1</sup>.

As realidades social, cultural, energética e acima de tudo ambiental estão em mudança. Neste sentido, esta tese procura discutir as possibilidades da arquitetura responder às diferentes realidades em que vivemos. Examina processos construtivos que sejam capazes de interagir com o homem e o ambiente em busca de uma melhor sustentabilidade e um prolongamento do seu tempo útil de existência. Mais, traça linhas orientadoras de novos caminhos, novos sistemas que conferem aos edifícios a capacidade de se alterarem fisicamente, através de mudanças de luminosidade, ventilação, armazenamento de energia ou através da reconfiguração dos espaços, numa busca para uma cultura arquitetónica mais inteligente e atenta às necessidades em mudança.

1. 'NOWADAYS, WE ARE CREATING AN IDEA OF SPACE THAT STILL DOES NOT YET EXIST COMPLETELY, BUT ONE THAT WE BEGAIN TO INTUIT AND BEGAIN TO SHAPE. (SAGGIO, 2003:241)



## ABSTRACT

The design process of the space has changed throughout history, reflecting the knowledge of each period. If we cannot imagine the renaissance architecture without the perspective's discovery, we can understand less the Corbusier's proposals without the Industrial Revolution or the invention of machine.

In the same way, our way of living and perceiving things is changing continuously, caused by the new physics' discovers about quantic particles, by chemical manipulations of materials' properties or by the new emerge of the digital technologies (microprocessors, sensors and touchscreens). More than introducing changes in the design methodologies, computer and the digital tools, when associated with the robotic fabrication, open a new stage in the architecture practice. The way we design and build has changed, new ideas and concepts emerge giving '*(...) an ideia of space that still does not yet exist completely (...)*' however it's 'one that we beguin to intuit and beguin to shape.'<sup>1</sup>

1. (SAGGIO, 2003:241)

Social, cultural, energetic and environmental realities are changing also. From this perspective, this goal of this work of investigation is to enquire into the role of architecture in this contemporary paradigm that we're living in. It exams the concepts of movement, adaptability, transformation, interaction and intelligence of the built space with its users and the surrounding environment in order to permit adequate responses to the variation of special and functional needs. New perspectives are showed, new systems which can give the ability of physical changes to the building, by changing illumination, ventilation, energy saving or by the space's reconfiguration. One search for a more intelligent architecture in order to bring a better sustainability and to prolong the building's life.



## RÉSUMÉ

La conception des espaces a changé au cours de l'histoire de l'architecture en s'adaptant aux niveaux de connaissance de chaque période. Si à présent, nous ne pouvons pas penser à une architecture de la Renaissance sans la découverte de la perspective, nous ne pouvons guère être en mesure de comprendre les bâtiments de Le Corbusier sans la révolution industrielle et l'invention de la machine.

De la même façon, nous assistons aujourd'hui à de profonds changements dans notre façon de vivre, apportés par les récentes découvertes dans le domaine de la physique sur la mécanique quantique des particules, par la manipulation chimique des propriétés des matériaux ou de l'émergence des nouvelles technologies numériques comme les micro-processeurs, senseurs et d'équipements sensibles au touché (touchscreens). En plus des profonds changements qui ont été apportés à la méthodologie procéduriel de la pratique architecturale, l'ordinateur et l'utilisation d'outils de conception numérique, combinés avec les nouveaux modes de fabrication robotisée, ouvrent une nouvelle ère de l'architecture. Les processus de conception et de construction changent, donnant naissance à des nouvelles idées sur les espaces que même si elles ne sont pas complètement matérialisées, commencent à habiter notre imagination et à prendre forme, comme nous dit Antonino Saggio<sup>1</sup>.

Les réalités énergétiques, socio-culturelles et surtout de l'environnementales sont entrain de changer. Dans ce sens, le but de cette thèse est de proposer une discussion autour du rôle de l'architecture dans les réponses aux différentes réalités dans lesquelles nous vivons. Elle examine le bâtiment capable d'interagir avec l'Homme, l'environnement tout en recherchant un meilleur développement durable ainsi que le prolongement de sa durée de vie. De plus, cette thèse trace des lignes directrices qui proposent de nouvelles orientations et des nouveaux systèmes qui donnent aux bâtiments la capacité de se changer physiquement, par des changements d'éclairage, de ventilation, de stockage d'énergie ou par la reconfiguration des espaces en recherchant une culture architecturale plus intelligente, attentive à l'évolution des besoins.

1. 'NOWADAYS, WE ARE CREATING AN IDEA OF SPACE THAT STILL DOES NOT YET EXIST COMPLETELY, BUT ONE THAT WE BEGIN TO INTUIT AND BEGIN TO SHAPE. (SAGGIO, 2003:241)



# SUMÁRIO

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUÇÃO   METODOLOGIA                                           | 11  |
| CAPÍTULO 1 CONTEXTUALIZAÇÃO                                        | 18  |
| 1.1 REALIDADES EM MUDANÇA                                          | 18  |
| 1.2 PORQUÊ INTELIGENTE?                                            | 26  |
| CAPÍTULO 2 NOVOS CONCEITOS. REAÇÃO, INTERAÇÃO E INTELIGÊNCIA.      | 30  |
| 2.1 ANALOGIA BIOLÓGICA – DO ORGÂNICO AO MECÂNICO                   | 31  |
| ORGANISMOS                                                         | 33  |
| TRANSFERÊNCIA DE CONCEITOS                                         | 41  |
| 2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA – DO ESTÁTICO AO DINÂMICO                   | 52  |
| EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ADAPTÁVEL                                  | 53  |
| TECNOLOGIA E INTELIGÊNCIA                                          | 55  |
| MECANISMOS MÓVEIS                                                  | 57  |
| O INÍCIO DA INTERATIVIDADE                                         | 58  |
| 2.3 SISTEMA CONSTRUTIVO – DA REAÇÃO À INTELIGÊNCIA                 | 63  |
| MOVIMENTO E CINÉTICA                                               | 63  |
| COMPORTAMENTO ESTRUTURAL                                           | 71  |
| COMPORTAMENTO MATERIAL                                             | 75  |
| MATERIAL, MATÉRIA E CRESCIMENTO                                    | 83  |
| COLABORAÇÃO ENTRE ARQUITETOS E ENGENHEIROS                         | 88  |
| CAPÍTULO 3 POSSIBILIDADES DE UMA NOVA ARQUITETURA. SISTEMAS.       | 91  |
| 3.1 PNEUMÁTICOS                                                    | 93  |
| MUSCLE . AEGIS HYPODURFACE . EDIFÍCIO MEDIA –TIC                   |     |
| 3.2 MECÂNICOS                                                      | 100 |
| FILAMENTOSA . ADAPTATIVE SHADING . OPEN COLUMNS . PAVILHÃO DA ÁGUA |     |
| 3.3 MAGNÉTICOS                                                     | 108 |
| MAGNETIC ARCHITECTURE . LIGHT BULB                                 |     |
| 3.4 QUÍMICOS                                                       | 112 |
| LINE ARRAY . HIGROSCOPE . VIDRO INTELIGENTE                        |     |
| 3.5 NATURAIS                                                       | 120 |
| WALKING SKELETON . FACHADA AEROPORTO BRISBANE                      |     |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS                                               | 129 |
| BIBLIOGRAFIA                                                       | 136 |
| FONTE DE IMAGENS                                                   | 141 |



## INTRODUÇÃO | METODOLOGIA

*'Porém o ensino não deve ser orientado à tecnologia mas sim a resolução de problemas de arquitectura, surgindo a tecnologia de forma natural como um recurso a usar na procura de soluções e tanto pode ser a mais tradicional como a mais sofisticada.'*<sup>5</sup>

5. JOSÉ DUARTE (2013: 37)

## OBJETO DE ESTUDO | MOTIVAÇÃO

Este trabalho procura examinar, no panorama atual, sistemas arquitetónicos inteligentes que possam dar resposta de uma forma eficaz às crescentes necessidades do Ser Humano e ao dinamismo do meio em que se insere. Sistemas que permitam que a arquitectura reaja, se adapte e transforme em função a estímulos externos, sejam eles de carácter humano ou ambiental.

As novas tecnologias são uma nova realidade na sociedade em que vivemos, e como tal, devem ser incorporadas na prática da nossa profissão. Como refere José Duarte acima, cabe-nos a nós, arquitetos, decidir de que forma elas podem participar ativamente nas práticas arquitetónicas contemporâneas. Evitar que as construções existam independentemente das novas tecnologias, como envólucros vazios que serão preenchidos e habitados, é o papel do arquiteto que mais que um desenhador de espaços, é antes de mais um coordenador de todas as áreas de saber que integram um projeto arquitetónico.

Desde os anos 60, altura em que a cibernética ganhava destaque, que a tecnologia não tem sido bem vista no campo da arquitetura. Desde então muitos dispositivos eletrónicos e digitais têm-se 'acopolado' não por desejo do arquiteto, mas quase como necessidade primária do cliente, como é o caso da domótica, dos sistemas de aquecimento ou do ar condicionado.

A minha motivação nesta investigação é perceber de que forma os avanços tecnológicos e os meios digitais podem ser integrados na arquitetura desde a sua fase de conceção, como algo que potencie a construção e a relação que esta mantém com o homem e a envolvente. Quando o arquiteto desenha um espaço novo, está sempre atento ao impacto que o novo projeto terá com a envolvente, seja construída ou natural. Da mesma forma, começa a ser importante que possa ter o mesmo nível de preocupação com a tecnologia,

2. (FORD, 2012:18)

para que esta possa ser integrada na arquitetura de uma forma mais 'simbiótica' e menos 'parasita'<sup>2</sup>, como relembra Spiller.

Um das vantagens mais importantes deste cruzar de informação é talvez revolver muitos problemas ambientais e ao nível da sustentabilidade. Pensar em edifícios que possam responder ativamente às alterações climáticas é um grande desafio. O projeto que me levou a despertar este interesse por suas estruturas físicas que reagem a estímulos externos, foi talvez o pavilhão da Água dos OMA Architects, na Coreia. Com base em estudos de vários tipos de vegetação, a equipa de arquitetos e engenheiros concebem um edifício que se comporta como se tivesse gúelras, que abrem e fecham mecanicamente.<sup>3</sup>

3. SERÁ ANALISADO NO CAPÍTULO 3, P. 109

A sustentabilidade e da eficiência é um tema cada vez mais importante na arquitetura que pode ser resolvido com a introdução de sistemas que têm a capacidade de ser mover, não de uma forma gratuita, mas antes de uma forma inteligente, como irá ser analisado.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho não é focar a pesquisa nas ferramentas de desenho em arquitetura, mas antes perceber, com as novas ferramentas digitais e a inteligência computacional embutida, o funcionamento de mecanismos físicos que contribuam para a criação de construções que interajam em contexto social, urbano ou ambiental.

4. A INTERATIVIDADE PODE SER DIVIDIDA EM TRÊS NÍVEIS, EM FÍSICA, REALIDADE|VIRTUAL, PROCESSO DE DESENHO, SEGUNDO ANTONINO SAGGIO, (SAGGIO:2003,237).

Outro tipo de interatividades<sup>4</sup>, que não estejam ligadas a sistemas arquitetónicos que contenham propriedades físicas reativas ou interativas e que do ponto de vista construtivo sejam materializáveis, não serão tidas em conta. Tais como a interatividade que ocorre ao nível processual ou ao nível de visualização *media*, uma vez que o estudo se focará ao nível da materialização deste novo conceito de interação física.

De igual modo pretende-se estabelecer desde já um esclarecimento sobre a distância conceitual que existe entre a interatividade e a domótica. Apesar de integrar todos os automatismos ligados à segurança, iluminação, ventilação, gestão de energia e comunicação, a domótica é um sistema independente da construção, nada tendo a ver com a arquitectura e os princípios de desenho do edifício. Ao contrário dos sistemas interativos, que serão aqui abordados, que integram o projeto desde a sua concepção inicial, sendo um elemento definidor e caracterizador do conceito. Não descurando contudo a possibilidade que as funções que a domótica tem possam ser integradas e pensadas desde essa fase inicial, participando ativamente na ideia de conjunto.

Assim, este trabalho tem como objetivos:

- Investigar as vantagens de novos conceitos reação, interação e inteligência,
- Perceber a importância dos mecanismos encontrados nos seres vivos e a sua possível aplicação na arquitetura,
- Fazer uma análise histórica da evolução desses novos conceitos,
- Estudar as possibilidades técnicas e tecnológicas disponíveis hoje que possibilitem esses novos conceitos,
- Analisar projetos que mostram ser possível o desenho de uma nova realidade arquitetónica.

## ORGANIZAÇÃO | ESTRUTURA

O trabalho de investigação é iniciado com a *Introdução*, onde explico os objetivos a que me proponho atingir, as motivações que me levaram a escolher este tema e o objeto de estudo deste trabalho. O corpo do trabalho está dividido em três capítulos:

1. *Contextualização;*
2. *Novos conceitos. Reação, Interação e Inteligência;*
3. *Possibilidades de uma nova Arquitetura. Sistemas.*

No primeiro capítulo analiso a realidade contemporânea em que vivemos, focando o estado sociocultural, tecnológico, energético e ambiental e justifico o título com a pergunta: *Porquê inteligente?*.

O segundo capítulo pretende esclarecer a definição dos três conceitos principais do trabalho (reação, interação e inteligência) sob três pontos de vista diferentes; analogia biológica – *do orgânico ao mecânico*–, evolução histórica – *do estático ao dinâmico* – e sistema construtivo – *da reação à inteligência*. O primeiro tema procura estabelecer uma relação entre os sistemas biológicos e a sua capacidade de adaptação às condições ambientais com a arquitetura, encarando-os como um modelo a seguir e a implementar nas nossas construções para que se possam tornar mais flexíveis e capazes de se adaptar às diferentes situações. O tema II recua na história para perceber como é que a procura de novas visões na arquitetura foi ganhando forma e o que teve na origem desses pensamentos. Quais as influências das outras áreas e que invenções tecnológicas permitiram chegar a este ponto de mudança de atitude. Percebendo a forma como o conceito de adaptabilidade, que surgiu no início do século XX, evoluiu até ao de interatividade, lançado já no fim do século. Depois de perceber o paralelo com a biologia e a sua evolução histórica

na arquitetura, o terceiro e último tema – *Da reação à inteligência. Sistemas construtivos*. – sintetiza as ferramentas para a construção de uma arquitetura reativa e interativa, e as bases para estruturas e materiais inteligentes. Analisam-se tipos, formas e tipologias cinéticas que podem ser introduzidas nos edifícios sempre acompanhados de exemplos que ajudem a perceber as suas aplicações. Este tema serve para mostrar as inúmeras possibilidades que a tecnologia tem ao dispor dos profissionais de arquitetura hoje em dia.

Termino o trabalho com exemplos de uma possível arquitetura inteligente, na área da investigação e de projeto, organizado pelos cinco meios cinéticos; *pneumático, mecânico, magnético, químico e natural*. Para cada um deles, foram selecionados os trabalhos mais relevantes de investigação sobre o tema e depois feita uma análise construtiva de um projeto construído.

*Um novo sistema, uma nova possibilidade* termina este trabalho, ao apresentar algumas reflexões sobre o tema e a as novas possibilidades que existem hoje na arquitetura.



## CAPÍTULO 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

• REALIDADES EM MUDANÇA • PORQUÊ INTELIGENTE?  
ANÁLISE AO PANORAMA DA SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA, SEGUNDO  
UMA PERSPECTIVA SOCIAL/CULTURAL, TECNOLÓGICA, ENERGÉTICA E AMBIENTAL. NA SEGUNDA PARTE É FEITA UMA APROXIMAÇÃO  
AOS CONCEITOS, INTERAÇÃO E INTELIGÊNCIA NA ARQUITETURA, E À  
VISÃO DE ALGUNS ARQUITETOS, NICHOLAS NEGROPONTE, MARCOS  
NOVAK, ANTONNINO SAGGIO, MICHAEL FOX E MARK GOULTHORPE.



## 1.1

## REALIDADES EM MUDANÇA

*'Nothing ever is, everything is becoming' <sup>21</sup>*

21. HERACLITUS (544–483BC)

A mudança sempre foi uma condição inerente ao conceito de vida. Está presente na natureza e por isso, no Homem também. Vivemos num mundo em que a velocidade de mudança dos paradigmas sociais, culturais, técnicos, energéticos e ambientais aumentam cada vez mais, tornando-se importante a criação de respostas que acompanhem essas as novas realidades.

O tempo é sempre uma realidade quantitativa e constante, a forma como o sentimos e o percebemos é que diverge. A relação que estabelecemos com o tempo já não é a mesma que a dos nossos antepassados. É comum expressões como 'o tempo corre' ou 'o tempo voa', para exprimir uma sensação de que o ritmo de vida da nossa sociedade mudou. Com o aparecimento da internet e o fluxo das redes, 'a comunicação instantânea' passou a fazer parte da nossa rotina, acelerando todas as nossas atividades diárias pessoais e profissionais, originando rápidos desenvolvimentos em várias áreas como a ciência e a engenharia. No entanto este rápido crescimento também acelerou as preocupações sobre as fontes energéticas e sobre o seu impacto ambiental. Se tudo à nossa volta e até nós próprios nos encontramos em contínua mudança, não pode a arquitetura ser projetada para se comportar da mesma forma?

## SOCIEDADE

*'Alvin Toffler<sup>6</sup> propôs que o novo tipo de iliteracia do futuro, não será não saber ler nem escrever, mas não saber aprender, desaprender e reaprender.'* <sup>7</sup>

6. ALVIN TOFFLER (4 DE OUTUBRO DE 1928) É UM ESCRITOR E FUTURISTA NORTE-AMERICANO DOUTORADO EM LETRAS, LEIS E CIÊNCIA, CONHECIDO PELOS SEUS ESCRITOS SOBRE A REVOLUÇÃO DIGITAL, A REVOLUÇÃO DAS COMUNICAÇÕES E A SINGULARIDADE TECNOLÓGICA.

Numa conferência sobre bioeconomia, Toffler alerta que vivemos hoje em dia no terceiro

7. CARLA LEITÃO (2013:27)



FIG 1 ARTIGOS DA WIKIPÉDIA  
GEO-LOCALIZADOS  
OXFORD INTERNET INSTITUTE  
NOV 2012

8. TOFFLER DIVIDE A EVOLUÇÃO DA CIVILIZAÇÃO EM 4 ESTÁGIOS. REVOLUÇÃO AGRÍCOLA (PRIMEIRO), REVOLUÇÃO INDUSTRIAL (SEGUNDO), REVOLUÇÃO DA INFORMAÇÃO (TERCEIRO) E O PRÓXIMO ESTÁGIO ESTARÁ NUM FUTURO PRÓXIMO.

9. (MASSADA, 2008, FEVEREIRO)

10. (CASTELLS, 2000:30)

11. (SAGGIO, 2003:238)

12. (SAGGIO, 2003:238)

estágio civilizacional<sup>8</sup>, a era da informação. E que o próximo imprimirá características únicas na sociedade em que vivemos, uma vez que não irá assentar 'nos músculos, mas no cérebro', como afirma o escritor, numa "interação de conhecimentos sob regras contextuais diferentes, suprime as distâncias, passa pela compressão dos dados e pela partilha."<sup>9</sup>

Para Manuel Castells, 'a sociedade industrial, ao educar os cidadãos e ao organizar gradualmente a economia à volta do conhecimento e da informação, preparou o terreno para a potencialização da mente humana quando as novas tecnologias de informação se tornaram disponíveis.'<sup>10</sup> A proliferação da informação levou a uma internacionalização dos modos de viver e de interagir, dando origem a conceitos como o *modular* que serviram de base para o desenho de edifícios standardizados baseados em modelos e regras arquitetónicas ideais, difundidos no modernismo. O surgimento da internet e a sua comercialização nos anos 90 reforçou esta ideia de globalização da informação introduzida pela Revolução Industrial mas alterou significativamente a forma como estavam estruturadas as suas vias de comunicação, dando início à revolução da tecnologia da informação. A comunicação passa a ser interativa, uma vez que as pessoas escolhem ao que desejam aceder em substituição de um horário televisivo ou radiofónico pré-definido, em que os conteúdos são escolhidos e sugeridos ao público com base nas preferências médias da generalidade. Este poder de escolha potencia a individualidade, ou seja, 'passamos da standardização de necessidades para a personalização de desejos'<sup>11</sup>, segundo Saggio.

'As tecnologias entram assim na habitação, desmaterializando os seus limites'<sup>12</sup> e criando novas relações entre espaço, realidade e pessoas. A dicotomia local/global ganha uma nova dimensão, onde a repercussão das nossas atividades, costumes e tradições passam a ser feitas à escala mundial, influenciando mutuamente as opções de cada um. A imagem 1 mostra a difusão cada vez maior da informação produzida localmente, a *Wikipédia* é uma base de informação sobre os mais variados temas que vai sendo criada e alterada através do contributo pessoal na escrita de artigos informativos. Torna-se por isso imprescindível para a arquitetura estar atenta a estas mudanças sociais e culturais a

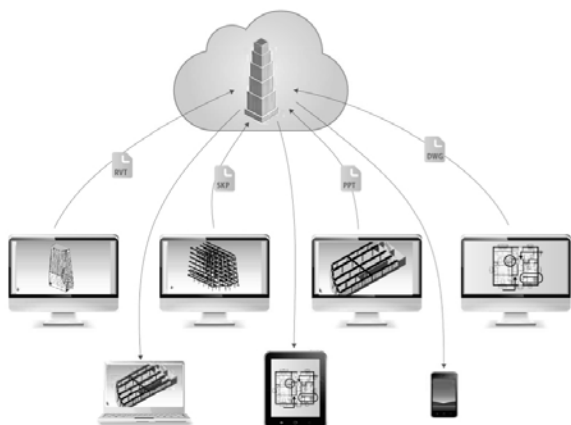


FIG 2 COLABORAÇÃO CENTRALIZADA BIM

fim de poder responder de uma forma mais eficaz à proliferação de uma sociedade mais consciente das suas opções individuais.

## TECNOLOGIA

*'Quando contactei com estas tecnologias na ESARQ/UIC 2002, pude comprovar que o impacto do computador se podia estender à materialidade. Através do CAD e do CAM, é possível conceber e materializar de um modo rigoroso, rápido e económico, formas geometricamente complexas e/ou variáveis, que de outra forma dificilmente poderiam ser equacionadas como possibilidades de projecto'*<sup>13</sup>

13. JOSÉ PEDRO SOUSA (2013:30)

O uso de *softwares* de modelação digital aliados a programas de animação (4D) abriram novas possibilidades em campos como a medicina e a ciência (visualização em tempo real), cinematográfica (possibilitando uma liberdade maior nos cenários e nas cenas), na engenharia (no cálculo real dos esforços) e na arquitetura. Estas novas tecnologias permitem uma maior liberdade na criação de projeto, como refere José Pedro Sousa<sup>13</sup>, na citação anterior, uma vez que está a ser desenhado em três dimensões ao mesmo tempo. Mais, as possibilidades criadas pelas novas tecnologias estendem-se das técnicas de desenho e visualização digital à material, através de robôs capazes interpretar os dados informatizados.

'Muitos dos projetos hoje, desde o mais simples produto de consumo ao mais sofisticado avião, é criado e produzido usando um processo em que o desenho, análise, representação, fabricação e montagem torna-se um processo colaborativo que apenas está dependente das tecnologias digitais - *a digital continuum from design to production*.'<sup>14</sup> O uso de plataformas digitais permite fundir várias áreas de conhecimento na criação de um produto

14. (KOLAVERIC, 2003:7)

15. SMART MATERIALS, IRÃO SER ABORDADOS NO TEMA 'SISTEMAS CONSTRUTIVOS – DA REAÇÃO À INTELIGÊNCIA', NA PÁGINA 80.

final mais otimizado (figura 2). Exemplo disso é a fusão entre a química e a engenharia que deu lugar ao desenvolvimento de materiais<sup>15</sup> com propriedades novas ou alteradas que respondem melhor às necessidades da construção de hoje.

A internet veio introduzir grandes transformações sociais e económicas que passaram a se basear numa lógica de sistema de trabalho em rede (*network*). O que originou novas formas de relacionamento tanto ao nível pessoal como ao nível profissional que não dependem mais de uma necessidade física de aproximação para desenvolverem projetos em conjunto. As networks são muito mais flexíveis e maleáveis, porque permitem a descentralização das empresas, telecomunicação entre profissionais e o surgimento das comunidades virtuais (que não estão mais dependentes da sua localização geográfica para constituírem grupos). Novas formas de trabalho, de comunicação e de relação são criadas, não como substituição das “velhas” formas de o fazer, mas reinventando-as e diferenciando-as.

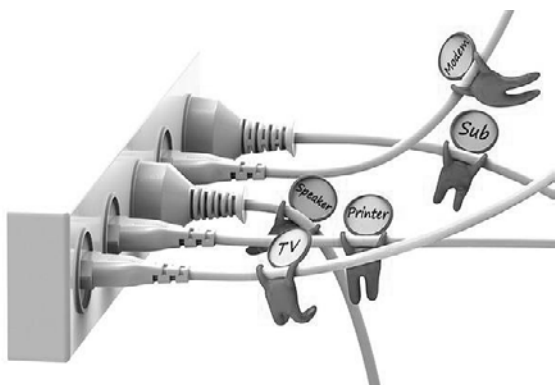


FIG 3 AS NOVAS TECNOLOGIAS NA ARQUITETURA

## ENERGIA

*'The answer is simple. Most people don't understand what architects really do and most architects don't have a deep understanding of the relationship between architecture and the natural environment.'*<sup>16</sup>

16. EDVARD MAZRIA, (2003:2)

Segundo Edward Mazria<sup>16</sup> o aquecimento global não só é culpa dos maus princípios que estão na base de construção dos edifícios, como também na falta de domínio dos arquitetos em perceber e aprender estratégias para o desenho de uma arquitetura mais sustentável. O autor acrescenta ainda que são os arquitetos que têm o poder de controlar esse mesmo aquecimento global, ao controlar e minimizar os efeitos nocivos que as construções exercem no ambiente. Hoje em dia os edifícios possuem uma relação de total rutura com a natureza, todos os elementos de construção, a sua forma e acabamentos são desenhados de uma forma completamente independente das necessidades de como-didade humanas.

Este rompimento teve origem no fim do século XIX, altura do surgimento das tecnologias ambientais como o aquecimento, ventilação e ar condicionado que permitiram 'libertar os edifícios do seu papel de conforto interior.'<sup>17</sup> Michelle Addington é autora de um artigo onde questiona esta ideia modernista do edifício como 'envelope fechado hermeticamente'<sup>18</sup>, levando a que os sistemas elétricos e mecânicos que fornecem luz, ar e água não estivessem uma relação direta com os elementos arquitetónicos e fossem assim inseridos numa fase posterior. A libertação da arquitetura das suas funcionalidades básicas de conforto humano, como por exemplo a construção de grandes fachadas envidraçadas no modernismo, obrigou a recorrer ao uso da tecnologia para gerar calor, frio, luz e ventilação, a fim de tornar os espaços possíveis de serem habitados, levando, consequentemente, a

17. (ADDINGTON, 2009: 12)

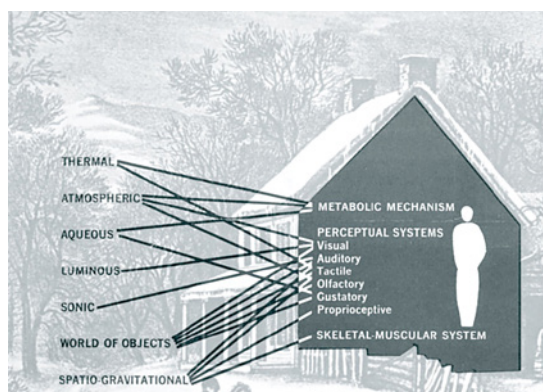
18. (ADDINGTON, 2009:12)

um maior gasto energético.

As necessidades humanas de conforto interior voltam a fazer parte da disciplina de arquitetura, obrigando assim ao desenvolvimento de materiais e sistemas construtivos mais ecológicos e sustentáveis, reduzindo, desta forma, o consumo de energia externa, causando a poluição e o consequente aquecimento global. Se sustentabilidade é a capacidade de perceber que o mundo tem limites e que cada ato tem consequências futuras, no caso da construção é importante perceber que a sustentabilidade não se aplica somente ao ato de construir. É um conceito que deve ser aplicado a todo o ciclo de vida do edificado, pois a construção de um edifício como ato, não se inicia com a chegada do material à obra e não termina com a entrada dos utilizadores. A construção é um ciclo fechado que começa no momento do fabrico do material, passa pela manutenção e termina com a desativação/desmontagem.

O desafio contemporâneo é desenvolver edifícios autossustentáveis, que 'trabalham com o meio envolvente de forma a produzir a sua própria energia necessária ao seu funcionamento, como um organismo vivo.'<sup>19</sup>

19. (IAAC, 2012)



## AMBIENTE

*'James Marston Fitch (..) stated that "the ultimate task of architecture is to act in favor of man: to interpose itself between man and the natural environment(...)" ' 20*

20. MICHELLE ADDINGTON (2009: 13)

Embora a arquitetura tenha sofrido ao longo dos tempos um processo de evolução considerável, o historiador e crítico de arquitetura James Fitch relembra o papel de abrigo que deve antes de mais exercer, numa mediação entre as condições adversas do exterior e as ideais ao Homem, no interior. Protegendo-o do sol, da chuva, do vento e também de situações de desastre natural que tendem a ser cada vez mais frequentes, o abrigo constitui uma das bases da hierarquia das necessidades fisiológicas, elaborada por Maslow (figura 4).

**FIG 4 | ESQUERDA |**  
TEORIA DA HIERARQUIA DAS NECESSIDADES DE ABRAHAM MASLOW, 1943

**FIG 5 | DIREITA |**  
'EDIFÍCIO-ENVELOPE' DE JAMES FITCH

As dinâmicas de mudança no mundo natural estão a acelerar e a influenciar as atividades humanas a uma escala cada vez maior. As mudanças climáticas são uma realidade que não podemos ignorar e os seus efeitos são vistos não só ao nível local, como também a nível regional. A energia que fica acumulada na atmosfera gera um clima cada vez mais quente, provocando uma aceleração da desertificação em regiões mais áridas, aumentando a frequência de tempestades noutras e o arrefecimento nas regiões mais frias como é o caso do Ártico.

Dessa forma, para combater a crescente indeterminação das condições climáticas, a arquitetura deve de reinterpretar o papel de mediadora entre exterior e interior, como ilustra a figura 5, anterior ao século XIX. Se antes o edifício não servia o seu total propósito total de conforto ao Homem, atenuando apenas o clima agressivo do exterior, a introdução de sistemas que reajam ou interajam pode constituir uma solução face às suas crescentes adversidades.

## 1.2

## PORQUÊ INTELIGENTE?

30. MARCOS NOVAK (2001)

*'If architecture is an extension of our bodies, shelter and actor for the fragile self, a liquid architecture is that self in the act of becoming its own changing shelter.'*<sup>30</sup>

22. (SAGGIO, 2005:24)

Durante muito tempo a prática e o ensino da arquitetura foram baseadas em objetivos muito específicos e tendo sempre uma relação muito estreita entre causa e uma solução específica. Como vimos anteriormente, com a crescente mudança da realidade social, cultural, energética e ambiental, cada vez mais essa ideia vai-se dissimulando. As causas vão variando com uma maior rapidez e as funções para qual os edifícios são desenhados, mudam constantemente, deixando-os inutilizados. É aqui que a possibilidade de uma arquitetura inteligente ganha uma outra dimensão. Os conceitos de adaptabilidade e interatividade nos edifícios, segundo Marcos Novak e Saggio, podem ser a solução, uma vez que indicam uma ideia de 'reconfiguração espacial'<sup>22</sup>, tornando as relações unidirecionais de causa-efeito em pluridimensionais e descontínuas, ou seja, o edifício passa a responder a um maior número de funções, aumentando assim a sua longevidade construtiva e funcional e diminuindo, assim, o seu impacto na natureza.

23. (NEGROPONTE: 1975:1)

No entanto, hoje 'falar de um espaço inteligente é imediatamente assumido como algo mau'<sup>23</sup> e tem sido uma realidade que não mudou muito desde a altura de Negroponte e a cibernética nos anos 60 e 70. A relutância em entender e aceitar as novas tecnologias traz muitas vezes problemas na finalização do edifício, ao arquiteto, ao engenheiro ou ao cliente, uma vez que, existe uma inevitabilidade cada vez maior de haver uma agregação dos meios digitais na arquitetura. Os novos ritmos da sociedade e da natureza contemporâneas implicam o desenvolvimento de novas estratégias por parte dos arquitetos, uma vez que 'as formas que criará deverão resultar (...) de um equilíbrio sábio entre a sua visão pessoal e a circunstância (...)'<sup>24</sup>, como alerta Fernando Távora. Acrescentando que o arquiteto deve potenciar os aspetos positivos e contariar os negativos da realidade que está a lidar.

24. (TÁVORA, 2006:74)

Assim, a posição defensiva em relação as novas abordagens arquitetónicas com base nas em novos métodos processuais e construtivos não deve ser colocada de parte mas sim

encarada como uma estratégia capaz de responder às novas dificuldades de responder à realidade de hoje.

*'...technology is not merely an external device, but one that actively infiltrates back within the organism, changing patterns of thought and cultural desire: "man creates a tool, the tool changes man" – changes his imagination, crucially.'* <sup>25</sup>

25. MARK GOULTHORPE (1999)

Pensar em edifícios mais inteligentes, permite evitar que as construções existam independentemente das novas tecnologias, como envólucros vazios que serão preenchidos e habitados depois. O arquiteto, mais que um desenhador de espaços, passa exercer um papel de coordenador de todas as áreas de saber que integram um projeto arquitetónico, para que assim o edifício possa ser capaz de agregar as novas necessidades tecnológicas, como afirma Mark Goulthorpe, sem colocar em causa o seu desenho, a sua arquitetura.

*'Is that still technology or is it architecture?'* <sup>26</sup>

26. MIES VAN DER ROHE (1971:154)

Mies (no texto *Technology and Architecture*) fala dos conceitos de arquitetura e tecnologia e defende que 'um deve de ser a expressão do outro'<sup>27</sup> na exploração de desenhos de espaços mais inteligentes.

27. (1971:154)

Os dados tornam-se mais complexos porque se tornam mais acessíveis de serem processados digitalmente, dando espaço ao desenvolvimento de novos tipos de soluções, como é o caso do projeto de investigação do hygroscope<sup>28</sup>. Uma vez que o método se tornou inteligente, então a arquitetura também o deve de ser, como afirmava Negroponte, em que 'um mecanismo deve de reconhecer e analisar o contexto antes de poder executar uma operação'.<sup>29</sup>

28. VER PAGINA 117

29. (NEGROPONTE: 1970:1)

A produção objetiva e mecanizada do modernismo tornou-se subjetiva e robotizada, dando lugar a conceitos como personalização, reconfiguração e variação que fazem parte do nosso quotidiano. A utilização de novos sistemas inteligentes e interativos na arquitetura poderão constituir, assim, a resposta para esta nova subjetividade, como iremos ver neste trabalho.

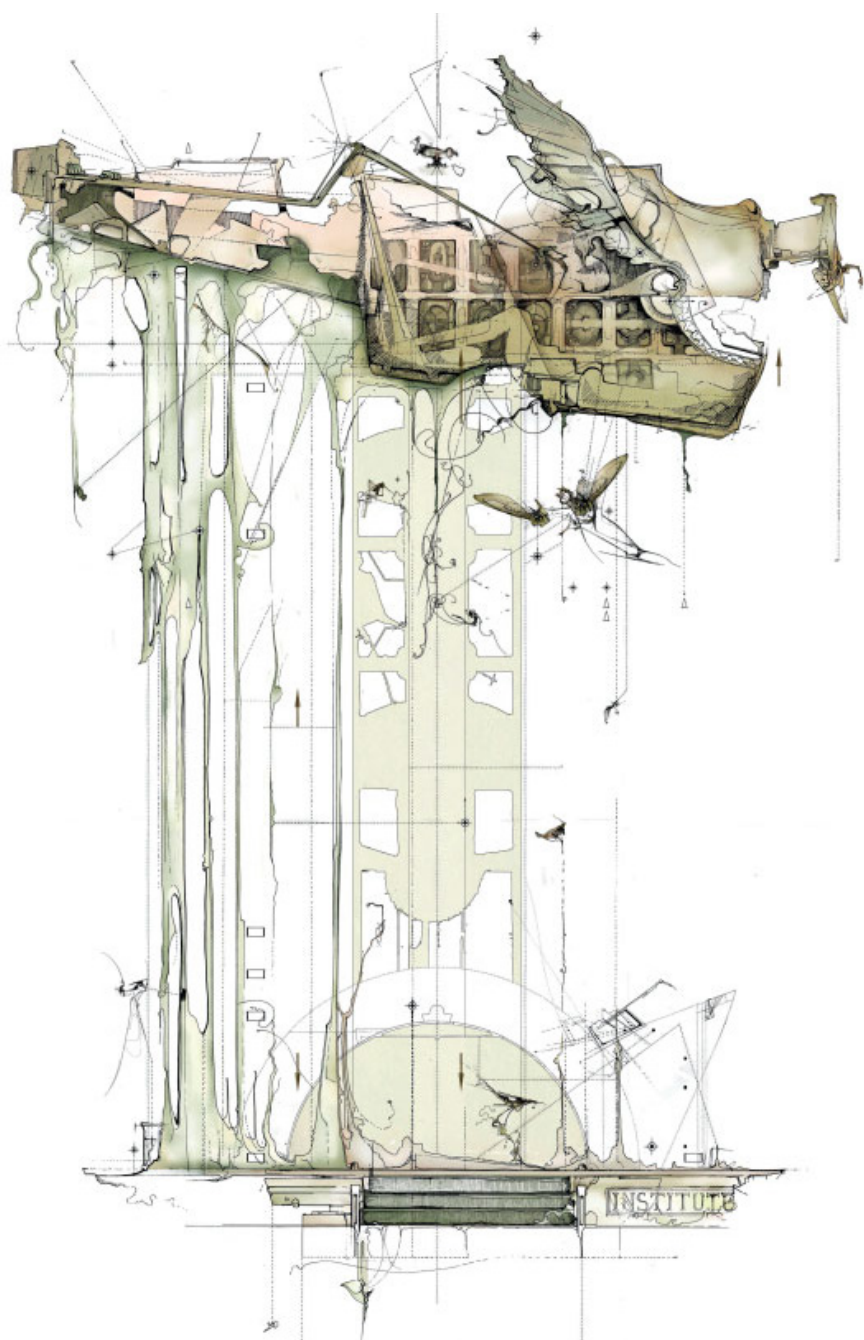


CAPÍTULO 2

## NOVOS CONCEITOS

REAÇÃO, INTERAÇÃO E INTELIGÊNCIA.

• ANALOGIA BIOLÓGICA • EVOLUÇÃO HISTÓRICA • SISTEMA CONSTRUTIVO  
REFLEXÃO SOBRE OS CONCEITOS DE REAÇÃO, INTERAÇÃO E INTELIGÊNCIA, SOB O PONTO DE VISTA DA SUA INSPIRAÇÃO NOS SISTEMAS BIOLÓGICOS, DA ORIGEM E EVOLUÇÃO NO PENSAMENTO ARQUITETÔNICO E DA SUA CONCRETIZAÇÃO CONSTRUTIVA.



## 2.1

## INFLUÊNCIA BIOLÓGICA – DO ORGÂNICO AO MECÂNICO

*"Architects are notorious for naively borrowing concepts from other disciplines."*<sup>33</sup>

93. USMAN HAQUE (2007:24)

Pensada e contruída de uma forma rígida e permanente, a 'arquitetura tem sido vista como um símbolo de uma geração, a expressão de um período.'<sup>31</sup> À medida que o Homem foi ganhando a consciência pela natureza, com o surgimento da Biologia, descobre um mundo composto por 'sistemas complexos e intrincados capazes de gerar compósitos multifuncionais de matéria orgânica e inorgânica'<sup>32</sup> onde 'a existência e a sobrevivência de um organismo (...) está relacionada com a sua capacidade de se adaptar e mudar a esse mesmo ambiente com a ajuda de sistemas especializados.'<sup>33</sup>

31. (FORD, 2012:2)

32. (OXMAN, 2010:80)

33. (YEH,1998:5)

Sólida e inerte, a arquitetura é constituída assim por matéria inorgânica que a distingue dos seres vivos, como é o caso do Homem, ao qual está associado a ideia de movimento. Na verdade, segundo Bergson, 'o paradigma do Homem é que este vive em constante mudança, na passagem de um estado ao outro, como quando temos frio, calor, fome ou cansaço (...) até quando nos situamos num estado, somos afetados pelo passar do tempo, a mudança é visível, dando o exemplo da observação visual continuada de um objeto imóvel sob o mesmo ângulo e a mesma luz, a sua visão irá ser diferente, *nem que seja porque é um instante mais velha*'<sup>34</sup>, escreve.

34. (BERGSON, 2001:14)

Numa tentativa de criar uma maior relação de simbiose com o Ser Humano, a arquitetura sempre procurou no conhecimento biológico novos métodos e ferramentas para a sua materialização. Mais que 'emprestar' conceitos, como afirma Haque, o arquiteto tem ao longo do tempo reinterpretado as suas aplicações. Contudo, é necessário estar atento para a forma *naïve* como possam ser introduzidas e transportadas para o seu campo de ação. Frei Otto alerta que 'as construções da natureza são na sua maioria instáveis e por isso só um observador superficial se atreveria a adaptá-las ou imitá-las.'<sup>35</sup> No mesmo livro, defende a 'necessidade de uma maior cooperação entre a Biologia e a Arquitetura'<sup>36</sup> onde conceitos como adaptação, reação, interação, auto-organização e inteligência, possam contribuir positivamente para o enriquecimento da arquitetura, dotando-a de uma maior

35. (HAQUE, 1979:10)

36. (HAQUE, 1979:270)

**FIG 6 | PAGINA 301**  
HOW SOFT ORNAMENT MIGHT BE  
APPLIED TO THE DESIGN OF A  
THRESHOLD, DAN SLAVINSKY

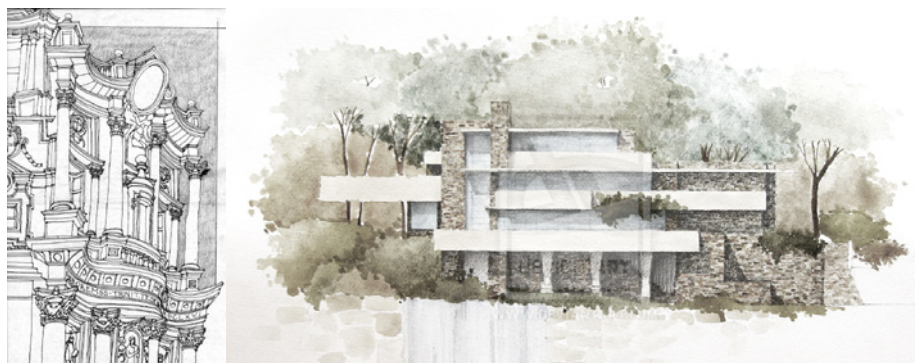


FIG 7 | ESQUERDA|  
SAN CARLO ALLE QUATTRO FONTANE,  
FRANCESCO BORROMINI, 1646

FIG 8 | DIREITA|  
FALLINGWATER,  
FRANK LLOYD WRIGHT, 1935

37. ALBERTI ERA UM LEITOR ATENTO DOS TRABALHOS DE VITRÚVIO, TOMANDO A ARTE DA ANTIGUIDADE, A HARMONIA E PROPORÇÃO DOS SEUS NÚMEROS, COMO REFERÊNCIA PARA A CONCEÇÃO DO EDIFÍCIO QUE DEVA DE SER COMO UM TODO, SOLIDÁRIO EM CADA UM DOS SEUS ELEMENTOS.

38. ALBERTI EM (STEDMAN, 2008)

39. FRANK LLOYD WRIGHT

relação não só com o Homem mas também com o meio envolvente.

A inspiração da arquitetura na natureza vem desde os primórdios da nossa atividade. Alberti<sup>37</sup> afirmava que '*the most expert Artists among the Ancients...were of (the) Opinion that an Edifice was like an Animal, so that in the Formation of it we ought to imitate Nature.*'<sup>38</sup> E assim nasce o barroco, inspirando-se nas formas curvas da natureza, criando espaços mais flexíveis, onde a linha sinuosa tenta introduzir a ideia de movimento nas fachadas e nos espaços das igrejas italianas, como é exemplo a fachada da igreja de San Carlo alle Quattro Fontane (fig 7).

Contra o excesso de racionalização e sobriedade nos espaços renascentistas, Borromini procurava uma arquitetura que transmitisse um certo movimento para se adaptar à vida humana, da mesma forma que mais tarde, com o organicismo, as construções não só se influenciaram como também se tentaram adaptar com base na fusão com a natureza, numa atitude de respeito e admiração perante algo que era considerado perfeito, '*Buildings, too, are children of Earth and Sun.*'<sup>39</sup>

Mais tarde, no século XX, o movimento organicista volta a trazer essa preocupação para o campo da arquitetura, como é o exemplo da *Fallingwater*, de Frank Lloyd Wright (fig.8). Todos os elementos que compõe a casa relacionam-se entre si, não só refletindo um respeito pelos verdadeiros materiais, como também pela forma como 'tocam' o local onde a casa está implantada, numa verdadeira relação de ordem simbiótica com a natureza.

*'Technology is at a cathartic movement, its relationship to the natural world is becoming less parasitic and more symbiotic.'*<sup>40</sup>

40. NEIL SPILLER (1998:160)

A busca por construções que possam desenvolver uma relação mais difundida com a natureza e menos contrastada pode ser potenciada, como afirma Neil Spiller, pela tecnologia e o uso dos sistemas digitais. Ao verem o aparecimento de algumas insuficiências nas construções dos anos 60, 'alguns arquitetos começaram a questionar-se em relação aos métodos de trabalho que eram utilizados no exercício da profissão, começando a investigar, assim, formas mais adequadas noutros campos e áreas de saber.'<sup>41</sup> Assiste-se assim à transferência de alguns conceitos através das novas tecnologias, existentes no mundo biológico para o campo arquitetónico, através das novas tecnologias. Neste capítulo iremos estudar alguns conceitos dentro do contexto natural dos seres vivos, como adaptação, auto-organização e inteligência, para depois estabelecer um paralelo com conceitos na arquitetura, através da abordagem dos termos reação, interação e inteligência.

41. (STERK, 2006 B:494)

## ORGANISMOS

Os conceitos de vida e 'não vida', organismo e matéria inerte, sistema e componentes na natureza é essencial para um melhor entendimento do seu funcionamento. O equilíbrio que existe no mundo natural só é possível uma vez que tudo está interligado, onde as diferentes partes têm um papel importante para a sobrevivência do conjunto, não só nos organismos em separado, mas também em todo o ecossistema.

*'Metaphorically, Life is matter with meaning. Less metaphorically, organisms are material structures with memory by virtue of which they construct, control and adapt to their environment.'*<sup>42</sup>

42. GERTRUDIS VUUR (1998:377)

A definição de vida não é consensual entre as diferentes áreas da ciência. Mesmo dentro do campo da biologia, as perspetivas sobre a sua génese diferem quer sejam do ponto

de vista fisiológico, metabólico, bioquímico, genético ou mesmo termodinâmico.

A definição de 'vida', segundo Vijver é algo que possui, complexidade e organização, singularidade química, natureza qualitativa, qualidades únicas e variabilidade, um programa genético, natureza histórica, seleção natural e indeterminância (derivado de fatores como novidade hierárquica, aleatoriedade e emergência). Mas para Bergson<sup>43</sup>, a principal diferença está na existência de uma linha temporal que só é visível na matéria viva, 'pode-se reproduzir e regenerar fragmentos do seu sistema, ao contrário da matéria inerte, que funciona inversamente, a sua forma e matéria permanecem sempre no mesmo estado, sem criação ou transformação, permanecendo a ideia de que o tempo não se aplica a eles, a não ser sob influência de uma força exterior.'<sup>44</sup>

43. HENRI-LOUIS BERGSON (1859–1941) FILÓSOFO FRANCÊS

44. (BERGSON, 2001:24)

A matéria viva é pois a estrutura que está na base da constituição dos organismos. Com base na definição de Otto, 'toda a matéria é constituída por uma estrutura que é montada e não construída'<sup>45</sup>, Mauro Couceiro conclui que os organismos 'podem ser definidos como um conjunto formado pelos seus componentes e as suas interações'<sup>46</sup>, assim chamados de sistemas.

45. (OTTO, 1985:6)

46. (COUCEIRO, 2008:244)

'A vida não é mais do que algo que emerge como um complexo sistema'<sup>47</sup>, onde todos os seus contituíntes trabalham em conjunto para evitar se tornarem inertes. Erwin Schrödinger afirma que a sua resistência à morte é tão importante para os organismos que os faz adotar novas formas para se adaptar às alterações do seu meio. 'Os sistemas vivos são capazes de regular a sua própria energia e armazená-la para modificar a matéria-prima ao longo do tempo.'<sup>48</sup>

47. (VIJVER, 1998:60)

48. (ARMSTRONG, 2011:71)

Iremos ver algumas caraterísticas essenciais presentes nos organismos que os permite manter uma participação ativa no mundo natural. Processos como adaptação, auto-organização ou inteligência são importantes e constituem uma fonte de inspiração que pode ser trazer novos conhecimentos à arquitetura.



## ADAPTAÇÃO

*'Adaptation is the evolutionary process whereby a population becomes better suited to its habitat. This process takes place over many generations, and is one of the basic phenomena of biology.'*<sup>49</sup>

A imagem de um mundo em constante mudança, em que para sobreviver os organismos teriam que se adaptar, nem sempre foi consensual. Antes da revolucionária tese sobre a evolução e diversificação dos organismos com base na seleção natural e sexual, de Charles Darwin<sup>50</sup>, havia a ideia da natureza ser fundamentalmente estática e sem evolução aparente dos seres vivos. Darwin, 'verificou que os seres vivos, através de um processo evolutivo, estão presentes em meios tão heterogêneos como nos oceanos e na atmosfera e ocupavam não só áreas quentes e húmidas, zonas tropicais, como também zonas frias e áridas, zonas polares, desenvolvendo uma incrível variedade de formas complexas e funcionais de adaptação.'<sup>51</sup>

Como é o caso da asa de um morcego, da mão humana e da barbatana de uma baleia que apesar de não terem funções iguais, desenvolveram estruturas formais similares mas com funções muito diferentes (fig.9).

Podemos também encontrar adaptações mais dinâmicas, em que os organismos conseguem 'responder a mudanças locais em tempo real'<sup>52</sup>, como é o exemplo de muitas plantas heliotrópicas, ou seja, rodam em função do movimento do sol para receberem uma maior quantidade de luz solar, como é o caso do gira-sol.

Perante uma mudança no meio, os sistemas têm duas opções em termos de interação entre si, ou evoluem como forma de adaptação ou perdem a sua função e diminuem até

**FIG 9 ADAPTAÇÕES HOMÓLOGAS**  
AS ESTRUTURAS FORMAIS SEMELHANTES PARA DESENVOLVER FUNÇÕES DISTINTAS, COMO É O CASO DA ASA DE MORCEGO [ESQUERDA], DA MÃO HUMANA [CENTRO] E DA BARBATANA DE BALEIA [DIREITA].

49. CHARLES DARWIN, 1959 (DEVADASS, 2013:15)

50. NA SUA ÚNICA E GRANDE VIAGEM FORA DE INGLATERRA, CHARLES DARWIN VERIFICA QUE A VIDA NA TERRA ERA COMPOSTA POR UMA INVARIÁVEL VARIEDADE DE FORMAS E PROCESSOS. CONTUDO, ESTA IDEIA NÃO FOI MUITO BEM RECEBIDA PELOS FILÓSOFOS E BIÓLOGOS DO SEU TEMPO.

51. (COUCEIRO, 2008:171)

52. (HENRIQUES, 2013:113)



FIG 10. FLOR JACINTO  
RAIO-X A DIFERENTES ESTADOS DE  
CRESCIMENTO.

desaparecer, como é o caso do apêndice humano, que em épocas marcadas pelas proliferações de doenças, constituía um verdadeiro invólucro de reservas de microorganismos essenciais ao funcionamento correto dos nossos órgãos.

## AUTO-ORGANIZAÇÃO

Durante muito tempo se pensou que o método da 'Seleção Natural', defendido por Darwin, seria a única possível justificação. A bióloga Lynn Margulis, mais recentemente, deu luz uma nova ideia - a cooperação entre os organismos. Com bases em estudos a nível unicelular, diz-nos que o surgimento de novos corpos e consequentemente novas espécies surgem da união de organismos independentes para formar organismos compostos. Assim contrariando a ideia da "sobrevivência do melhor"<sup>53</sup> do século XIX, surge a tese da evolução dos seres vivos baseada na simbiogénese, um século depois.

Esta nova perspetiva da cooperação entre organismos na natureza é denominada de "auto-organização"<sup>54</sup> e está associada, de acordo com Mauro Couceiro, 'ao tipo de organização existente entre as partes de um organismo'<sup>55</sup>, 'com uma estrutura não-programável.'<sup>56</sup> Ao contrário do computador, que possui um programa ou mapa codificado por um utilizador, a auto-organização biológica não tem uma estrutura ou mapa programável, ou seja, é totalmente autónoma.

A auto-organização está presente em fenómenos físicos, como a formação de tornados, em processos de cristalização, ou então em fenómenos biológicos como nas sociedades de insetos, na reprodução ou no metabolismo, a uma escala diferente.

*'In the natural world, form and metabolism have a very different relationship. There is an intricate choreography of energy and material that determines the morphology of*

53. EXPRESSÃO DE HERBERT SPENCER APÓS TER LIDO O LIVRO DE DARWIN E A SUA TEORIA DA EVOLUÇÃO DAS ESPÉCIES

54. INTRODUZIDA POR IMMANUEL KANT NO SEU TRABALHO *CRITIQUE OF JUDGMENT*, EM 1790.

55. (COUCEIRO, 2008:232)

56. (VIJVER, 1998: 34)



*living forms, their relations to each other, and which drives the self-organization of populations.'*<sup>57</sup>

Esta intrincada coreografia entre energia e material, que o autor<sup>58</sup> descreve, está diretamente relacionada com a capacidade de auto-organização das plantas que as permite auto-sustentar e assim sobreviver. A sua forma está intimamente relacionada com o metabolismo que permite produzir os seus próprios materiais constituintes, molécula a molécula através da luz solar, da água, do dióxido de carbono e de alguns minerais do solo. A silhueta que caracteriza cada árvore, por exemplo, é fruto da forma como o seu metabolismo reage às mudanças de temperatura, da quantidade de água e luz solar existente nos diferentes climas, influenciando não só a forma geométrica, o tamanho e a posição individual das folhas que a compõem, mas também a forma como as folhas se dispõem umas em relação às outras – Filotaxis. A disposição da folha nos ramos do olmo é diferente das do carvalho (fig. 11 e 12). 'Se no primeiro, existe uma disposição sucessiva das folhas nos dois lados do ramo, numa rotação de 180°, neste o número de folhas é maior numa determinada região, onde rotação é de 144° ao longo do ramo.'<sup>59</sup> Para além da sua disposição, a geometria da rede capilar da folha é um fator crítico para o rácio do metabolismo que regula a sua temperatura interna através da absorção da água pelas raízes até à sua evaporação pelas folhas (fig.13) que permite que a temperatura baixe.

O metabolismo é o responsável pela organização das diferentes células durante o crescimento não só dos animais e das plantas. Como podemos ver na figura 10, ao longo do tempo, o jacinto vai adquirindo diferentes formas até atingir o estado adulto. As células auto-organizam-se de forma a que a adaptação à natureza seja a mais adequada, acontecendo de igual forma nos animais. O calor corporal dos organismos endotérmicos é gerado por um metabolismo que exerce uma atividade intensa de forma a gerar energia sob forma de calor. Ao passo que nos animais ectotérmicos, o metabolismo das suas



FILOTAXIS  
PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DAS  
FOLHAS AO LONGO DO CAULE DAS  
PLANTAS.

FIG 11 [ESQUERDA] FOLHA DE OLMO  
FIG 12 [DIREITA] FOLHA DE CARVALHO

57. MICHAEL WEINSTOCK (2008:27)

58. A CITAÇÃO DE MICHAEL WEINSTOCK, ENCONTRA-SE NUM ARTIGO INTITULADO- *METABOLISM AND MORPHOLOGY*- ONDE RELACIONA O CRESCIMENTO DAS PLANTAS COM O SEU METABOLISMO. NO VOLUME 76, DA MESMA REVISTA, ESCRIVE UM OUTRO ARTIGO - *SELF-ORGANISATION AND THE STRUCTURAL DYNAMICS OF PLANTS*-ONDE ESTUDA OS PROCESSOS AUTO-ORGANIZATIVOS E AS ESTRUTURAS DE CRESCIMENTO DINÂMICO DAS PLANTAS EM BUSCA DE NOVOS CAMPOS DE CONHECIMENTO QUE POSSAM SER APLICADOS NA ARQUITETURA E NA CONSTRUÇÃO.

59. MICHAEL WEINSTOCK(2008:29)

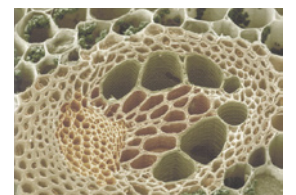


FIG 13 *RANUNCULUS*  
SECÇÃO DO CAULE ONDE PODEMOS VER AS VIAS DE CIRCULAÇÃO INTERIOR, PARA ALÉM DA FUNÇÃO DE ALIMENTAÇÃO, TAMBÉM SERVEM PARA SUSTENTAR A FLOR.



FIG 14  
O CORPORATIVISMO É UMA  
CARACTERÍSTICA DA AUTO-ORGA-  
NIZAÇÃO.

células é menor, uma vez que têm a capacidade de absorver o calor através no meio ambiente que os rodeia.

O metabolismo resulta assim de um complexo sistema de auto-organização interna que tem como objetivo, manter o funcionamento do corpo de forma a conseguir responder às necessidades exigidas pelo meio, através de uma constante adaptação.

## INTELIGÊNCIA

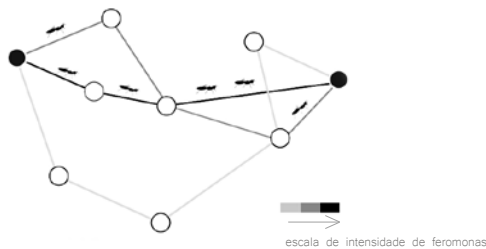
*'(...) por mucho tiempo, se trabajó sobre un concepto de inteligencia directamente conectado con la inteligencia humana individual. Eso no ha permitido la comprensión de otras formas de inteligencia tales como las que se manifiestan de una manera emergente en un conjunto de seres vivos.'*<sup>60</sup>

60. MAURO COUCEIRO (2008:311)

O comportamento dos seres vivos está dividido em dois tipos, o que é geneticamente determinado e o culturalmente adquirido. Durante muito tempo pensou-se que esta segunda vertente do comportamento fosse uma característica exclusivamente humana. Com um estudo mais atento, verificou-se que as sociedades de primatas também revelavam um desenvolvimento de vários comportamentos adquiridos culturalmente, passados de geração em geração.

Da mesma forma, a flexibilidade de aprendizagem desses mesmos comportamentos pode revelar-se essencial perante situações diferentes e complexas, como é o exemplo das interações sociais. 'A inteligência nos seres vivos revela-se pela sua capacidade de resolver problemas complexos de forma flexível.'<sup>61</sup> Esta flexibilidade de aprendizagem é mais reduzida nos comportamentos animais, quando comparados com os humanos, no entanto

61. (CASANOVA, 2006:282)



existem pequenas variações que podem ser estudadas em indivíduos diferentes da mesma espécie que exercem a mesma função. Um bom exemplo desta 'invariância comportamental' pode ser verificado nas aranhas, que se podem identificar segundo os desenhos das suas teias.<sup>62</sup> Quando a mãe morre, nunca chega a ensinar o processo de construção de uma teia levando as suas crias, com base no conhecimento que foi passado geneticamente, a introduzir alterações na aprendizagem da construção da teia às gerações seguintes, uma vez que não beneficiaram de um modelo para copiarem. Assim os novos comportamentos introduzidos, sobrepondo-se às habilidades pré-existentes, ganham o carácter de adquiridos nas gerações seguintes, ficando codificados na sua genética. Esta capacidade de modificação dos seus próprios comportamentos através da aprendizagem foi introduzida pela primeira vez pelo psicólogo James Mark Baldwin com a sua célebre frase, *'Heredity provides for the modification of its own machinery.'*<sup>63</sup>

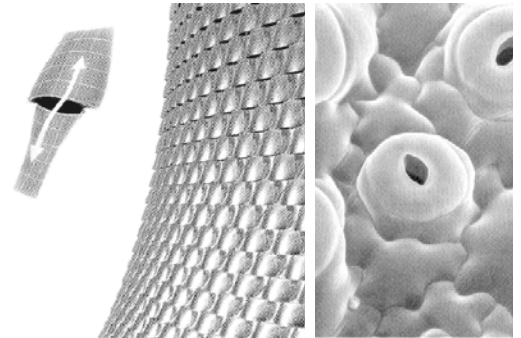
Para além da inteligência individual em cada elemento, a inteligência coletiva pode desenvolver dinâmicas de grupo surpreendentes para fazer face às dificuldades do meio. As formigas, por exemplo, desenvolveram comportamentos coletivos complexos como forma de sobrevivência. Cada formiga para procurar comida segue um rasto individual e deixa um rasto de feromonas. Como podemos ver na fig. 15, com base no conjunto de caminhos já explorados aleatoriamente, criam um mapa coletivo mental das fontes de comida e dos possíveis perigos a evitar. A inteligência coletiva é potenciada pela comunicação entre os vários elementos que constituem um grupo, dando origem a estruturas sociais muito complexas, como é o caso dos himenópteros. Esta classe de insetos altamente evoluídos da qual fazem parte as formigas, abelhas, moscas e as vespas, constitui um dos grupos mais importantes para o homem e para a estabilidade do ecossistema mundial, ao contribuir para a reprodução e controlo das várias espécies.

**FIG 15**  
A FORMIGA QUE INICIA A EXPLORAÇÃO, DEIXA PARA TRÁS UM RASTO DE FEROMONAS QUE INTENSIFICA COM A PASSAGEM DAS SUAS COMPANHEIRAS (DO CINZA MAIS CLARO AO MAIS ESCURO), REFORÇANDO O CAMINHO A SEGUIR.

62. (COUCEIRO, 2008:318)

63. 'A HEREDITARIEDADE PREVÊ A MODIFICAÇÃO DA SUA PRÓPRIA MÁQUINA'. O PSICÓLOGO CANADIENSE JAMES MARK BALDWIN NOTABILIZOU-SE PELOS SEUS ESTUDOS NAS ÁREAS DE PSICOLOGIA, PSIQUIATRIA E NA TEORIA DA EVOLUÇÃO.

Assim como a descoberta da cooperação entre as espécies com vista a sua evolução, permitiu influenciar positivamente a dinâmica da sociedade humana, estudar os diferentes organismos e os seus processos de adaptação, auto-organização e inteligência face às dificuldades impostas pelo meio, pode oferecer novas perspectivas e novos campos de conhecimento aos arquitetos e engenheiros. Num ambiente que está em constante mudança e, agora, a um ritmo cada vez mais acelerado, a investigação dos sistemas vivos que sobreviveram às mais diversidades climáticas pode constituir uma base de informação muito útil à nossa atividade.



## TRANSFERÊNCIA DE CONCEITOS

À medida que o estudo sobre as complexas interações entre os seres vivos evolui, adquirimos uma nova compreensão sobre o seu funcionamento de forma a poder aplicá-lo na resolução de problemas semelhantes em arquitetura. Formas de adaptação na natureza, auto-organização dos organismos ou comportamentos inteligentes podem ser transportados para o campo da arquitetura, sob formas de reação, interação ou inteligência da construção. Iremos ver à frente como o sistema de respiração das plantas (fig.16) foi um ponto de partida para o desenho de uma fachada ventilada, que reage às condições ambientais não só interiores, como exteriores (fig.17). Este desenho só foi possível pelo cruzamento de conhecimento de outras áreas, nomeadamente da biologia. Tornando-se por isso importante, esmiuçar o significado destes termos na prática da nossa disciplina. Uma vez que muito se tem escrito e falado, a extensão da linguagem para a sua legitimação teórica e cultural, exposta em livros, no ensino e em revistas da crítica, carece largamente de um significado mais correto e menos ambíguo.

**FIG 16 | DIREITA | STOMATA**  
ORIFÍCIOS QUE PERMITEM ÀS FLORES RESPIRAR, E ASSIM PRODUIR A FOTOSSÍNTESE.

**FIG 17 | ESQUERDA | FIT FABRIC**  
PROJETO DE INVESTIGAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO EM ALTURA, DESENVOLVIDA PELO GRUPO DE INVESTIGAÇÃO LIDERADO POR ACHIM MENGES. A FACHADA INSPIRA-SE NA NATUREZA

## ADAPTAÇÃO | REAÇÃO<sup>64</sup>

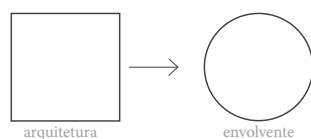
A primeira tentativa de esclarecimento do conceito de reação foi em 1975, por Nicholas Negroponte<sup>65</sup>, esclarecendo que responsivo é por vezes chamado de adaptável ou de reativo, 'o ambiente construído está a exercer um papel ativo (...) é um produto natural da integração do poder do computador nos espaços e nas estruturas construídas, uma performance melhor, resultará num edifício mais racional.'<sup>66</sup>

Contudo, esta definição falha na medida em que faz depender os processos de reação na arquitetura exclusivamente do computador. Sterk<sup>67</sup>, clarifica o termo de uma forma mais consensual, definindo responsivo como uma '*class of architecture or building that*

64. REAÇÃO:  
S.F. (DE RE- + AÇÃO)  
1. AÇÃO OU RESULTADO DE AGIR.  
2. ATITUDE OU RESPOSTA CON-  
TRÁRIA SUSCITADA POR UMA AÇÃO  
ANTERIOR.  
65. FUNDADOR DO *MEDIA LAB*,  
NO MIT.

66. (NEGROPONTE,1975:132)

67. FUNDADOR DE *THE OFFICE  
FOR ROBOTIC ARCHITECTURAL  
MEDIA & BUREAU FOR RESPONSIVE  
ARCHITECTURE*



### REAÇÃO

68. (STERIK, 2006 B:494)

*demonstrates an ability to alter its form, to continually reflect the environmental conditions that surround it;*<sup>68</sup> ou seja, é a capacidade do edifício no seu todo ou em partes de se modificar para responder às necessidades, sejam internas (luminosidade, ventilação, temperatura, programa, etc.), sejam externas (climáticas, adaptação ao local, etc.). Ao introduzir sistemas de controlo automatizados, o edifício poderia reagir da mesma forma que o termostato controla a temperatura de um espaço<sup>69</sup>.

69. CHARLES EASTMAN EM 1972 DESENVOLVE UM MODELO DE UMA ARQUITETURA ADAPTATIVA-CONDICIONAL COM BASE NA IDEIA DE QUE OS SISTEMAS AUTOMATIZADOS PODERIAM CONTROLAR UM EDIFÍCIO COMO O TERMOSTATO CONTROLA A TEMPERATURA DE UM ESPAÇO, FAZENDO DEPOIS A INUMERADO DOS SEUS COMPONENTES.

### AUTO ORGANIZAÇÃO | INTERAÇÃO

70. ROY ASCOTT, DIRECTOR, *CAI-IA-STAR*, UNIVERSITY OF WALES COLLEGE NEWPORT, AND UNIVERSITY OF PLYMOUTH, INTERACTIVE LEARNING IN MUSEUMS OF ART AND DESIGN 17-18 MAY 2002' TEXTO INTERACTIVE ART

Roy Ascott<sup>70</sup> escreve num artigo que 'toda a arte é interativa', independentemente de ser realizada no campo prático (instalação, escultura ou pintura) ou cibernético. Resulta, pois, 'da negociação entre observador e o observado ou numa intersecção entre utilizador e dispositivo.'<sup>71</sup>

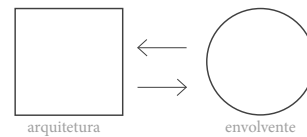
71. (STEENSON, 2011)

No entanto, muitos artistas e especialistas tendem a usar a palavra interação com o mesmo sentido de reação, apesar de possuírem o mesmo radical – ação – os dois termos diferem na forma como despoletam o movimento.

72. USBAN HAQUE (2006:1)

*"In an architectural context, a brick wall crumbles over years under the impact of rain. Is the wall "interacting" with the environment?"*<sup>72</sup>

Uma vez que a parede não tem qualquer influência sobre o meio, para o autor a parede estará apenas a reagir às condições presentes. Para haver uma interação teria que haver uma transação de informação entre dois sistemas (por exemplo entre duas pessoas, duas máquinas, ou entre uma pessoa e uma máquina), se não ocorrer este movimento circular de intercomunicação, torna-se apenas uma reação, segundo alguns autores, quando a



### INTERAÇÃO

comunicação é feita num só sentido. Usman Haque, no mesmo artigo, distingue dois tipos de interação: a interação de movimento circular único, ou seja unilateral, e a interação de múltiplo movimento circular., bilateral (comparar esquemas em cima). A primeira, referente a sistemas reativos, indica uma ação que é pré-determinada, usando o exemplo da caixa de multibanco, onde existe uma 'resposta' pré-estabelecida. Enquanto a de múltiplo movimento circular implica uma interação mais profunda, onde é necessária a capacidade de memória e aprendizagem, de forma a possibilitar diferentes respostas perante o mesmo problema. Perante sistemas interativos, as pessoas não são encaradas como utilizadores mas sim como participantes, havendo numa 'interseção entre usuário e dispositivo'.<sup>73</sup>

73. (STEENSON, 2011)

Neste contexto, 'interatividade na arquitetura implica uma múltipla reação (...) afetando não só a envolvente (em resposta a uma ação) mas também afetando a forma como essa resposta é calculada'<sup>74</sup>, criando relações entre pessoas, funções e a envolvente.

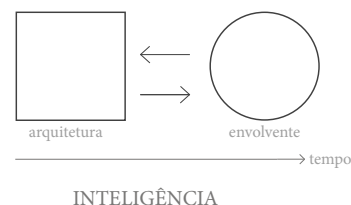
74. (HAQUE, 2007: 26)

*'Interactive' these days is used to describe everything from software to lighting to mobile devices, confounding in particular academic institutions and the creators of award categories.'*<sup>75</sup>

75. USBAN HAQUE (2007:26)

A palavra interatividade está presente em diversas áreas e objetos hoje em dia e muitas vezes é usada de uma forma generalizada e como sinónimo de *hi-tech*, ou seja, tecnologia de última geração. Usban Haque alerta para esse facto, não sendo palavras sinónimas, interação não implica que haja tecnologia e a alta tecnologia, por sua vez, não implica que seja interativa.

Apesar de implicar uma certa autonomia ao nível do controlo de alguns automatismos ligados à segurança, iluminação, ventilação, gestão de energia e comunicação em casa, não se deve confundir igualmente a domótica com a interatividade num edifício. Uma vez que



a primeira se baseia num sistema que funciona autonomamente à construção em si, sem qualquer ligação a uma fase de projeto inicial. A construção e por conseguinte a arquitetura funciona como se de uma caixa se tratasse, onde postumamente são introduzidos todos os mecanismos ligados às novas tecnologias e que são controlados pela domótica. Já os sistemas interativos pretendem funcionar de uma forma mais global ao nível da própria construção, algo que está presente desde a fase inicial do projeto, tornando-se elemento definidor da sua matriz e que possa permitir a integração e unificação de todos os sistemas que compõem um edifício a um nível que já não se possa entender a divisão do que é tecnológico do que é arquitetura.

76. (KOLAVERIC, 2003:237)

Antonino Saggio, no livro *Architecture in the Digital Age*<sup>76</sup>, distingue três tipos de interatividade que podem ocorrer no campo da Arquitetura a que denominei de:

1. PROCESSO/CONCEITO
2. VIRTUAL
3. FÍSICA

O primeiro diz respeito a um tipo de interatividade que é realizado ao nível do processo arquitetónico. Potenciada pela introdução das novas tecnologias computacionais na fase de conceção projetual, este tipo de interação é talvez a mais utilizada por parte dos escritórios de arquitetura, possibilitando o desenho de uma solução não só mais eficiente, como também que melhor responda às necessidades exigidas, através da conciliação simultânea das várias áreas do saber dentro do projeto.

Inconcebível no passado, a interatividade virtual combina realidade e virtualidade através de sistemas de projeção de imagens nas fachadas dos edifícios. Esta técnica permite de uma forma simples e inovadora, revitalizar edifícios ou partes da cidade degradadas cuja intervenção seria difícil ou mesmo impossível.

"I GO UP", SAID THE ELEVATOR, "OR DOWN."  
 "GOOD," SAID ZAPHOD, "WE'RE GOING UP."  
 "OR DOWN," THE ELEVATOR REMINDED HIM.  
 "YEAH, OK, UP PLEASE."  
 THERE WAS A MOMENT OF SILENCE.  
 "DOWN'S VERY NICE," SUGGESTED THE ELEVATOR HOPEFULLY.  
 "OH YEAH?"  
 "SUPER."  
 "GOOD," SAID ZAPHOD, "NOW WILL YOU TAKE US UP?"  
 "MAY I ASK YOU," INQUIRED THE ELEVATOR IN ITS SWEETEST, MOST REASONABLE VOICE,  
 "IF YOU'VE CONSIDERED ALL THE POSSIBILITIES THAT DOWN MIGHT OFFER YOU?"<sup>94</sup>

94. CONVERSA COM O ELEVADOR, DESENHADO POR SIRIUS CYBERNETICS CORPORATION. THE *RESTAURANT AT THE END OF THE UNIVERSE*, DE DOUGLAS ADAMS

Por último, mas não menos importante, a interação na arquitetura que é feita ao nível físico é a mais complexa das três e preconiza o tema deste trabalho. Implica que haja um movimento de um elemento arquitetônico de acordo com uma determinada situação, seja ela exterior (ventilação, intensidade da luz, clima, catástrofes, etc.) ou interior (número de visitantes, variações de humor, sentimentos, etc.).

No desenvolvimento deste trabalho debruçar-me-ei sobre sistemas arquitetônicos que impliquem interatividade ao nível físico, refletindo-se na estrutura ou no material.

## INTELIGÊNCIA<sup>77</sup>

Em 1975, Nicholas Negroponte define que a arquitetura responsiva é 'uma função da inteligência'<sup>78</sup> e mais tarde, Michael Fox acrescenta que, para além de adaptabilidade, um sistema inteligente, é conseguido através da convergência de mais dois elementos, a engenharia estrutural e computação ubíqua. *In these systems, computer systems will interpret functional circumstances and direct the motor-controlled movements to change responsively and adaptively to optimize usage needs.*<sup>79</sup>

Estes sistemas são explorados por arquitetos como Michael Hensel, Achim Menges and Michael Weinstock, que buscam nos sistemas naturais modelos e processos de auto-organização para a criação de um sistema artificial com formas e comportamentos complexos e, talvez até, inteligência artificial.

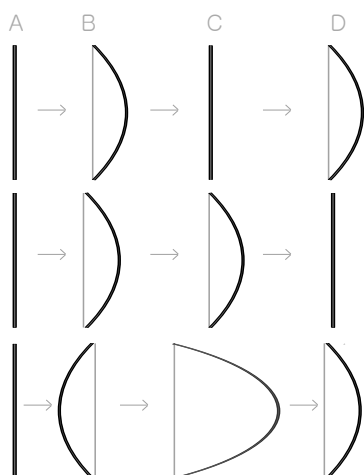
*'So true intelligent architectures would have evolving personalities that wouldn't just behave differently in response to our behavior, but would also change and strive to change us.'*<sup>80</sup>

77. INTELIGÊNCIA  
 S.F. 1. CAPACIDADE DE RESOLUÇÃO DE NOVOS PROBLEMAS E DE ADAPTAÇÃO A NOVAS SITUAÇÕES  
 2. ARTIFICIAL: CAPACIDADE DE UMA MÁQUINA IMITAR O COMPORTAMENTO HUMANO E DESEMPENHAR FUNÇÕES NORMALMENTE ASSOCIADAS À INTELIGÊNCIA HUMANA, COMO APRENDIZAGEM, ADAPTAÇÃO, AUTOCORREÇÃO.

78. (NEGROPONTE, 1975: 131)

79. (FOX, 2000:3)

80. MARCOS NOVAK (2001)



95. (FOX:2003,127)

'There is a need to integrate computational devices within architectural components as environmental moderating systems, to focus novel technologies on the important architectural design responsibility of sustainable strategies in buildings.' <sup>29</sup>

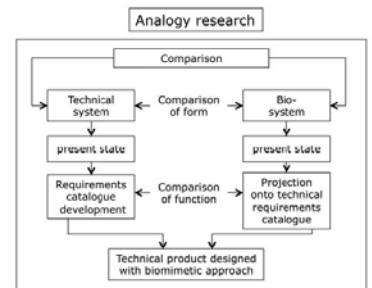
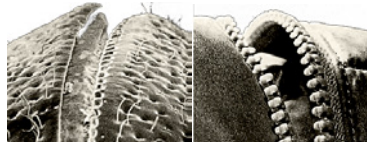
FIG 18.  
[CIMA] REAÇÃO  
[MEIO] INTERAÇÃO  
[BAIXO] INTELIGÊNCIA

A visão de Marcos Novak sobre a inteligência na arquitetura vai um pouco de encontro ao 'diálogo com um elevador' de Douglas Adams, sobre a capacidade de poder produzir sistemas que para além de serem ativos e interativos com a realidade envolvente, possam desenvolver uma completa autonomia e independência, ou seja, uma inteligência artificial que estaria constantemente a adaptar-se ao longo do tempo, como mostra o esquema em cima. A este tipo de inteligência, o autor define como *transactive intelligence*, ou seja, que não só interagisse, 'mas que transitasse e transformasse tanto o utilizador como a si próprio'. <sup>81</sup>

81. (NOVAK, 2001)

Como já tinha referido anteriormente nem todos os autores se exprimem da mesma forma, quando falam desta nova forma de abordar a arquitetura usam designações para além destas aqui expostas como termos performativa, flexível, reflexiva ou emergente. No entanto são conceitos que contêm com um significado mais específico e que não contribuem para uma investigação que se quer que seja mais global sobre esta área da arquitetura. Irei mencioná-los sim, mas numa fase posterior, quando estiver a descrever mais detalhadamente os casos práticos.

Concluindo, o que distingue os três sistemas de comportamento, aqui expostos, pode ser resumido à sua capacidade de autonomia de ação perante uma situação externa. Ou seja, na figura 18, podemos ver que, perante diferentes situações (A, B, C e D), um sistema reativo apenas consegue produzir um tipo de resposta, independentemente do tipo de situação ocorrida. Nos sistemas interativos, a comunicação entre o construído e a envolvente já não são feitas de uma forma unilateral, o sistema tem em conta a informação exterior para atuar em função a diferentes situações. O desenho mostra que os sistemas interativos conseguem modificar a sua resposta, tornando-se mais adaptáveis em relação aos sistemas reativos. No nível último de autonomia, significa que estamos perante um sistema inteligente, com a capacidade de produzir a melhor resposta em função da situ-



ação que está a ocorrer. Através da análise contínua da envolvente, consegue analisar, aprender com as experiências anteriores e aplicar respostas diversificadas e específicas a cada problema, tornando-se independente e imprevisível também.

## ANALOGIAS E MECANISMOS

*Num mundo onde os processos mecânicos são cada vez mais orgânicos e os processos orgânicos são cada vez mais mecanizáveis, será sempre uma mais-valia o tempo que se possa dispensar à observação da diversidade de soluções biológicas existentes neste planeta e tentar compreender os mecanismos que estão por detrás de tanta eficiência e "criatividade"*<sup>82</sup>

**FIG 19 [ESQUERDA]**  
OS PLEIDAE (INSETOS DE ÁGUA) USAM UM SISTEMA 'ZIPPER' PARA UNIR AS SUPERFÍCIE DA ASA, CIMA. EM BAIXO, PODEMOS VER O FECHO ZIPPER DESENHADO À SEMELHANÇA.

**FIG 20 [CIMA]**  
QUADRO DE COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS NATURAIS E ARTIFICIAIS DE ACORDO COM NACHTIGALL.

82. MAURO COUCEIRO (2006:28)

A analogia às formas biológicas preconiza uma base muito importante para a arquitetura, como o autor refere. No entanto, citando Max Planck, 'o seu emprego deve ser precedido de conhecimento'<sup>83</sup>, para que a arquitetura possa enriquecer com o novo conhecimento e não cair numa mera cópia. Áreas dentro da ciência surgem como a biónica e a biomimética e tornam-se importantes na compreensão desses processos biológicos que estão na origem dos organismos.

83. (GRUBER, 2011:14)

Carmelo Di Bartolo<sup>84</sup> distingue dois tipos de análise das soluções encontradas na natureza, a horizontal e a vertical. Baseando-se no estudo das relações de interdependência entre elementos naturais, a análise horizontal é uma ferramenta importante na resolução de problemas de projeto a nível de conceitos. Por outro lado, a análise vertical aborda o estudo das estruturas funcionais onde a partir da observação na natureza obtém respostas a problemas específicos como a capacidade de conter, de movimento, flexibilidade, ligação entre elementos, leveza e resistência estrutural ou técnicas de aglomeração dos materiais.

84. PRESIDENTE DO INSTITUTO EUROPEU DE DESIGN, EM MILÃO, E LÍDER NO CENTRO DE INVESTIGAÇÃO DE ESTRUTURAS NATURAIS.



FIG 21 [CIMA] PENA DE MOCHO  
FIG 22 [CENTRO] FOLHA DE LOTUS  
FIG 23 [DIREITA] FECHO DE VELCRO

85. (MAURO, 2008:65)

As aplicações biônicas podem ser divididas em cinco categorias<sup>85</sup>:

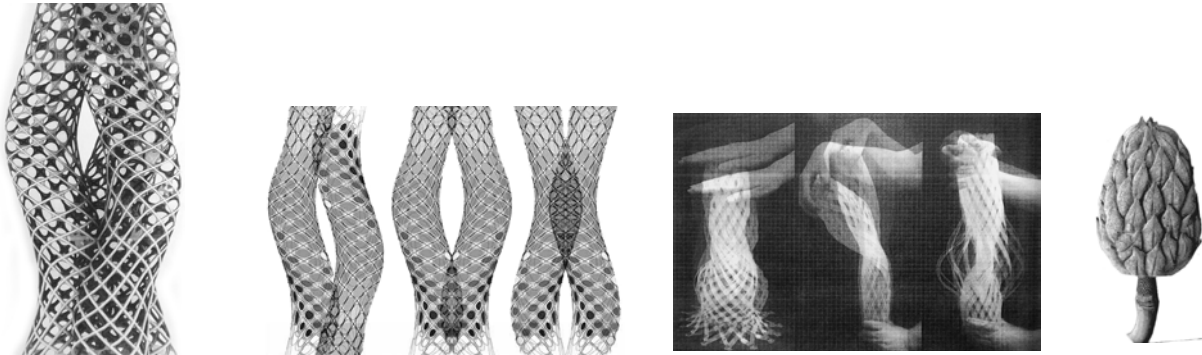
1. IMITAÇÃO COMPLETA – UM OBJETO, MATERIAL OU ESTRUTURA QUE É IDÊNTICO AO PRODUTO NATURAL
2. IMITAÇÃO PARCIAL – A VERSÃO MODIFICADA DE UM PRODUTO NATURAL
3. SEM PARECENÇA BIOLÓGICA – QUANDO É A IMITAÇÃO DE UMA FUNÇÃO
4. ABSTRAÇÃO – UTILIZAÇÃO DE UM MECANISMO ISOLADO
5. INSPIRAÇÃO – QUANDO A BIOLOGIA É UM DESENCADEADOR DA CRIATIVIDADE.

Qualquer atividade na natureza pode servir para inspirar o desenho de objetos do nosso dia a dia. Vimos que o metabolismo nos dão algumas lições sobre aquecimento e arrefecimento ou a auto-organização, modelos sobre otimização da forma. Podemos ver exemplos de imitação completa, no caso dos carrapichos que inspiraram a técnica de funcionamento do fecho de velcro<sup>86</sup>, as penas de mocho, figura 21, que influenciaram morfológicamente o desenho do comboio japonês *Shinkansen*, de forma a potenciar a sua velocidade, ou então nas folhas de lotus e as suas propriedades de autolimpeza que permitiram criar um casaco à prova de água<sup>87</sup>.

Da mesma forma, torna-se importante para a arquitetura integrar o conhecimento biológico na sua construção de forma otimizar o seu funcionamento. Alguns arquitetos como Buckminster Fuller, Heinz Isler ou Pier Luigi Nervi, desenvolverem extensas coberturas com o conceito de 'redução material', imitando parcialmente os princípios das construções naturais. A dupla estrutura em cúpula, por exemplo, de um ovo ajuda-nos a estudar formas e sistemas estruturais mais eficientes no desenho de edifícios que resistam a terremotos, ou o crescimento das árvores em conjunto, os pinhais ou florestas, ajuda a uma melhor probabilidade de sobreviver a um furacão. 'A natureza colocou-nos à nossa disposição uma grande base de dados para ideias e inspirações de desenho, o desafio é procurar a

86. GEORGE DE MESTRAL,  
UM ENGENHEIRO SUÍÇO, DEPOIS  
DE TER IDO CAMINHAR EM 1948 E  
ENCONTROU ALGUNS CARRA-  
PICHOS AGARRADOS AO SEU  
CASACO. RETIROU-OS E DEPOIS  
DE OS ANALISAR AO MICROSCÓPIO  
PERCEBEU QUE O PRINCÍPIO DO  
SEU FUNCIONAMENTO ERA MUITO  
SIMPLES E QUE TERIA POTENCIAL  
SE FOSSE COPIADA A TÉCNICA, VER  
FIGURA 23.

87. GERMAN COMPANY, STO AG,  
FIGURA 22



solução mais adequada para o problema e desenvolver a capacidade de converter essas soluções em realidade.<sup>88</sup>

A biomimética tem por isso vindo a ser introduzida nos departamentos de investigação de algumas escolas e universidades de arquitetura e engenharia, um pouco por todo o Mundo. Entre eles, destaca-se o trabalho de como Neri Oxman<sup>89</sup> no repensar do discurso do espaço e da arquitetura heterogenia como prática material através da pesquisa intensiva dos sistemas materiais e das suas capacidades performativas.

O projeto *Vertical Helix*<sup>90</sup> inspira-se na filotaxia<sup>91</sup> em espiral da magnólia para o desenho da forma helicoidal da fachada. Os cones distribuem-se simetricamente nos eixos de rotação tanto no sentido dos ponteiros do relógio, como no sentido inverso, com a mesma escala, mudando apenas o tamanho de acordo com a sua localização. Este tipo de 'combinação componente-compósito' feito à escala do edifício e do material permitiu criar diferentes variações na altura, onde a superfície funciona 'como uma membrana estrutural'<sup>92</sup>, como podemos ver na figura 24.

Outra importante investigação na exploração de edifícios em altura, que conciliam material e estrutura num caráter mais adaptável e flexível, foi levada a cabo pelo grupo de investigação *Emergence and Design Group*, fundado pelos arquitetos Achim Menges, Michael Weinstock e Michael Hensel. O projeto (figura 25, página seguinte) partilha a inspiração na magnólia e na sua organização em espiral, mas desenvolve um conceito diferente de pele exterior. A membrana que reveste o exterior é reativa, uma vez que possui a capacidade de abrir e fechar, assemelhando-se à *stomata*. O sistema estrutural alia-se ao infraestrutural, como acontece no sistema de vasos de distribuição das plantas, permitindo uma maior liberdade na organização dos espaços interiores. Uma estrutura micropneumática localizada entre as membranas exteriores, interiores e centrais, permite que os vários orifícios mudem

FIG 24 .PROJETO VERTICAL HELIX  
| DIREITA | FLOR MAGNÓLIA  
| CENTRO | MAQUETA PARA O  
ESTUDO DO MOVIMENTO  
| ESQUERDA | SIMULAÇÃO 3D COM  
TRÊS VARIAÇÕES

88. (SHAH, 2007:32)

89. DESIGNER, E PROFESSORA ASSISTENTE DE ARTE MULTIMÉDIA E CIÊNCIA NO LABORATÓRIO DO MIT. A SUA INVESTIGAÇÃO CENTRA-SE NA EXPLORAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS MODIFICADOS QUIMICAMENTE E DIGITALMENTE.

90. ESTE TRABALHO GANHOU UM PRÊMIO DESIGN MERIT AWARD, EM 2005.

91. VER PÁGINA 37.

92. (HENSEL, 2006:101)

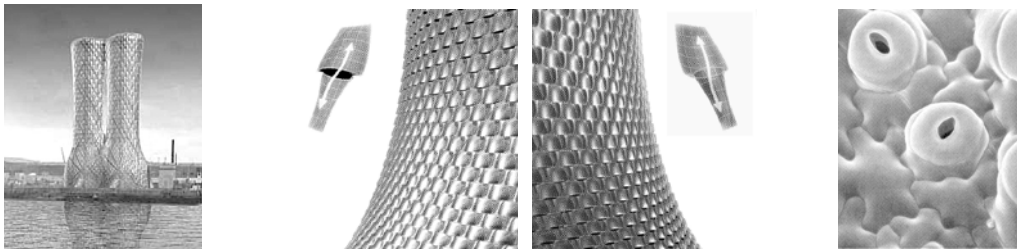


FIG 25 .PROJETO FIT FABRIC  
|DIREITA| STOMATA  
|CENTRO| SIMULAÇÃO DA MEM-  
BRANA DA FACHADA, COM OS  
ORIFÍCIO ABERTO E FECHADO  
|CIMA| SIMULAÇÃO 3D DA  
IMPLANTAÇÃO.

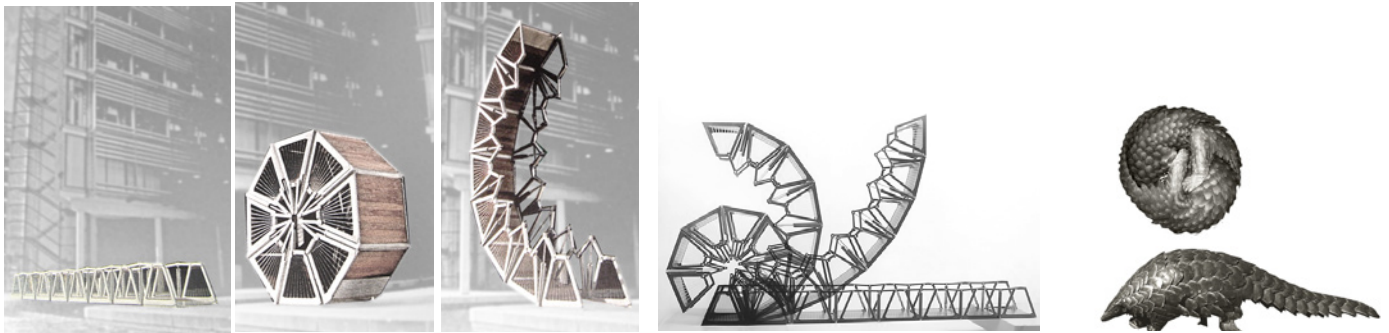
da forma convexa para concava, abrindo e fechando a fachada para deixar passar luz, ar ou calor nas duas direções, gerando assim, a sua própria energia.

Cada projeto é uma oportunidade de estudo e de desenvolvimento de algo novo, dando lugar à aplicação de conhecimentos de outras áreas de saber. A figura 26 mostra o projeto para uma cobertura que pudesse variar em altura, de Renzo Piano. O arquiteto aplica conhecimentos baseados nas asas nos invertebrados para desenvolver uma estrutura cinética inovadora.

Assim como o projeto da *Rolling Bridge*, figura 27, marca o sucesso no emprego de um sistema familiar no pangolim, numa ponte pedestre em Londres. Thomas Heatherwick, em 2004, desenha um mecanismo hidráulico silencioso que permite que a ponte abra e feche, deixando o tráfego náutico circular. Esta interessante solução deu-lhe o prémio *British Structural Steel Award*, em 2005.

FIG 26 PROJETO COBERTURA  
|BAIXO| DESENHOS DE ESTUDO  
DE INVERTEBRADOS E PORMENOR  
DO MECANISMO DE LIGAÇÃO DOS  
ELEMENTOS  
|CENTRO E DIREITA| DU-  
AS VARIAÇÕES DA ALTURA DA  
COBERTURA.

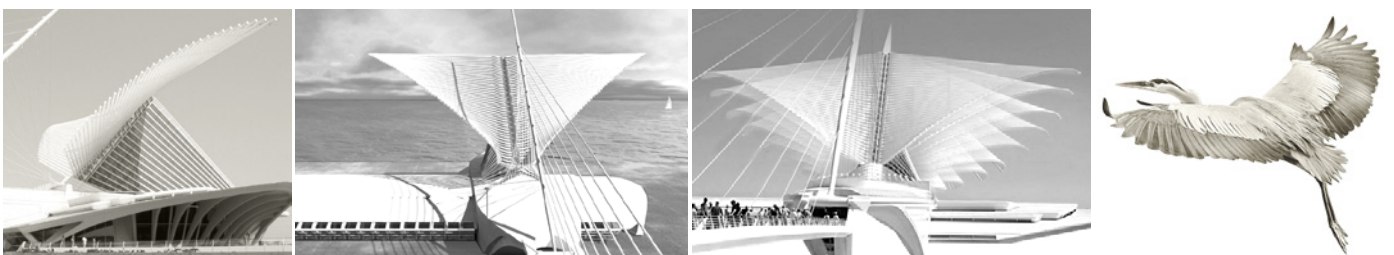




Um dos arquitetos que se tornou uma referência na construção de estruturas, pela aplicação de conhecimentos morfológicos do corpo humano e animal, é o espanhol Santiago Calatrava. O projeto *Quadracci Pavilion*, nos Estados Unidos, abriga um museu de arte com uma entrada de 27 metros de altura. Assemelhando-se a um pássaro, figura 28, as 'asas' em aço funcionam como sombreamento, abrindo e fechando de forma a regular a quantidade de luz necessária na sala de exposições. Este sistema é controlado digitalmente, se o vento ultrapassar os 37 km/h, as asas fecham automaticamente. A fluidez no movimento é conseguida pela utilização de um terceiro elemento de ligação que conecta os elementos móveis ao fixos, como se de uma espinha dorsal se trata-se. Cada elemento tem a capacidade de se mover de forma independente dos outros e é ativado por um sistema hidráulico com 22 pistões dispostos em posições ligeiramente diferentes umas das outras, de forma a permitir uma rotação de 90°.

**FIG 27 ROLLING BRIDGE**  
 | ESQUERDA | OPANGOLIM  
 | CENTRO | SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DA ABERTURA E FECHAMENTO DA PONTE  
 | BAIXO | IMAGENS NO LOCAL

**FIG 28 QUADRACCI PAVILION**  
 | BAIXO | PÁSSARO EM VOO  
 | DIREITA | SIMULAÇÃO DAS VÁRIAS POSIÇÕES DAS ASAS  
 | ESQUERDA | VISTA EXTERIOR





DESCOBERTA *QUANTUM*  
MAX PLANCK

1900

ESCADAS ROLANTES  
MODERNAS  
CHARLES SEEBERGER



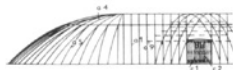
AR CONDICIONADO  
WILLIS CARRIER

1902

FORMAS ZOOMORFICAS APLICADAS  
NO CUBISMO  
JANAK

1912

1ª ESTRUTURA PNEUMÁTICA  
F.W. LANCHESTER



FABRICA FAGUS  
WALTER GROPIUS

1914

SCHRÖDER HOUSE  
PROTOTIPO DE CASA TRANSFORMAVEL  
GERRIT RIETVELD

1924

PAVILHAO BARCELONA  
MIES VAN DER ROHE

1929

ONDAS RADIO

1920

1º ROBO  
INICIO DA VIDA ARTIFICIAL

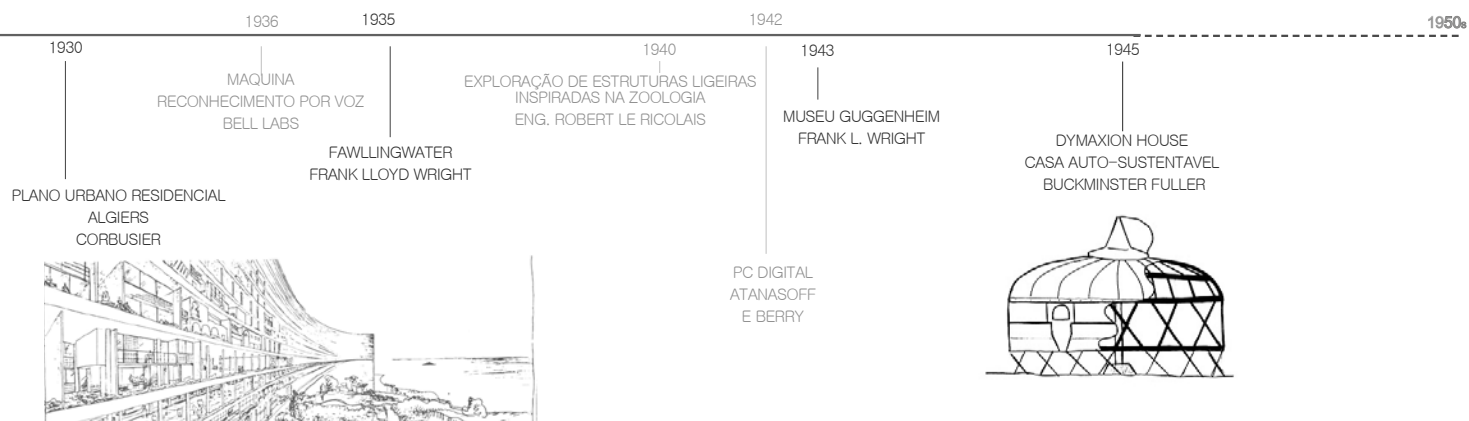


SISTEMA ELETRÔNICO TV  
TAYLOR FARNSWORTH

1927

## 2.2

## EVOLUÇÃO HISTÓRICA – DO ESTÁTICO AO DINÂMICO



*'Most recently, the advent of new technologies has been changing buildings as responsive rather than static structures. The uses of technologies such as sensors, actuators, microprocessors, and responsive materials have revolutionized our daily lives.'*<sup>96</sup>

96. DIPTI SHAH (2007:1)

O arranque do século XX foi marcado por inúmeras descobertas científicas que vieram impulsionar o desenvolvimento em muitos setores da engenharia e consequentemente a arquitetura. Descobrem-se as ondas rádio, inventa-se a televisão e o primeiro computador digital. Este despoletar de conhecimento e tecnologia introduziu alterações significativas no processo e na prática da arquitetura, abrindo um mundo de possibilidades que até então não eram possíveis.

Os anos 60 constituíram uma importante década para a formulação de princípios da arquitetura, tanto à escala do edifício, como à escala da cidade. Os CIAM<sup>97</sup> estavam em plena atividade na formulação de princípios reguladores do planeamento urbano, organizados segundo as diversas funções da cidade, num desenho que privilegiava a mobilidade, flexibilidade e a higiene citadina. Arquitetos como Corbusier, Oscar Niemeyer, Alison Smithson e Aldo van Eyck, faziam parte deste grupo de urbanistas que usavam o “*average man*” como medida base para o desenho dos edifícios.

97. CONGRESSOS INTERNACIONAIS DE ARQUITETURA MODERNA

*'Friedman, however, asserts the existence of a necessity biologique de l'amusement which claims a liberte de choix sans aucune opposition that in its turn can be delivered only by his architecture/urbanisme mobile. The concept is important because it implies another reason for the changeability of the subsidiary accommodations in his, or anybody's megastructures: they were to change not only because the termination of their original functions or structural integrity, like the leaves of Tange's metabolist tree, but also so that they should not obstruct the vie ludique, the play life, of the citizenry.'*<sup>98</sup>

98. REYNER BANHAM (1976:81)

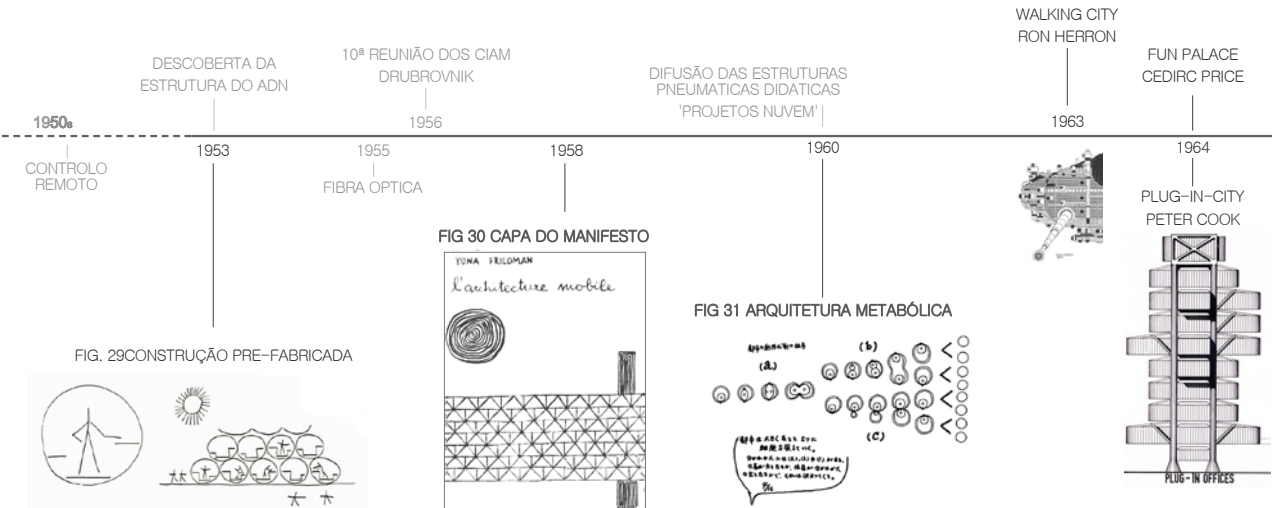


FIG 29 | 1953-1958|  
DESENHOS ESQUEMÁTICOS PARA  
UMA CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRI-  
CADA DE ABRIGOS TEMPORÁRIOS  
PARA ZONAS CLIMÁTICAS QUENTES.  
O CILINDRO CONSTITUI A MELHOR  
FORMA DE ARREFECIMENTO  
NATURAL E PERMITE A SUA FÁCIL  
SUBSTITUIÇÃO.

99. FRIEDMAN NASCEU NA HUN-  
GRIA EM 1923 E MOVEU-SE PARA  
FRANÇA DURANTE A 2ª GUERRA  
MUNDIAL.

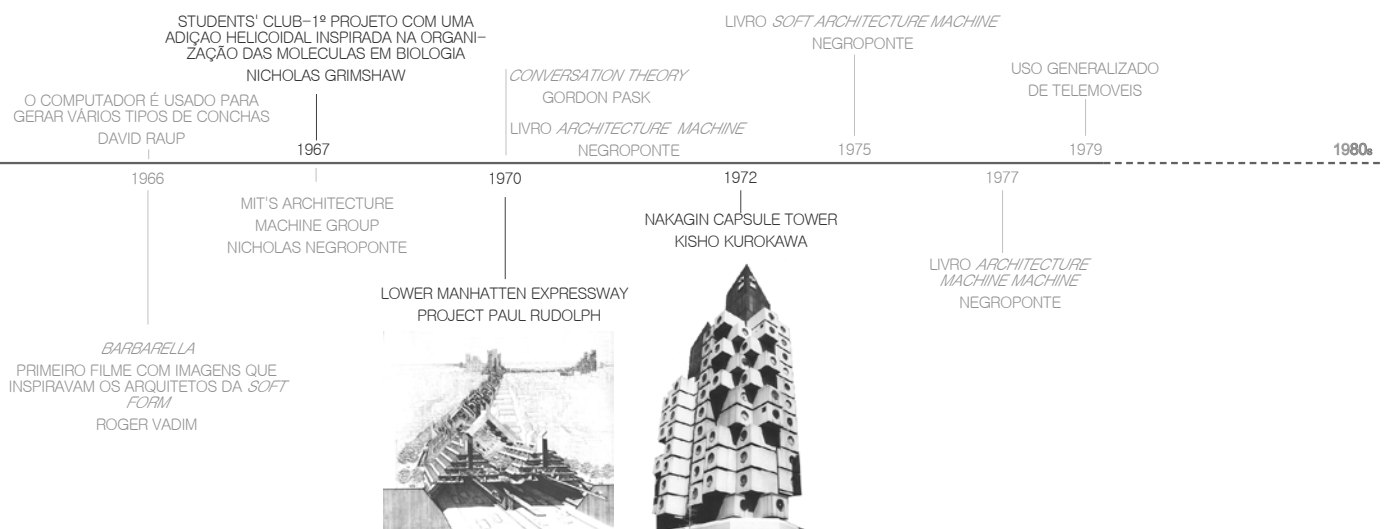
Yona Friedman<sup>99</sup>, como afirma Baham, tinha no entanto uma visão diferente dos urbanistas e dos arquitetos seus contemporâneos. Acreditava numa arquitetura mais flexível, onde o habitante deveria ter um papel importante na 'personalização' do seu próprio espaço.

Foi convidado pela primeira vez à 10ª reunião dos CIAM, em Dubrovnik, onde aproveitou para apresentar o seu recente Manifesto intitulado *l'Architecture Mobile*, (fig.30) onde inúmeras são as bases para o desenvolvimento de uma cidade espacial. Nesse manifesto são lançadas as bases para o desenvolvimento de uma arquitetura que contém em si a hipótese de se adaptar às diferentes necessidades dos seus utilizadores, apelando à liberdade de escolha e dando início a uma linha de pensamento arquitetónico diferente da dos urbanistas.

Formando o megaestruturalismo, Yona Friedman e juntamente com o grupo Archigram levam os princípios dos urbanistas mais longe propondo uma cidade que fosse não só construída através de unidades modulares, mas que fosse possível de ser estendida infinitivamente, através de uma 'estrutura principal', como podemos ver no Projeto de uma autoestrada para Manhattan, em 1970. Podemos ver o desenho de uma cidade elevada que contém a possibilidade de se estender infinitivamente através de um sistema estrutural principal. Nessa reunião dos CIAM, foram os Smithson que mais rejeitaram esta ideia de uma cidade que contemplasse as especificidades de cada indivíduo, esquecendo talvez algumas ideias lançadas por Corbusier no plano urbanístico para Algiers.

Ao mesmo tempo, no Japão, influenciados talvez pelo Manifesto de Friedman, dava-se início ao movimento arquitetónico metabólico<sup>100</sup>, liderado por Kenzo Tange que se inspirava no metabolismo dos organismos vivos. Defendiam uma cidade capaz de se 'renovar e crescer continuamente, com um metabolismo próprio'.<sup>101</sup> Partilhando a ideia de uma cidade feita a duas escalas, uma grelha estrutural principal (de longa duração) com unidades modulares descartáveis (de duração inferior), a arquitetura metabólica japonesa

100. NA FIG.31 PODEMOS VER OS  
ESQUEMAS DO CONCEITO DE ME-  
TABOLISMO URBANO, DE KIYONORI  
KIKUTAKE  
101. (LIN, 2010:22)



assentava numa perspetiva de crescimento baseada nos sistemas biológicos, enquanto que o megaestruturalistas se baseavam na ideia de 'crescimento inspirada nos sistemas eletrónicos, informáticos e mecânicos da época, mais utópica e menos social.'<sup>102</sup>

102. (LIN, 2010:11)

O surgimento de novas tecnologias potenciadas pelas recentes descobertas científicas inspirou vários arquitetos como Cedric Price e os Archigram. Os projetos do Fun Palace, Plug-in-City e Walking city, em 1964, foram precursores uma nova ideia de arquitetura, dando origem a um novo grupo de arquitetos, os cibernéticos. Defendiam, citando Price, os princípios de um 'processo arquitetónico indeterminado, flexível e responsivo às mudanças de necessidades dos seus utilizadores no seu tempo.'<sup>103</sup> citando Price.

103. (FOX, 2008:15)

## ARQUITETURA, TECNOLOGIA E INTELIGENCIA

Este recente interesse pelo uso da tecnologia e as suas capacidades de feedback foi potenciado, em parte, com a declaração da atividade da arquitetura como uma 'ciência do desenho'<sup>104</sup>, em Inglaterra, segundo Moloney. Nicholas Negroponte funda o grupo *Architecture Machine* no MIT, onde começa a desenvolver projetos de investigação para uma arquitetura que reagisse aos seus ocupantes, com base no trabalho desenvolvido por Pask sobre processos de construção do conhecimento, exposto no livro 'Teoria da Comunicação.'<sup>105</sup>

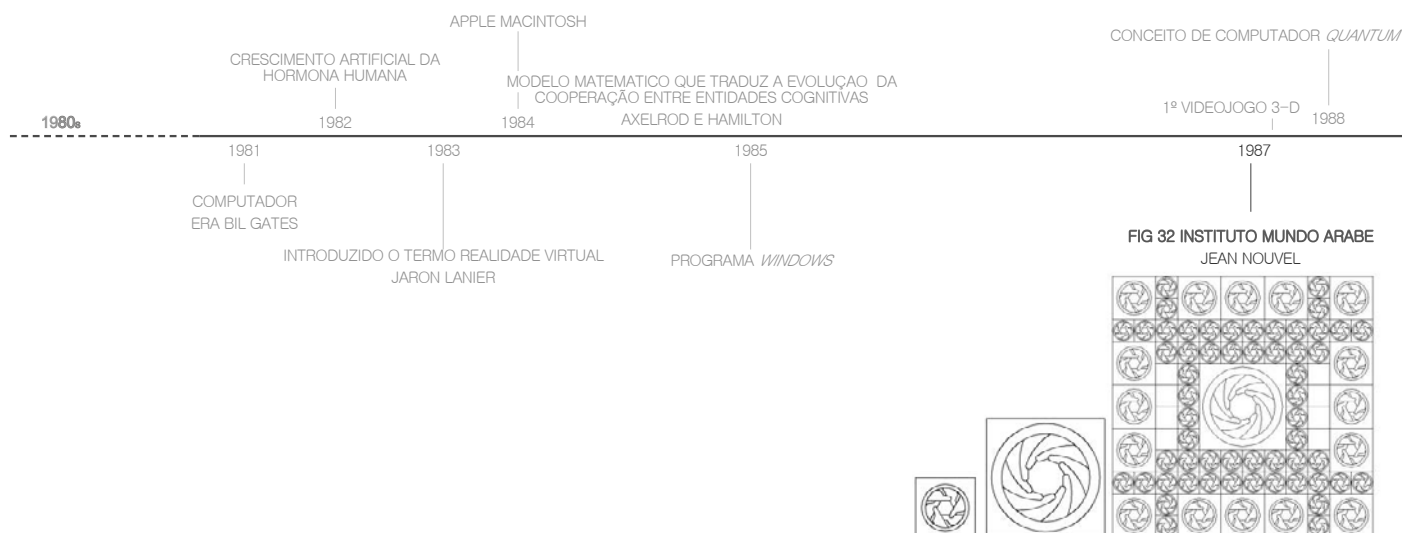
104. (MOLONEY, 2011:54)

105. *CONVERSATION THEORY*, DE GORDON PASK (1970)

Esta profunda investigação sobre a estrutura da comunicação entre dois participantes e o conhecimento gerado dessa interação influenciou outros cibernéticos da altura, nomeadamente William Brody, Andrew Rabeneck e John Frazer, que 'defendiam que deveríamos de ser capazes de ensinar ao ambiente primeiro a complexidade, depois a auto-organização e depois a inteligência'<sup>106</sup>. Negroponte, nos dois livros que escreveu<sup>107</sup>, questiona-se sobre o papel da arquitetura e do arquiteto na sociedade, colocando em causa os seus

106. '(...) THAT WE TEACH OUR ENVIRONMENTS FIRST COMPLEX, THEN SELF-ORGANIZING, INTELLIGENCE THAT COULD EVENTUALLY BECOME EVOLUTIONARY.' (FOX, 2008:14)

107. *ARCHITECTURE MACHINE* (1970) E *SOFT ARCHITECTURE MACHINE* (1975)



métodos. Critica ainda a standardização como método castrador do indivíduo e propõe a introdução de inteligência na arquitetura como forma de a tornar mais pessoal e adaptada a cada indivíduo. As suas ideias materializam a vontade de relacionar a arquitetura, tecnologia e inteligência, ou seja, 'os ambientes deveriam de possuir mecanismos capazes de reconhecer e compreender o contexto antes de levar a cabo uma operação,'<sup>108</sup>. Escreve que 'o homem vive numa relação não-natural com a sua casa'<sup>109</sup> e deve por isso 'procurar criar um ambiente que regule ativamente a relação entre interior e o exterior.'<sup>110</sup>

108. (NEGROPONTE, 1977:2)

109. (NEGROPONTE, 1975:98)

110. (NEGROPONTE, 1975:131)

111. A CIBERNÉTICA PODE SER DIVIDIDA EM TRÊS FASES, SEGUNDO MOLONEY. (2011:54)

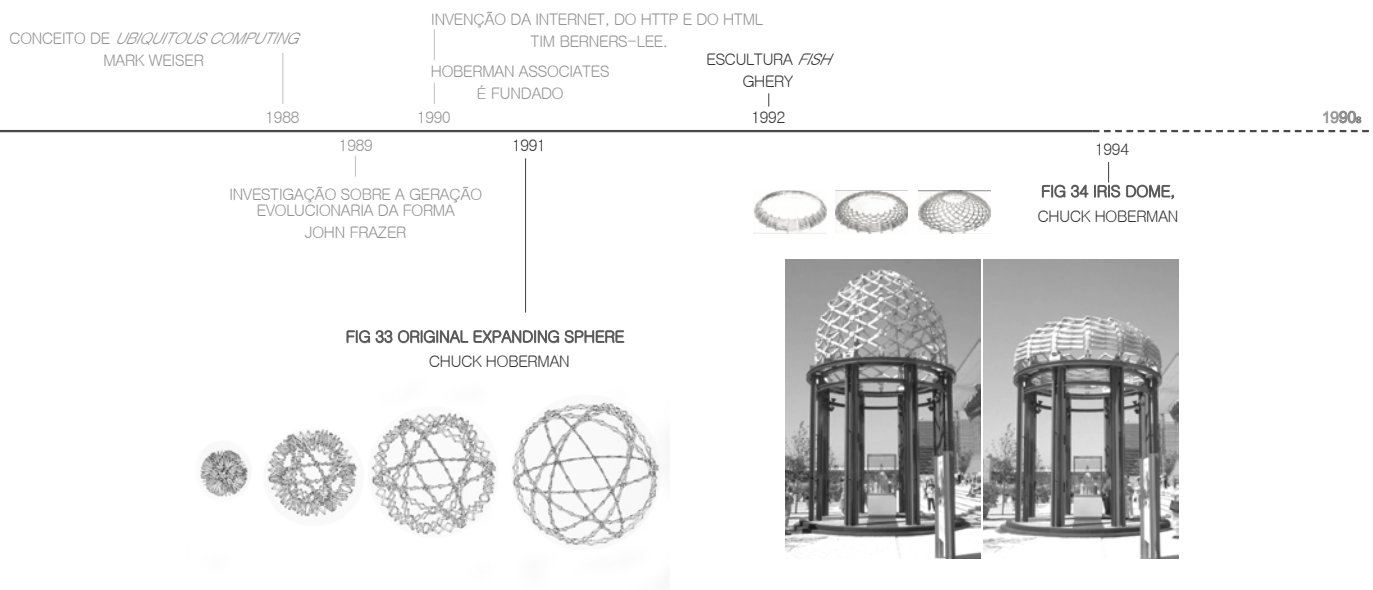
A primeira fase da cibernética<sup>111</sup> centrou-se muito em torno do conceito *input/output*, baseado num sistema que se atualizava segundo uma informação pré-estabelecida, numa simples atividade riativa. Este pensamento evoluiu, numa segunda fase, para um processo que funcionaria em ciclos, onde os papéis de emissor/ receptor não eram mais claros e a troca de informação passaria a funcionar nos dois sentidos. A terceira fase da cibernética está associada, geralmente, a Frazer, quando pega neste conceito de relação recíproca entre construído e envolvente e alia a processos digitais de geração de formas emergentes, propondo um modelo de arquitetura que pudesse 'evoluir' ao longo do tempo. Mais que interativa, estaria constantemente a atualizar o seu processo de feedback com base na constante recolha de informação, dando-lhe o nome de '*iterative adaptation*'.<sup>112</sup>

112. (FRAZER: 1995:67)

113. CEDRIC PRICE, 1934

*'Technology is the answer, but what was the question?'*<sup>113</sup>

Os anos 60 e 70 marcam um período de intensa procura na introdução das novas tecnologias na arquitetura. Implusionados pelas ideias de Cedric Price, os cibernéticos viram na descoberta dos sistemas digitais e na capacidade de resposta inteligentes dos novos aparelhos um poderoso potencial que podia revolucionar a forma de contruir e de viver da sociedade, através da criação de ambientes que pudessem interagir com os seus ocupantes. No entanto a técnica construtiva ainda não acompanhava esta visão revolucionária da arquitetura, levando a que estas ideias existissem apenas em teoria.



## MECANISMOS MÓVEIS

Iniciado por Jean Nouvel, os mecanismos móveis<sup>114</sup> começam a ganhar destaque nos anos 80, iniciando o discurso à volta de sistemas móveis na arquitetura em que o 'movimento controlado via manual, elétrico ou digital que permite uma transformação e mediação do ambiente numa visão mais geral, desde o clima até ao comportamento humano.'<sup>115</sup>

De uma forma inteligente, o arquiteto cria um mecanismo auto-regulável, para a fachada do Edifício do Mundo Árabe, capaz de limitar a quantidade de luz recebida no interior do edifício, figura 32.

Nos anos seguintes, Chuck Hoberman<sup>116</sup>, dá continuação a este trabalho na procura de mecanismos com capacidade de reagir na arquitetura. Inicialmente escultor, Hoberman tira depois o curso de engenharia, em 1985, fascinado com o potencial que a tecnologia poderia alcançar no campo da construção. Começa a trabalhar numa companhia de robótica como desenhador de sistemas de automação, comercializando para o governo e a indústria.

Desenvolve o primeiro modelo tridimensional de uma esfera expansiva (figura 33), expõe no Centro de Ciência Aberta, em Jersey, e a partir daí começa a receber vários convites para exibir publicamente a sua arte. 'Expandindo e contraindo através de controlo programado, estas peças para além de conter em si qualidades espaciais arquitetónicas, exibem uma performance através do movimento perante o visitante.'<sup>118</sup> Hoberman construiu Hoberman desde então começa a desenvolver estruturas cinéticas de maior escala para museus e áreas comerciais em todo o mundo, baseadas no mesmo princípio, como é o exemplo do projeto *Iris Dome*, (fig. 34), que inicialmente é exposto no Museu de Arte Contemporânea de Nova York, em 1994, e depois é aplicado a uma estrutura de planta circular para a exposição em Hanover, em 2000.

114. BRANCO KOLAVERIC, NO SEU LIVRO *PERFORMATIVE ARCHITECTURE*, FALA DO CONCEITO "DEVICE PARADIGM" QUE FOI INTRODUIDO PELA PRIMEIRA VEZ ANOS 80 POR ALBERT BORGMANN. O ARQUITETO AFIRMA QUE A INTELIGÊNCIA DO MECANISMO NÃO É MEDIDA PELO ÂNGULO DA SUA ABERTURA, MAS PELA SUA CAPACIDADE DE SE AUTO-AJUSTAR ÀS CONDIÇÕES NÃO SÓ PREVISTAS, MAS TAMBÉM AS QUE NÃO SÃO PENSADAS.

115. (KOLAVERIC, 2003:12)

116. FUNDADOR A EMPRESA HOBERMAN ASSOCIATES EM 1990



## O INÍCIO DE UMA ARQUITETURA INTERATIVA

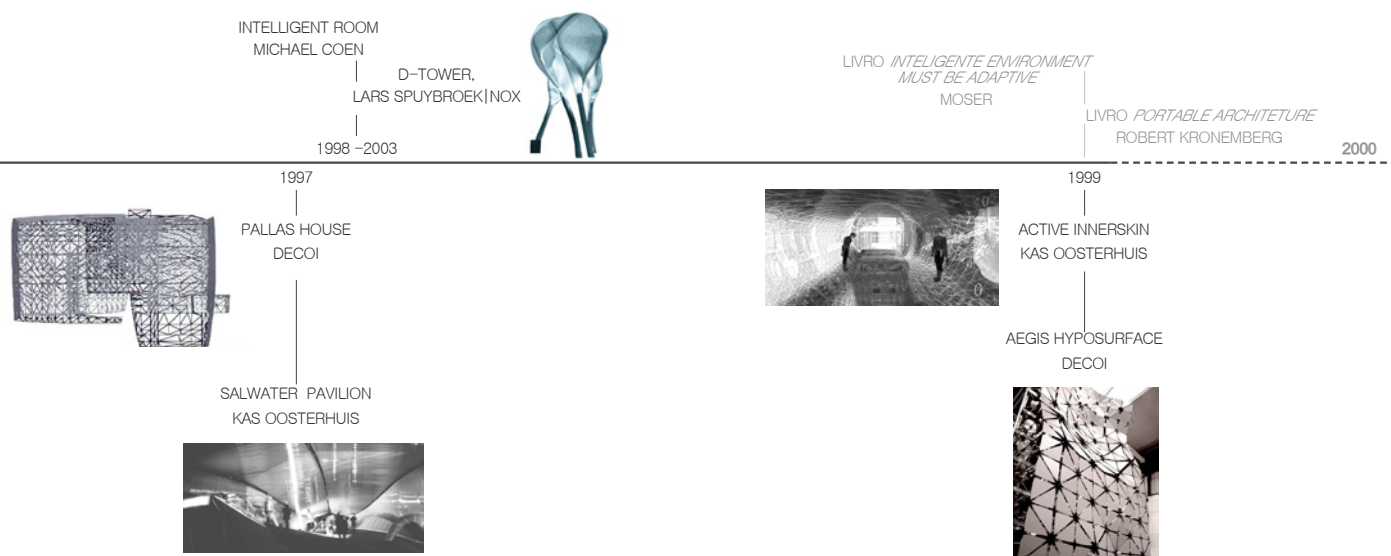
As teorias lançadas por vários arquitetos visionários no início do século, como Yona Friedman, Cedric Price e Nicholas Negroponte sobre uma arquitetura móvel e adaptável às diferentes necessidades da sociedade, inspiraram não só os arquitetos da época como os que lhes precederam. Mas só a partir da década de 90 é que as essas ideias se tornaram tecnologicamente e economicamente mais acessíveis.

O conhecimento mecânico funde-se cada vez mais com o eletrônico, dando origem à comercialização de novas formas de comunicação como telemóveis, o rádio, a televisão, o computador pessoal e a internet, potenciando o surgimento de novos campos de existência não materiais, a “realidade virtual” introduzida por Jaron Lanier, na década de 80. Ao mesmo tempo, na arquitetura, os mecanismos tornam-se mais sofisticados ao nível da climatização e da eficiência energética. E a descoberta do controlo remoto, que introduziu mudanças significativas ao nível do conforto para o homem, associado ao desenvolvimento dos estímulos sensoriais ao nível da projeção da imagem, potenciada pelo cinema, veio revolucionar totalmente os espaços na arquitetura.

*'Eisenman's goal was to create a heightened state of "present-ness" by creating space which more fully inhabits three dimensions. According to Eisenman, "architecture will continue to stand up, to deal with gravity, to have four walls". But these four walls need no longer be expressive of the mechanical paradigm.'*<sup>117</sup>

117. GUY GARDENER (2011:7)

O paradigma do mecanismo, como vimos anteriormente, foi um importante avanço na introdução de elementos movimento na arquitetura, no entanto, como escreve o autor, é importante conceber uma arquitetura de uma forma mais holística, como um sistema total e integrado. O primeiro edifício a explorar a interatividade na arquitetura nas suas três



dimensões foi o pavilhão da água do arquiteto Lars Spuybroek (fig.35). Constitui o primeiro exemplo sobre o 'que o futuro da arquitetura responsiva pode reservar', segundo Sterk<sup>118</sup>. Através de inúmeros sensores (táteis, de luz e de prensão) o edifício tem a capacidade de se reconfigurar em tempo real em função dos visitantes, mudando constantemente a percepção que este tem do seu interior. Apesar da interatividade não ser ainda de uma forma física, este projeto tornou-se o 'primeiro intermediário a conectar comportamento e ação ao tempo.'<sup>119</sup> Mais importante, este edifício introduz a ideia da tecnologia como um sistema integrado e fundido com a arquitetura. Mais tarde aplica o mesmo conceito, da integração de pele e estrutura no mesmo projeto, na construção da *D-Tower*. Multiperformativo, o edifício comunica em tempo real com a cidade, através da leitura das variações de humor dos habitantes, mudando de cor conforme as emoções ao longo do dia, num verdadeiro 'estado de saúde metal da cidade.'<sup>120</sup> Apesar do tipo de interação não ser ao nível físico, contribui de uma forma essencial para a discussão da importância dos edifícios como elementos participativos na cidade, como parte de uma cooperação entre todos.

118. (STERK, 2012:4)

119. (ZELLNER, 1999:118)

120. (KOLAVERIC, 2003:204)

Mark Weiser, em 1988 denominou pela primeira vez este conceito de computação integrada na arquitetura de '*ubiquitous computing*'<sup>121</sup>. Por outras palavras, introduz a noção de que não necessitamos de nos aperceber do que é controlado ou não pela tecnologia. Os sistemas e aparelhos computacionais passam a fazer parte do nosso quotidiano, gerindo as diversas atividades comuns e rotineiras de uma forma calma e 'invisível' aos nossos olhos. Estas ideias sobre uma era de uma tecnologia calma é aprofundada num artigo escrito, em 1995, pelo mesmo arquiteto com o título *Designing Calm technology*.

121. UBÍQUO: (LATIM UBIQUUS)ADJ.  
1. QUE ESTÁ AO MESMO TEMPO EM  
TODA A PARTE = OMNIPRESENTE,  
2. QUE ESTÁ DIFUNDIDO EM TODO  
O LADO. = GERAL, UNIVERSAL

No desenvolvimento da noção de ambientes interativos e inteligentes, surgem três nomes no final da década de 90 que contribuíram ativamente para a fusão mais profunda entre arquitetura e tecnologia, Michael Moser, Michael Coen e Robert Kronenberg.

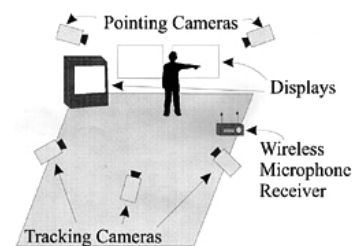


FIG 36 INTELLIGENT ROOM  
PROJETO PARA UM ESPAÇO INTE-  
RIOR INTELIGENTE DESENVOLVIDO  
POR MICHAEL COEN, 1995..

*'We have focused on home comfort systems, specifically air temperature regulation, water temperature regulation, and lighting. Instead of being programmed to perform certain actions, the house essentially programs itself by monitoring the environment and sensing actions performed by the inhabitants (e.g., turning lights on and off, adjusting the thermostat), observing the occupancy and behavior patterns of the inhabitants, and learning to predict future states of the house.'*<sup>122</sup>

122. MICHAEL MOSER, (2005:3)

Aprofundando o trabalho sobre espaços que possam responder ativamente às necessidades dos seus utilizadores de Moser<sup>92</sup>, Michael Coen desenvolve, em 1998 no MIT, um projeto para um quarto inteligente (fig.36). O objetivo consistia em introduzir tecnologia inteligente em todos os objetos e através do reconhecimento da voz do utilizador, respondia ativamente ao seu pedido, criando um tipo de interação semelhante ao que temos quando nos relacionamos com outra pessoa, através da comunicação verbal. Num espaço como um escritório ou uma sala de reuniões, uma pessoa através do controlo por voz, pode projetar as informações pretendidas na parede ou obter uma resposta verbal quando necessitar.

Abordando a questão da relação do homem com o edifício de uma outra perspetiva, Rober Kronenberg desenvolve uma série de exposições e trabalhos escritos sobre 'edifícios ou ambientes transportáveis'. À semelhança do trabalho dos Archigram sobre cidades que se movem, os ambientes transitórios introduzem a ideia de um tipo de arquitetura que se adapta de uma forma constante a ambientes diferentes e com um caráter temporário. Para o arquiteto ser temporário não os (edifícios) torna menos importantes para as pessoas ou com um impacto menor. 'Se esses benefícios podem ser conseguidos com estruturas que usam menos recursos, com um baixo impacto ambiental, e são recicláveis, então possuem um potencial que deve de ser explorado e desenvolvido.'<sup>123</sup>

123. (KRONENBERG, 1999:5)



*'Our work seeks to harness the potentials of performativity by using temporal techniques to simulate the indeterminable unforeseeable influences and inevitable unforeseen events and accidents that invigorate dynamic environments.'*<sup>124</sup>

**FIG 37 KAAS OOSTERHUIS**  
 | ESQ | SALTWATER PAVILLION 1997  
 | CENTRO | ACTIVE INNERSKIN 1999  
 | DIREITA | MUSCLE 2003

124. ALIM RAHIM  
 (KOLAVERIC, 2003:177)

Para além de Lars Spuybrock, existem outros arquitetos que contribuíram ativamente para a criação de uma dinâmica ativa entre ambiente e público, destacando-se os projetos de Kas Oosterhuis. Arquitetos como Kolaveric e Alim Rahim classificam este tipo interatividade como a *performace* do edifício, ou seja, a forma rápida e eficiente do edifício responder aos problemas que nela surgem.

O seu primeiro projeto, fig.37, o *Saltwater Pavillion*, a interação através de projeções de imagens, luzes e sons, entre edifício e visitante, assemelha-se às feitas no pavilhão da água<sup>95</sup>. No entanto serviu para potenciar o desenvolvimento de outros projetos como o *Ative Innerskin* e o *Muscle*. Apesar de não ter sido construído, o *Innerskin* apresenta a possibilidade de um espaço interior totalmente reconfigurado, introduzindo pela primeira vez a interação física na arquitetura. Kas Oosterhuis desenvolve a ideia de um espaço pensado para os astronautas, que, através do fornecimento de dados de um ambiente exterior, pode ser totalmente reconstruído artificialmente, não só digitalmente, através de imagens, mas também topograficamente, através de uma membrana flexível. Este ambiente artificial em tempo real seria possível graças ao uso de barras pneumáticas controladas informaticamente que reconfigurariam toda a membrana flexível que compõe o espaço interior, aliado ao uso de um contínuo LCD com imagens digitais. O seu outro projeto, *Mucle*, como o próprio nome indica, é um espaço que, ao contrário do *Innerskin*, reage aos estímulos da envolvente através de barras pneumáticas controladas informaticamente, modificando todo o espaço não só interior como exterior, como se possuísse vida própria.<sup>125</sup>

125. SERÁ MELHOR APROFUNDADO NO CAPÍTULO III, EM SISTEMAS PNEUMÁTICOS, NA PÁGINA 97.

Nestes três projetos, o arquiteto tenta explorar a criação de espaços como um sistema

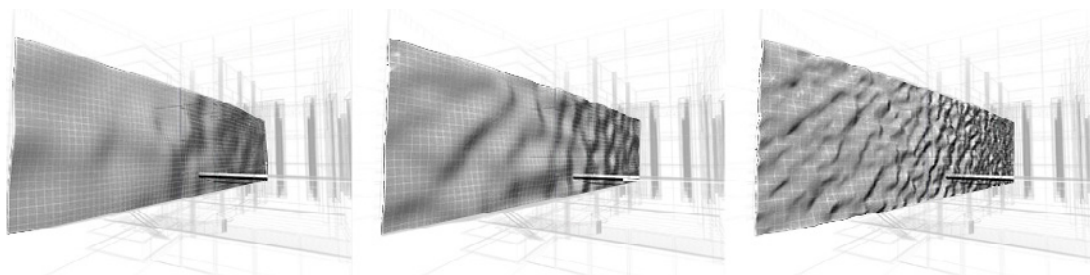


FIG 38 *AEGIS HYPOSURFACE*  
DECOI

que integra forma, estrutura e espaço numa completa dicotomia interrelacional capaz de interagir com a envolvente e de desenvolver uma inteligência própria, a que lhe chama de 'Edifício-Corpo'. Rejeita o uso de geometrias de platão, cubo, esfera, cilindro e o cone, como elementos básicos da arquitetura, visionando a arquitetura como um intermediário em evolução que sintetiza geometrias e aspetos complexos das ações humanas. 'Os edifícios estão a tornar-se estruturas informatizadas em que não podemos mais ter o seu controlo total e isso pode influenciar o seu contexto imediato de acordo com o seu comportamento imprevisível e desconhecido.'<sup>126</sup> Na universidade de Delf, lidera agora o grupo de pesquisa *Hyperbody*, onde juntamente com os alunos exploram técnicas e métodos para uma arquitetura não estandardizada, virtual e interativa que possa ser animada em tempo-real, baseada nos mais avançados conhecimentos tecnológicos que se encontram ao nosso dispor.

126. (ZELLNER, 1999:68)

127. ATELIER LIDERADO POR MARK GOULTHORPE DESDE 1991 COM O INTUITO DE PARTICIPAR EM VÁRIAS COMPETIÇÕES DE ARQUITETURA ONDE EXPLORAM NOVAS POSSIBILIDADES DE PROJETO BASEADO NAS TECNOLOGIAS MAIS RECENTES DE INTERAÇÃO.

No mesmo ano de 1999, os dECOi<sup>127</sup>, ganham um concurso do desenho de uma peça de arte interativa para o Museu hipódromo de Birmingham. A proposta consistia numa superfície vertical reconfigurável que, colocada no exterior da sala de espetáculos, reagiria em tempo-real aos sons e movimentos realizados no interior, fig.38. A *Aegis Hypo-Surface* é capaz de deformar a sua forma graças ao uso de 896 elementos mecânicos pneumáticos que permite, assim, reagir à informação captada por sensores do ambiente. 'A parede descreve formas tridimensionais em constante movimento (...) a sua geometria real atualiza-se, a cada instante, numa forma específica e inesperada.'<sup>129</sup> Este projeto também será detalhado mais pormenorizadamente no último capítulo<sup>128</sup>.

129. (SOUSA, 2005)

128. VER PAGINA 99.

## 2.3

## SISTEMAS CONSTRUTIVOS – DA REAÇÃO À INTELIGÊNCIA

*'Architecture is in motion; it is kinetic both literally and phenomenally. Kinetic motion, however, is now becoming an integral part of architectural thought and realization.'*<sup>130</sup>

130. GARY BROWN,  
(KRONENBERG, 2003)

## MOVIMENTO E CINÉTICA

O movimento esteve sempre presente na arquitetura, está diretamente associado ao tempo e à forma como a nível espacial e material este lida com a cinética dos nossos corpos, dos nossos sentidos e das nossas necessidades. Por não poder ser entendida como algo que apenas é visto numa só perspetiva, ou como uma fotografia, a arquitetura tem explorado ao longo da história várias formas de lidar e jogar com o movimento; através da transformação causada por um evento, do movimento dos ocupantes, pelos efeitos óticos causados pela mudança de luz ou da humidade, pelo desgaste dos materiais ou pela sensação de movimento criado por algumas formas e superfícies dinâmicas. Uma outra possibilidade é o uso de sistemas cinéticos, ou seja, métodos de desenho que introduzem transformações geométricas ou outras técnicas de animação, permitindo a geração do movimento através da variação da forma.

Durante muito tempo os sistemas estruturais na arquitetura foram pensados com um caráter permanente, fixo e imóvel. O desenho de mecanismos ligados ao movimento estavam relacionados com a engenharia mecânica e a indústria. Com o despoletar da Revolução industrial, os arquitetos trazem para o campo da arquitetura novas formas de desenho dos elementos estruturais, acarretando novas possibilidades como a de introduzir o movimento físico na arquitetura. O projeto para a casa *Schröder*<sup>131</sup> é um dos primeiros a introduzir o conceito de espaços transformáveis cineticamente. A ideia inicial do arquiteto era tornar o interior num espaço amplo, sem divisões, mas mantendo essa ideia. O desenho revolucionário das paredes móveis permitiu gerar um interior flexível, ao multiplicar-se em espaços individuais, quando corridas, ou então ser um espaço contínuo, quando recolhidas, respondendo às diferentes necessidades e rotinas da família.

Fox define a arquitetura cinética como 'um edifício ou partes do edifício que contenham

131. DESENHADA EM 1924  
POR GERRIT RIETVELD, A CASA  
SCHRÖDER LOCALIZA-SE NOS  
PAÍSES BAIXOS E É UM DOS ÍCONES  
DO MOVIMENTO *DE STIJL* NOS  
ANOS 20.

FIG 39 [PAGINA 64]  
FOTOGRAFIA DE ALTA VELOCIDADE,  
HAROLD EDGERTON.

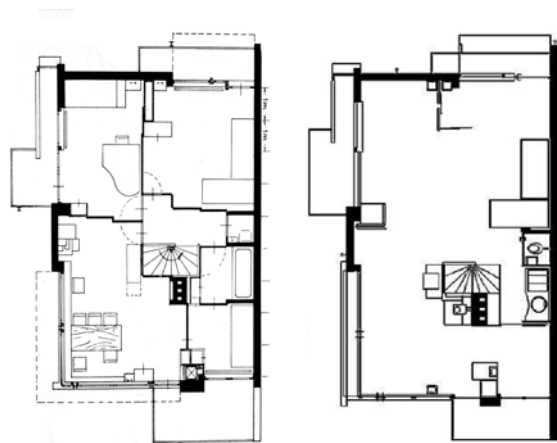


FIG 40 CASA SCHRÖDER  
 [DIREITA] PLANTA PISO 1 COM AS  
 PAREDES DIVISÓRIAS RECOLHIDAS  
 [ESQUERDA] PLANTA PISO 1 COM  
 AS PAREDES DIVISÓRIAS FECHADAS  
 132. (FOX, 2003:113)

mobilidade, localização ou geometria que são variáveis.<sup>132</sup> Ou seja, como o próprio nome indica, os sistemas cinéticos conferem à construção a capacidade de se mover fisicamente, na sua totalidade ou algumas partes. É importante salientar que, uma arquitetura que possui em si elementos que têm a capacidade de se moverem não é suficiente para a tornar inteligente. Sterk escreve que, para isso acontecer, 'é necessário que os elementos que acionam o movimento trabalhem em conjunto com outros dispositivos de forma a interpretar e processar a informação do mundo físico de forma a produzir uma ação ou resposta em conformidade com a mudança sugerida'<sup>133</sup>.

133. (STERK, 2012:89)

Desta forma, iremos primeiro analisar o movimento dos sistemas cinéticos quanto ao seu Tipo, Meio e Tipologia e, depois, numa segunda fase, veremos como se pode desenhar um edifício com comportamentos de reação, interação ou inteligência.

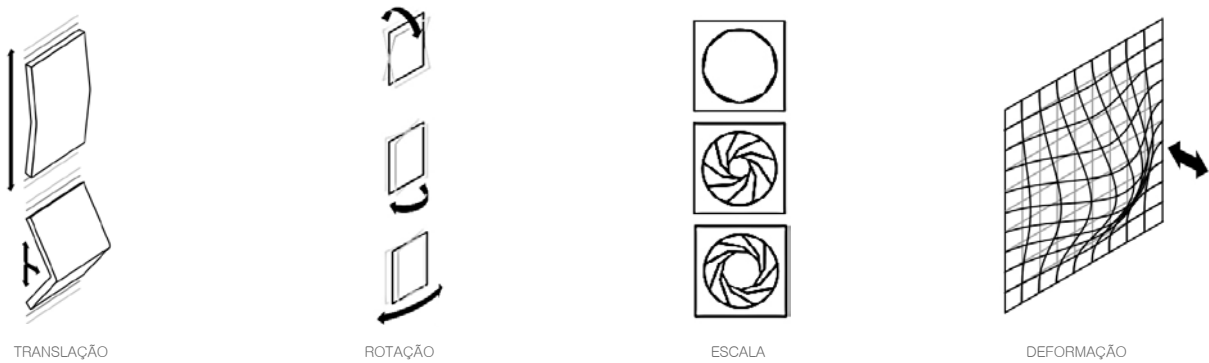
## TIPOS DE MOVIMENTO

O movimento aplicado nas composições arquitetônicas está diretamente relacionado com as transformações geométricas dos elementos dos seus elementos. A variação pode ocorrer segundo quatro formas; translação, rotação, escala e deformação.<sup>134</sup>

134. SEGUNDO O SISTEMA DE  
 CLASSIFICAÇÃO DE JULES MO-  
 LONEY

O movimento de translação permite conservar a forma inicial do material e baseia-se na deslocação dos elementos individuais numa ou mais direções no espaço, como podemos ver na figura 41. O movimento de translação vertical incorporada nos elementos, permite o controlo de luminosidade e ventilação no interior do edifício, gerando múltiplos padrões de composição de translação, controlados através de computador.

Da mesma forma, os movimentos de rotação permitem o movimento, não ao longo de, mas em torno de um eixo. Este tipo de movimento já existe em diversas aplicações na arquitetura, como portas e janelas, em que o movimento é tipicamente uniforme, regular e



numa direção horizontal ou vertical. Explorando padrões de composição mais complexos, a figura 42 mostra que através da rotação simultânea dos elementos nos três eixos, permite a criação de uma fachada mais dinâmica e com um maior controlo da relação entre interior e exterior.

Os movimentos cinéticos que mexem com a escala implicam uma modificação na dimensão original do componente, aumentando ou reduzindo espacialmente o seu tamanho de forma proporcional ao formato inicial. O exemplo mais conhecido é talvez o Instituto do mundo árabe, fig.43, em que o mecanismo da fachada assemelha-se ao funcionamento de abertura de uma lente de uma camara fotográfica. O sistema funciona num movimento radial de escala que permite a cada dispositivo abrir e fechar de uma forma individual e independente, gerando uma rica variação visual de soluções na fachada.

O mesmo se aplica a transformações por via da deformação, a mais complexa de todas, não necessita que a proporção de mantenha. A figura 44 mostra a transformação de uma fachada. A deformação só é possível quando o material usado tem a propriedade elástica que lhe permite aumentar ou reduzir de tamanho. Este tipo de transformação geométrica acontece muitas vezes à microescala, onde existem alterações a nível das propriedades da massa ou da elasticidade, como é o caso dos metais com a forma memorizável<sup>135</sup>, que quando submetidos a mudanças de temperatura voltam à sua forma inicial.

Para cada uma destas transformações geométricas, o movimento cinético pode ocorrer em três graus de liberdade, dependendo da posição, orientação ou alteração que é feita numa, em duas ou três dimensões.<sup>136</sup> No caso de haver combinação dessas transformações, os graus de liberdade sobem até seis, como é o caso de um objeto voador que possui três alternativas para a sua deslocação no ar em linha reta mais três quando está em rotação, que contrasta com o movimento de uma porta, por exemplo que só tem um grau de liberdade.

FIG 41 [ESQUERDA] TRANSLAÇÃO  
KIEFER TECHNIC SHOWROOM,  
GISELBRECHT E GLEICHENBERG,  
AUSTRIA, 2010

FIG 42 [CENTRO ESQ] ROTAÇÃO  
ANDREAS CHADZIS,  
2005

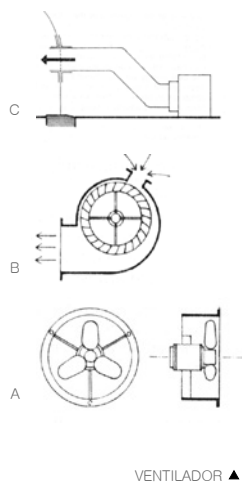
FIG 43 [CENTRO DIR] ESCALA  
INSTITUT DU MONDE ARABE,  
JEAN NOUVEL  
PARIS, 1987

FIG 44 [DIREITA] DEFORMAÇÃO  
DYNAMIC TERRAIN,  
JANIS PÖNISCH,  
AMSTERDAM, 2006

135. SHAPE MEMORY ALLOY



136. EXISTE TRÊS GRAUS DE  
MOVIMENTO PARA A TRANSLAÇÃO  
E A ROTAÇÃO. (SCHUMACHER,  
2010:36)



VENTILADOR ▲

FIG 45 [DIREITA] *AIR INFLATED*FIG 46 [CENTRO] *AIR SUPPORTED*

FIG 47 [CIMA] EQUIPAMENTOS

A. VENTILADOR RADIAL

B. VENTILADOR TANGENCIAL

C. CONEXÃO ENTRE SISTEMA DE

PRESSURIZAÇÃO E ESTRUTURA

PNEUMÁTICA

## SISTEMAS CINÉTICOS

Esta capacidade das estruturas 'ganhar vida' com movimentos de translação, rotação, escala ou deformação, como vimos agora, torna-se possível através de vários meios cinéticos disponíveis hoje. Fox e Kemp, em *Interactive Architecture*, dividem estes sistemas em seis; pneumáticos, mecânicos, magnéticos, químicos e naturais. Será feita uma breve apresentação de cada um deles e, depois no capítulo III, serão analisados mais pormenorizadamente com recurso a exemplos de projetos de investigação e de arquitetura.

### 1. PNEUMÁTICOS

As estruturas pneumáticas, segundo Frei Otto, são 'formas estruturais estabilizadas integralmente, ou parcialmente, pela atuação de pressão de gases na membrana'.<sup>137</sup> A pressão é ativada através de uma bomba motorizada (p.ex. ventilador, figura 47) que cria a pressão necessária para a sustentação do sistema estrutural através de lâminas, engrenagens, parafusos ou pistões. Para além do tamanho reduzido em relação à energia que produz, o elemento gerador de pressão tem a vantagem de poder ser colocado em qualquer lugar, e depois conetado através do uso de tubos de conexão.

Os sistemas pneumáticos dividem-se em dois, segundo Herzog, '*air supported* e *air inflated*'.<sup>138</sup> A figura 45 exemplifica um modelo de um edifício que utiliza a circulação de ar entre duas membranas. O sistema *air inflated*, também conhecido pelo sistema *sandwich*, utiliza ventiladores para criar um nível elevado de pressão no interior da dupla membrana. No entanto, utilizam uma técnica diferente, utilizam apenas uma membrana e o ar é insuflado diretamente para o interior de todo o espaço, como podemos ver na figura 46. Este tipo de situações ocorre quando o sistema é aplicado à grande escala no edifício, no entanto, graças ao desenvolvimento tecnológico noutras áreas como a robótica e a mecânica, estudaram-se novos sistemas em que a tecnologia pneumática é possível de

137. (OLIVEIRA, 2001:26)

138. (OLIVEIRA, 2001:27)

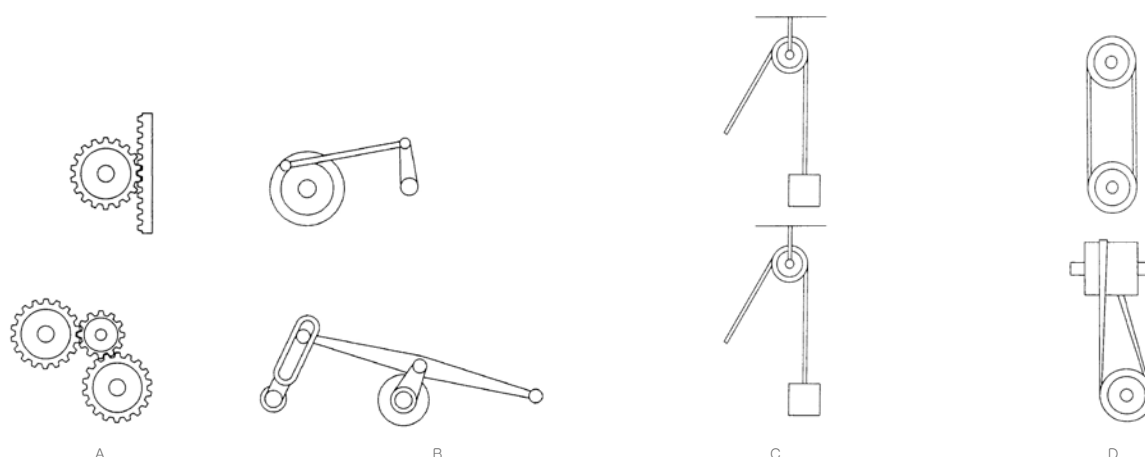


FIG 48 SISTEMAS MECÂNICOS

- |   |             |
|---|-------------|
| A | SIMPLES     |
| B | ARTICULADOS |
| C | COM CORDAS  |
| D | DE BANDA    |

ser integrada a uma escala mais reduzida, permitindo gerar e controlar os movimentos através do computador, de uma forma individual ou integrada no sistema total. As fachadas do projeto Media-Tic são um exemplo deste método e serão analisadas posteriormente.

## 2. MECÂNICOS

Este é provavelmente o sistema mais antigo criado pelo Homem, que vem desde invenção da roda. O seu modo de funcionamento consiste na transformação de forças de forma a realizar um trabalho. A figura 48 mostra alguns exemplos de meios mecânicos, onde através da conexão de rodas e roldanas, é possível gerar movimento. A invenção da eletricidade veio modificar a fonte de energia destes sistemas, passando-os de manuais, a elétricos, os chamados sistemas eletromecânicos. O seu princípio de funcionamento permanece o mesmo, consistem 'no movimento de pelo menos um elemento eletromecânico e outro fixo.'<sup>139</sup> Schumacher descreve que a posição e a articulação do elemento fixo (estabilizador) e os elementos móveis (rotor) variam, gerando diferentes tipos de movimentos, translação ou rotação.

139. (SCHUMACHER, 2010:69)

## 3. MAGNÉTICOS

Enquanto que a força dos sistemas mecânicos é visível, nos sistemas magnéticos a força baseia-se num fluxo que é gerado através de ímans ou eletroímans e transmitida através de condutores magnéticos, como é exemplo do ferro. Os movimentos cinéticos baseados em campos de forças tem sido muito utilizado na indústria farmaceutica e na transformadora de lixo, ajudando não só na sua separação, como na recolha do ferro (um material escasso na natureza) e no levantamento de objetos pesados como carros (os campos magnéticos geram grandes forças). Apesar das suas aplicações na arquitetura ainda se encontrarem num estado embrionário, recentes estudos têm procurado desenvolver meios de transporte que se baseiem na levitação magnética, como é o caso da empresa de

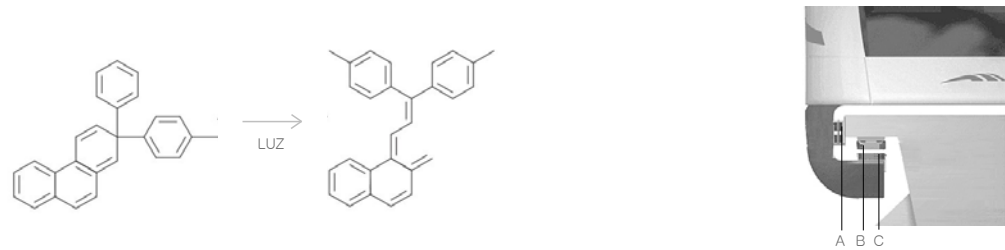


FIG 49 |DIREITA| TRANSPRAPID

- |A| IMAN DE DIREÇÃO
- |B| ESTABILIZADOR
- |C| IMAN DE SUPORTE

FIG 50 |ESQUERDA|

ESTRUTURA MOLECULAR DE UM MATERIAL FOTOCROMÁTICO QUE MUDA SOB INCIDÊNCIA DE LUZ. ESTA MUDANÇA INFLUÊNCIA NA COR DO MATERIAL

140. QUANTUM FOI DESCOBERTO EM 1900 PELO FÍSICO MAX PLANCK. DÁ-SE INÍCIO A UMA REVOLUÇÃO NAS TEORIAS DA FÍSICA COM O SURGIMENTO DA MECÂNICA QUÂNTICA E DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA VINTE ANOS MAIS TARDE, HEISENBERG SUGERE QUE AS MEDIÇÕES E O OBSERVADOR AFETAVAM FÍSICAMENTE A POSIÇÃO E O LUGAR DAS PARTÍCULAS, SUGERINDO ASSIM A MEDIÇÃO COM BASE NA PROBABILIDADE.

transportes ferroviários alemã Transrapid, figura 49. Uma vez que as linhas de ligação entre estações são de ferro, o uso de campos magnéticos iria permitir a redução de atrito e assim tornar o sistema de transportes mais ecológico.

4. QUÍMICOS | MATERIAIS

Com a descoberta do *Quantum*<sup>140</sup>, o elemento mais pequeno conhecido até hoje, dá-se lugar a descobertas revolucionárias na indústria dos materiais. Com base na transformação química dos seus constituintes, geram-se estruturas mais fortes, resistentes e flexíveis, podendo mudar de forma, cor ou emitir luz, graças a mudanças na sua estrutura molecular, como podemos ver na figura 50. A partir do século do século XX, as inovações ao nível da química ganham importância em relação às da física, a exploração no campo microscópico permite a modificação da matéria-prima de forma a servir as necessidades da construção arquitetónica de uma forma mais eficaz.

5. NATURAIS

Ao contrário dos outros sistemas, o movimento das estruturas que se inserem nesta categoria dá-se de uma forma natural, ou seja, desenhados segundo as leis que regem o mundo natural, aproveitando a sua energia natural, como o vento, sol, chuva ou a água, não necessitam por isso de nenhum meio energético artificial que alimente o seu movimento, fazendo com que sejam 100% ecológicos, sem emissão de poluentes.

TIPOLOGIAS CINÉTICAS

Independente do meio pelo qual o movimento é gerado no edifício, este pode surgir de diferentes formas na arquitetura. Fox divide em três tipologias diferentes; embutido, transportável ou dinâmico.<sup>141</sup>

141. (FOX, 2003:113)

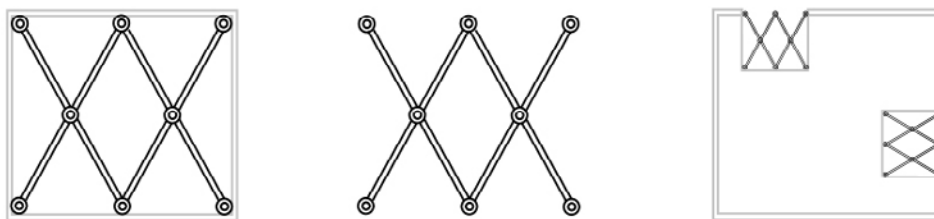


FIG 51 TIPOLOGIAS CINÉTICAS

ESQUERDA | EMBUTIDA  
CENTRO | TRANSPORTÁVEL  
DIREITA | DINÂMICA

Kas Oosterhuis foi o primeiro arquiteto a desenvolver o sistema cinético embutido, dando-lhe o nome de 'edifício-corpo'. O movimento é pensado e controlado de uma forma global na construção, levando a que a arquitetura comporte-se como um corpo. Este sistema permite a possibilidade de alterar a forma na sua globalidade, de uma forma autónoma se for ao nível do material, ou através de um controlo digital que atua sobre a estrutura, de forma a responder às necessidades para o qual foi desenhado.

Os sistemas transportáveis, a segunda tipologia, possuem um caráter temporário e tem a vantagem de serem leves e possíveis de serem movidos, permitindo a montagem e a desmontagem rápidas. Estes sistemas permitem responder a funções programáticas efêmeras ou provisórias, conceito que provém desde as civilizações nômadas. 'Não tendo uma habitação fixa, e vivendo em permanente deslocação em busca de alimentos e condições de subsistência, desenvolveram abrigos passíveis de serem rapidamente montados e desmontados e facilmente transportáveis, denominados por tendas.'<sup>142</sup> O conceito de um edifício que se move fisicamente foi sugerida pela primeira vez por Rober Kronenberg<sup>143</sup>, que expôs uma base teórica e histórica para o desenho de espaços temporários e móveis, de forma a satisfazer as mais variadas funções do dia a dia. Para além dos vários tipos de formas que podem adquirir estas estruturas, também apresenta ideias para o seu possível futuro desenvolvimento.

142. (MARQUES, 2010:4)

143. EM 1998, ESCRIVE UM LIVRO, *TRANSPORTABLE ENVIRONMENTS*

A terceira tipologia, a dinâmica, é a que tem sido estudada mais ultimamente, uma vez que se torna economicamente e tecnologicamente mais acessível. Não precisa de abranger todo a construção e pode funcionar de uma forma independente da mesma, como é o caso das coberturas dos estádios de futebol ou de pequenas intervenções nos espaços interiores, paredes que se movem nos auditórios, bancadas retráteis, etc. Como não depende diretamente do projeto de arquitetura, a cinética deste tipo de construções é muitas vezes uma translação monolítica ou um movimento rotacional, refletindo um

olhar demasiado focalizado para a natureza mecânica dos sistemas. Em muitos casos, as estruturas dinâmicas são 'pensadas e desenhadas como soluções de engenharia, e as regras de composição do desenho são menos explícitas.'<sup>144</sup> Mensionado já anteriormente, Chuck Hoberman é um exemplo deste interesse pela sobreposição do desenho dos componentes que compõe o sistema sobre uma visão geral de toda a estrutura cinética. Tendo já patenteado a ligação em tesoura em três dimensões, a complexidade espacial do conjunto é tal que muitas vezes o olhar foca-se apenas numa das partes individuais.

144. (MOLONEY, 2011:14).

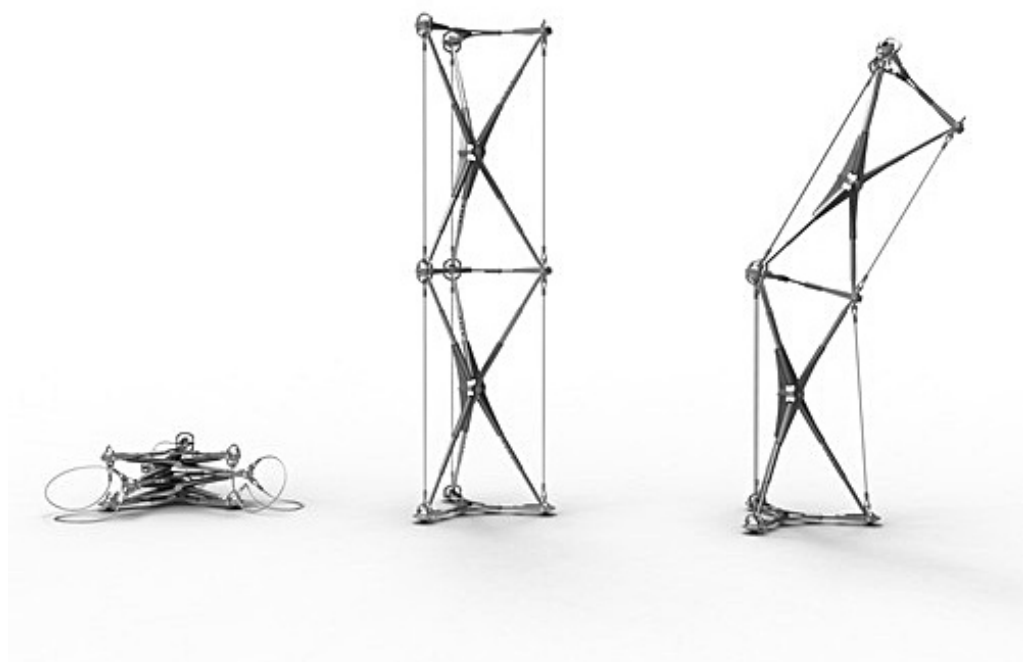


FIG 52 ESTRUTURA MÓVEL  
ZORAN NOVACKI

## COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Para desenhar um espaço que reaja ou interaja com o seu ocupante ou envolvente, é importante que se criem as condições ideais para se mover. É necessário que o arquiteto e depois o cliente possam ter um controlo sobre esse sistema, de forma a responder corretamente com uma adaptação formal e espacial satisfazendo as necessidades para o qual foi desenhado.

Com as recentes inovações tecnológicas, os sistemas de controlo cinético sofrem uma evolução e os tradicionais mecanismos ativados manualmente são substituídos pelo controlo computadorizado que atuam sobre componentes robóticas, sensores e servomotores. 'O sistema de controlo poderá ainda recolher e processar diversos tipos de informação sensorial, garantindo uma maior capacidade de resposta e uma maior adaptabilidade estrutural, de um modo completamente interativo.'<sup>145</sup>

145. (MARQUES, 2010:12)

O grau de sofisticação do controlo do sistema está diretamente relacionado com o tipo de resposta que é capaz de produzir e que permite criar diferentes relações entre a estrutura e o participante. Michael Fox<sup>146</sup> e Bryant Yeh, dividem os tipos de controlo em seis e ordenam-nos segundo a sua capacidade de adaptação a diferentes necessidades, uma função, múltiplas-funções, múltiplas-funções de controlo automático ou múltiplas-funções de controlo heurístico.<sup>147</sup> No entanto, o tema deste trabalho centra-se mais no estudo das relações que podem ser estabelecidas entre a arquitetura e a sua envolvente, tendo por isso optado por dividir os tipos de controlo e resposta das estruturas cinéticas nos tipos de relação que permitem estabelecer entre o edifício e a envolvente, reação, interação ou inteligência.

146. FUNDADOR DO GRUPO, *KINET-IC DESIGN*, NO MIT,

147. (FOX, 2000:95)

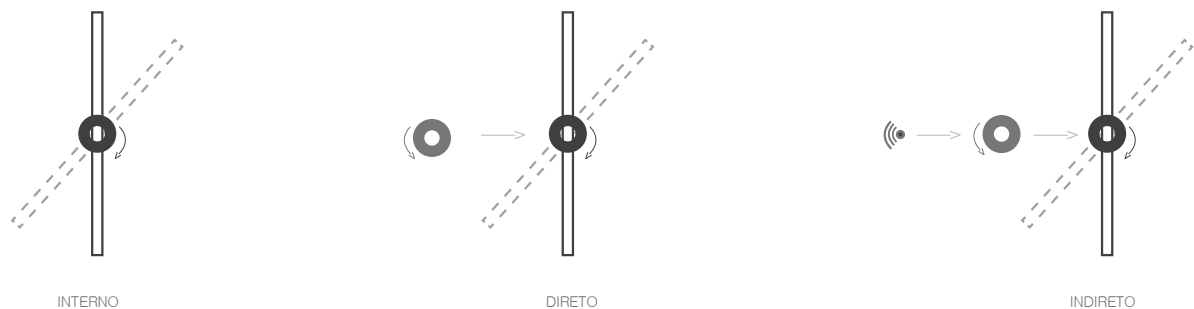


FIG 53 RELAÇÃO DE REAÇÃO

LEGENDA:

- RÓTULAS DA ESTRUTURA
- ACIONADOR
- SENSOR

RELAÇÕES DE REAÇÃO

As relações de reação entre os edifícios e os utilizadores são as mais simples, a resposta produzida satisfaz uma função. Acionado por via manual ou elétrica simples, o controlo das estruturas pode ser interno, direto ou indireto (fig. 53).

O controlo interno é a forma mais básica de gerar movimento pois o acionamento e a resposta são os mesmos e estão diretamente relacionados com as propriedades de transformação geométrica da própria estrutura, quer seja por via de translação ou rotação. Esta categoria engloba todo tipo de estruturas que sejam transportáveis e desmontáveis, uma vez que a lógica de funcionamento prende-se com o próprio movimento mecânico.

Quando essa estrutura é alimentada diretamente por uma fonte de energia, seja elétrica, manual ou através de mudanças biomecânicas, é necessário um mecanismo de ativação e o controlo é feito de uma forma direta e manual.

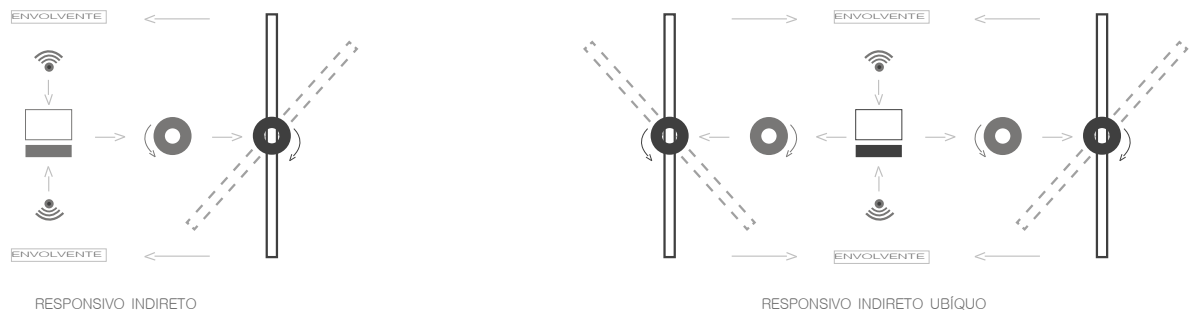
Com o surgimento do computador e da tecnologia de sensores (fig. 54), os sistemas cinéticos deixam de necessitar uma presença física do Homem para que sejam ativados. Os mecanismos acionados manualmente passam a ser substituídos por sensores sensíveis à envolvente, capazes de ler e recolher diferentes tipos de informação direta, como a temperatura, ou informação indireta, como os níveis de conforto. Nas divisões, nas paredes, nos sistemas de fachadas ou nos pisos, os sensores são capazes de fazer a leitura da humidade relativa, qualidade do ar, intensidade da luz, contato de porta e janelas, movimento, alarme do fogo, interruptores de controlo manual, velocidade do vento e da chuva, pressão, força, massa, volume, etc.



FIG 54 [CIMA] SENSOR

ESTA NOVA TECNOLOGIA BASEOU-SE NO ESTUDO DA VISÃO DOS ARTRÓPODES (ABELHAS, MOSCAS, ETC) PARA DESENHAR UM SENSOR DIGITAL COM UM CAMPO DE VISÃO DE 180º, COM ZERO DE DEFORMAÇÕES.

Esta nova tecnologia aplicada na arquitetura, permite que o controlo das estruturas cinéticas seja feito de uma forma indireta (fig.53), permitindo a ativação ou desativação



da fonte de alimentação que dá vida ao funcionamento do mecanismo. Apesar do controlo por sensor ser mais sofisticado que os sistemas anteriores, ativados por via manual, a relação estabelecida com o utilizador continua a ser de carácter reativo, ou seja, produz uma resposta em função a um único estímulo externo.

## RELAÇÕES DE INTERAÇÃO

Imaginemos um quarto que tem integrado um sistema de iluminação que sempre que alguém entra, um sensor de movimento liga a luz e quando sai, desliga-a. Agora imaginemos que essa pessoa permanece nesse mesmo quarto a estudar, durante o dia o nível de intensidade da luz diminui, e, à noite aumenta. No segundo exemplo, o tipo de resposta por parte do sistema é mais complexa, é pois baseada em sensores que são capazes de ler permanentemente os dados que são recebidos da realidade. Assim a contrário da reação, o sistema consegue criar uma relação de interação entre o utilizador e a envolvente uma vez que é capaz de gerar mais que uma resposta.

O tipo de controlo classifica-se como indireto e responsivo, havendo a capacidade do movimento responder a mais que uma função, uma vez que o sistema de controlo computacional permite gerar várias decisões otimizadas, controlando assim o tipo e o nível de intensidade de movimento ou transformação estrutural.

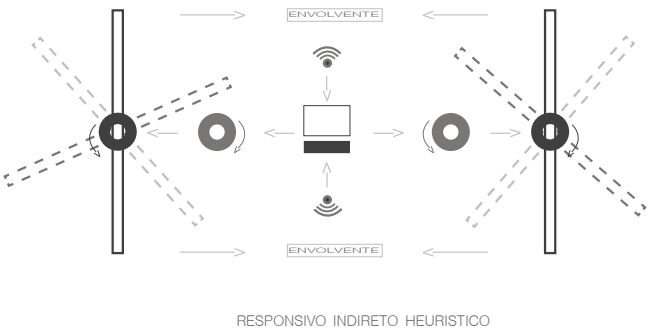
Paralelamente à tecnologia de sensor, surgem novos conceitos como automático<sup>148</sup> e automação que, para além da receção continuada da informação exterior através de múltiplos sensores ou servomotores, o sistema de controlo passa a incorporar um algoritmo de resposta previsível e adaptável que permite controlar as transformações e movimentos de diversas componentes cinéticas. O tipo de controlo passa a ser assim indireto, responsivo e ubíquo, uma vez passa a haver um sistema de controlo central que permite

FIG 55 RELAÇÕES DE INTERAÇÃO

LEGENDA:

- RÓTULAS DA ESTRUTURA
- ⊖ ACIONADOR
- ⊕ SENSOR
- ▭ PROGRAMA | ALGORITMO

148. A PALAVRA AUTOMÁTICO TEM AS SUAS ORIGENS NO GREGO *AUTOMATOS*, QUE SIGNIFICA QUE SE MOVE POR SI PRÓPRIO (SCHUMACHER, 2010:72)



RESPONSIVO INDIRETO HEURISTICO

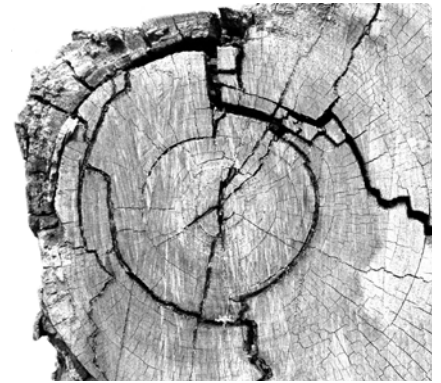
FIG 56 RELAÇÃO DE INTELIGENCIA  
LEGENDA:  
RÓTULAS DA ESTRUTURA  
ACIONADOR  
SENSOR  
PROGRAMA | ALGORITMO

controlar as que as várias partes cinéticas do edifício.

RELAÇÃO DE INTELIGÊNCIA

Este sistema diferencia-se dos anteriores porque constitui o nível último de dependência de controlo das estruturas cinéticas, por parte do Homem, o chamado controlo inteligente, figura 56. Neste tipo de controlo, que Fox classifica como heurístico, o algoritmo é escrito não só com a função de prever, mas também com a capacidade de aprendizagem com base na experiência resultante da assimilação e processamento da informação exterior. A relação que se estabelece entre o edifício e o homem ou a envolvente é mais complexa, uma vez que há a geração de novos tipos de respostas que não foram programadas inicialmente. O sistema torna-se imprevisível e ao longo do tempo cada vez mais otimizado em função das necessidades para o qual foi desenhado.

A introdução de um centro de operações de controlo central, não implica que tenha que haver um nível inteligente de controlo a todos os níveis, o sistema pode conjugar os vários tipos analisados e integrá-los conforme as necessidades do projeto. Nem todas as tarefas que nos servem no dia-a-dia necessitam de um nível de sofisticação elevado, sendo por isso vantajoso muitas vezes o uso de sistemas reativos, desenhados para responder a uma função específica como o caso do interruptor que é ativado através do controlo direto, ou de sistemas interativos, que fazem o controlo do sistema de uma forma bastante otimizada com um nível de informatização relativamente simples.



## COMPORTAMENTO MATERIAL

A relação entre material e a arquitetura foi sempre familiar e próxima. As escolhas de projeto, até ao século XIX, estiveram sempre dependentes do comportamento natural dos materiais, em que a consciência das suas características era obtida através da experiência e observação. 'Advances in physics have led to a new understanding of physical phenomena, advances in biology and neurology have led to new discoveries regarding the human sensory system.'<sup>149</sup> Pensar numa arquitetura que possua uma relação com a envolvente, implica investigar novos materiais que também eles tenham a capacidade de mudar as suas características. Mais importante ainda é entender, à luz das novas ferramentas de observação, o verdadeiro comportamento dos materiais que conhecemos e existentes na natureza.

149. (ADDINGTON, 2005:8)

## COMPORTAMENTO NATURAL

Existem três estados físicos definidos pelo qual se podem classificar os materiais na natureza, fazendo-se refletir na forma que adquirem de sólido, líquido ou gasoso.

Apesar da palavra estado, no senso comum, representar algo que é constante, verificamos que na natureza isso não o mesmo não acontece, nem mesmo no caso dos materiais sólidos. As partículas que os compõe, constituídas por átomos, exercem constantemente forças de atração e repulsa, o formato e o volume estáveis são resultantes da forma equilibrada como é feito esse movimento de vibração, criando uma estrutura forte, que dá solidez ao material. No caso dos líquidos (fig. 57), as forças exercidas entre as partículas são iguais mas não é suficientemente forte para manter a estrutura entre moléculas. As partículas passam a circular livremente entre buracos e entre os espaços das outras partículas, ganhando energia cinética. O volume do material não se altera, mas a sua



FIG 57 ESTADOS DA MATERIA  
 |DESQUERDA|GELO, SOLIDO,  
 AS SUAS PARTÍCULAS VIBRAM  
 MAS NAO É O SUFICIENTE PARA SE  
 DESPRENDER DA FORÇA GRAVITA-  
 CIONAL.  
 |CENTRO|AGUA, LIQUIDO,  
 A INTENSIDADE DE VIBRAÇÃO É  
 MAIOR, FAZENDO COM QUE A  
 ESTRUTURA SEJA MAIS FLEXIVEL  
 |DIREITA|GASOSO, VAPOR,  
 A FORÇA DE VIBRAÇÃO DAS  
 PARTÍCULAS ROMPE TOTALMENTE  
 COM A S FORÇAS DE ATRAÇÃO  
 150. HENRI BERGSON (2001:14)

forma é instável, uma vez que a vibração das partículas já não é equilibrada. O estado mais instável de todos é o gasoso, em que as forças de coerção são completamente anuladas pela energia cinética das partículas que passam a circular e a colidir de uma forma totalmente livre e desorganizada. Deixa de existir uma forma e volume definidos dando lugar a uma expansão indefinida que caracteriza o estado gasoso.

*'(...)o próprio estado é já mudança.'*<sup>150</sup>

Os estados físicos são na verdade o resultado da agregação dos elementos que compõem os materiais, confirmando o que diz o filósofo Bergson, durante um estado as próprias partículas não se encontram em repouso e sim em mudança permanente. Mas para além destes três estados físicos, existem outros que se encontram na transição e só ocorrem em situações específicas na natureza, como é o caso do gel ou da espuma, por exemplo. O gel é composto por partículas maiores sólidas dispersas numa solução líquida. Está num estado híbrido, uma vez que essas partículas não se conseguem difundir numa membrana, como é o caso da água salgada, o material não é totalmente sólido nem completamente líquido. Da mesma forma que a espuma é constituída por uma mistura de partículas com propriedades gasosas e outras com propriedades líquidas, numa solução a que se dá o nome de coloidal.

Para além dos híbridos, os estados de sólido, líquido e gasoso também podem sofrer alterações nas propriedades das suas partículas quando submetidos a grandes diferenças de temperatura, como é o caso do plasma. Quando as partículas de gás são submetidas a altas temperaturas, a sua energia cinética aumenta e cria campos eletromagnéticos muito fortes, decompondo-se completamente em plasma. O que o torna bom condutor e com boas qualidades luminescentes. A temperatura altera a intensidade de vibração das



**FIG 58 HOTEL DE GELO**  
O DESIGNER ROLAND TOUPET E O ARQUITETO ANTOINE WEYGAND PROJETARAM O INTERIOR DO HOTEL DE GELO NA ÉPOCA DE 2011, COM O TEMA *DIAMOND GENESIS*.

partículas, havendo por isso limites que definem os estados de transição de agregação das suas partículas, conhecidos pelos pontos de fusão, solidificação, ebulição, condensação, sublimação e a ressublimação. À medida que a temperatura aumenta, a energia das partículas obriga-as a uma vibração mais acelerada levando a que as estruturas que as ligam dos materiais sólidos partam-se, fazendo-o derreter e tornar-se líquido. O mesmo acontece quando a temperatura diminui, as forças de vibração das partículas perdem força em relação às forças de atração e repulsa entre elas, dando origem a uma estrutura forte e o material solidifica.

'Se podermos considerar as propriedades dos materiais como informação operativa e criativa desde a fase inicial do projeto'<sup>151</sup> é possível tirar o melhor partido das suas alterações físicas como parte integrante do projeto, como é o caso dos projetos do Hotel do Gelo (fig. 58) ou do Edifício Fog. Da mesma forma, a absorção ou emissão da energia que ocorre durante a sua fase de transição pode ser explorada para várias aplicações no campo da arquitetura, de forma a ser possível transferir o calor do interior para o exterior ou vice-versa. Encarar os materiais como algo com propriedades dinâmicas possíveis de trazerem vantagens construtivas e de conforto à arquitetura é uma mais valia a ser integrada na construção, de forma a tornar-se mais sustentável e otimizada.

151. (SOUSA, 2005:33)

## COMPORTAMENTO PROGRAMADO

*'Materials are now being developed directly at the molecular level, tailor-made to have explicitly defined properties and manipulated in such a way that they can adapt autonomously to their respective environmental conditions.'*<sup>152</sup>

152. MICHAEL SCHUMACHER (2010:88)

Hoje, os arquitetos têm uma maior liberdade no uso dos materiais, não necessitando



FIG 59 AEROFOIL  
CDI / LOCKHEED MARTIN CONTINU-  
OUSLY DEFORMABLE SMA  
ENQUANTO SOB UMA CARGA  
ELÉTRICA, O MATERIAL TEM A  
CAPACIDADE DE MUDAR DE FORMA

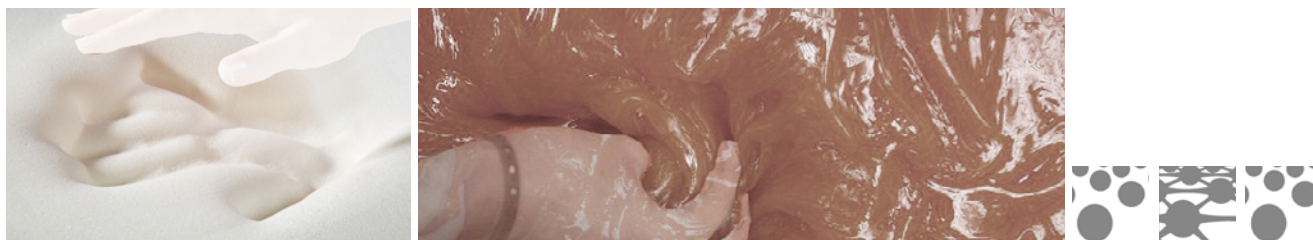
153. (SOUSA, 2005:33)

de ficar limitados às suas características específicas. Prova disso, é a larga utilização da madeira ou mesmo alumínio em exteriores. Graças a disciplinas avançadas como a nanotecnologia, biotecnologia ou a eletrônica que investigam as propriedades dos materiais e desenvolvem métodos para os alterar e produzir 'comportamentos dinâmicos capazes de dotar a materialidade de um funcionamento interativo que consiga ler e adaptar-se a diferentes condições envolventes'.<sup>153</sup> Arquitetos como José Pedro Sousa ou Michael Schumacher classificam de 'Materialidades Inteligentes' a materiais que, perante situações externas, têm propriedades permanentes reversíveis, mudando de forma, volume ou cor, emitindo luz, gerando eletricidade ou conservando a energia sob a forma de calor. Quando submetidos a estímulos de calor, luz, pressão, elétricos, magnéticos ou químicos, se essa capacidade apenas se revelar apenas algumas vezes, os materiais são classificados como 'semi-inteligentes'.<sup>154</sup>

154. (SCHUMACHER, 2010:89)

#### 1. ALTERAÇÃO DA FORMA

Os materiais que têm a capacidade de mudar de forma, são altamente vantajosos no controlo da exposição dos espaços interiores perante as mudanças ambientais. Estudos em materiais baseados na tecnologia *piezo* vêm sendo desenvolvidos desde a década de 90 e consiste na conversão de impulsos mecânicos em elétricos e vice-versa, ou seja, resultando na expansão ou contração do material sempre que é submetido a uma carga elétrica. Entre as várias aplicações existentes, no campo arquitetónico têm sido explorados nos vidros à prova do som, em que a forma muda para anular os efeitos vibratórios causados pelo ruído exterior. Esta tecnologia altamente inovadora também pode ser usada para gerar eletricidade através da deformação da forma e os interruptores seriam um bom exemplo dessa aplicação. A pressão exercida sobre eles seria suficiente para produzirem um sinal de *wireless* que comunicaria com o recetor, a fonte de luz neste caso, não necessitando mais de uma localização específica num espaço. Para além dos metais,



outros materiais compósitos auto-transformáveis têm sido desenvolvidos, como é o caso do estudo levado a cabo pelo professor Achim Mengues, que consiste em placas de madeira capazes de reagir às variações de humidade no ar.<sup>155</sup>

## 2. ALTERAÇÃO DO VOLUME

Para além da forma, existem materiais que conseguem expandir-se quando expostos a um aumento da temperatura, como é o caso dos fluidos que são usados em termómetros, válvulas de calor ou sistemas de irrigação, de rega ou nos sistemas de incêndio. À medida que o calor aumenta, o volume do material expande, ativando a ignição de abertura ou fecho do sistema.

## 3. MEMÓRIA DA FORMA

Um bom exemplo de inteligência nos materiais está naqueles que têm a capacidade de memorizar a forma inicial. Os plásticos e as ligas metálicas desenvolvidos com esta tecnologia têm a propriedade de alterarem a sua forma livremente, através de forças exteriores de deformação, e, quando submetidos a variações de temperatura, voltam à sua forma inicial. Várias aplicações têm sido estudadas na arquitetura, como é o caso da *Memory Foam* (fig. 60) que é sensível aos corpos que exercem uma pressão sobre a sua superfície, ficando nela gravada a sua forma em negativo. Ou então o caso da estrutura do candeeiro *hanabi* que quando aquecida pode ser deformada e quando arrefecida volta à sua forma original.

## 4. ALTERAÇÃO DA VISCOSIDADE

Muito usado para absorver a grandes impactos, o plástico D30<sup>156</sup> é uma nova geração de materiais com a capacidade de mudar a sua viscosidade quando pressionados. As suas moléculas circulam livremente, tornando-se assim bastante leve e macio, mas quando

FIG 60 | ESQUERDA | MEMORY FOAM

FIG 61 | DIREITA | PLÁSTICO D-30 TEM A CAPACIDADE DE MUDAR A SUA ESTRUTURA MOLECULAR QUANDO SOB PRESSÃO EXTERNA.

155. ACADEMY OF ART AND DESIGN, ACHIM MENGUES, STEFFEN REICHERT, HFG OFFENBACH, 2005-2007

156. D30 - DILATANT NON-NEWTONIAN FLUID.



FIG 62 | ESQUERDA|  
CERÂMICA TERCROMÁTICA  
FIG 63 | CENTRO|  
BETÃO ELETROCROMÁTICO  
FIG 64 | DIREITA|  
CRISTAIS FLUORESCENTES, SÃO  
CAPAZES DE EMITIR RADIAÇÃO

sofrem uma pressão externa, ligam-se e o material torna-se duro, absorvendo os choques, como podemos ver no esquema da figura 61. Sendo por isso bastante utilizado como proteção em atividades que implicam um maior risco de segurança.

#### 5. ALTERAÇÃO DA COR

Para além das propriedades de resistência, nas últimas décadas têm-se desenvolvido materiais com possibilidades de mudar de cor ou aparência em resposta a influências externas, como é o caso dos polímeros cromogénicos. Dependendo do estímulo a que podem estar sujeitos, dividem-se em termocromáticos (sensíveis à temperatura), fotocromáticos (sensíveis à luz), eletrocromáticos (sensíveis à eletricidade), piezocromáticos (sensíveis à pressão), ionocromáticos (sensíveis à concentração de iões) e biocromáticos (sensíveis a reações bioquímicas). Este tipo de materiais termosensíveis podem ter aplicações em proteções solares para reduzir o consumo energético do ar condicionado em edifícios com grandes panos de vidro. Os plásticos electrocrómicos podem tornar-se mais escuros quando ativados e os fotocromáticos escurecem como reação autónoma à luz solar. É possível também que uma janela, perante a subida de temperatura altere as suas propriedades e fique difusa sem a necessidade de um controlo externo, ou de manutenção. Isto é possível graças à introdução de alguns pigmentos transparentes de resinas que depois são ativados com o calor, o mesmo pode acontecer com o uso de pigmentos de outras cores na composição dos materiais, como por exemplo paredes, tetos ou pisos que mudam de cor conforme a variação de temperatura externa ou através do toque corporal.

#### 6. EMITEM LUZ

Existem também os chamados materiais fluorescentes capazes de emitir irradiação visual depois de serem estimulados energeticamente. Têm várias aplicações nomeadamente à noite, que depois de uma exposição prolongada à luz durante o dia, conseguem

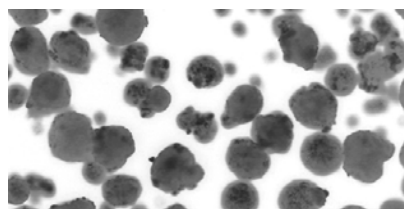


FIG 65 | ESQUERDA| *PYRITE*  
UM CRISTAL TAMBÉM CONHECIDO  
POR 'FALSO OURO'.  
FIG 66 | DIREITA| PCM  
PHASE CHANGE MATERIALS

iluminar-se no escuro, servindo de orientação no interior dos edifícios sem para isso necessitar de uma fonte energética exterior. O sistema LED baseia-se neste princípio da eletroluminescência, podendo ser utilizado em combinação com outro tipo de condutores de luz como por exemplo fibras ou painéis de vidro ou plásticos transparentes, criando efeitos bastante interessantes.

#### 7. FOTOVOLTAICOS

Baseados em processos similares à fotossíntese da clorofila, a biônica tem desenvolvido materiais inteligentes que têm introduzidos em si células capazes de gerar eletricidade quando expostas à luz solar. Aplicados a janelas ou grandes panos envidraçados, estas células, invisíveis ao olho humano, geram eletricidade necessária ao funcionamento do edifício de uma forma completamente autónoma e sustentável. Apesar de ser uma matéria ainda economicamente pouco vantajosa, os investigadores do centro *Inverse Design*<sup>123</sup> descobriram que as células dos minerais *Pyrite*, imagem 65, também possuem um potencial fotovoltaico, o que poderá ajudar na fabricação de materiais baratos que contribuam para a conservação da energia solar.

#### 8. ARMAZENAR ENERGIA

Como vimos anteriormente, todos os materiais sofrem mudanças de estado, de sólido para líquido e líquido para gasoso, ganhando energia e vice-versa, quando sofrem perdas de energia. Os PCM, figura 66, são materiais que têm a capacidade de utilizar essa energia resultante das mudanças de estado, ao conservá-la em materiais sensíveis ao calor. Podemos encarar como se tratassem de microcápsulas possíveis de serem introduzidas nos materiais em arquitetura que ajudam na estabilização climática interior. Durante o dia esses materiais derretem e conservam o calor para depois à noite, quando a temperatura baixa, emitirem o calor enquanto solidificam, trazendo vantagens térmicas ao edifício sem por em causa os seus métodos construtivos ligeiros.

Como vimos, a emergência dos novos materiais aliados a propriedades inovadoras abrem um mundo de possibilidades na arquitetura sejam ao nível da construção como ao nível de revestimentos, criando assim uma relação de interação maior entre o edifício e os participantes. O material passa a ter um papel ativo no projeto, reaproximando o arquiteto novamente ao mundo material, ganhando de novo o papel de “artesão” que a standardização vigente na indústria da construção lhe tinha retirado, como escreve José Pedro Sousa<sup>157</sup>. As pesquisas feitas no ramo da engenharia, de matérias mais fortes, leves, seguras, personalizadas e adaptáveis, como as que vimos neste capítulo, materiais que têm a capacidade de mudar a forma, aumentar de volume, memorizar a forma, mudar a estrutura molecular, cor, aparência, emitir luz ou calor ou gerar eletricidade, permitem uma maior liberdade ao arquiteto no processo criativo de projeto, permitindo criar soluções mais aliciantes do ponto de vista formal e ao mesmo tempo pertinentes do ponto de vista funcional.

157. (SOUSA, 2005:?)



## MATERIAL, MATÉRIA E CRESCIMENTO

*'So that the resultant structures are self-constructing ... Frei Otto has suggested growing structures, Doernach and Katavolos imagined organic structures erected from chemical reactions. In short term, prospect of growing buildings seems unlikely, but self-assembly may be achievable.'*<sup>158</sup>

158. (FRAZER, 1995:102)

A ambição de criar estruturas capazes de crescerem e regenerar-se a si próprias tem as suas raízes já desde os anos 60, nas ideias de Cedric Price, de uma arquitetura antecipatória, e nas concepções de John Frazer, de uma 'arquitetura que deveria de ser algo que vive e evolui.'<sup>159</sup>

159. (FRAZER, 2005)

A questão do crescimento na arquitetura coloca em discussão o material que se transforma em matéria, ao crescer e possuir características dos seres vivos. Por outro lado, o conceito de um edifício que cresce, mudando perpetuamente sem nunca estar completamente terminado não são novas em arquitetura com as ideias dos Smithson e do Ghery das casas prefabricadas que vão continuamente fazendo sucessíveis alterações ao seu projeto inicial.

A vontade de controlar constantemente o processo de materialização da arquitetura torna-se mais simples à medida que ela se torna assim menos mecânica e inerte e mais orgânica. Vários estudos têm sido feitos na área das estruturas e materiais que têm a capacidade de crescer e auto-organizar, como é o caso da protocélula, do nanotubo e do biobetão.

**FIG 67 [CIMA]**  
FOTOGRAFIA DE ROXANA LABAGNARA

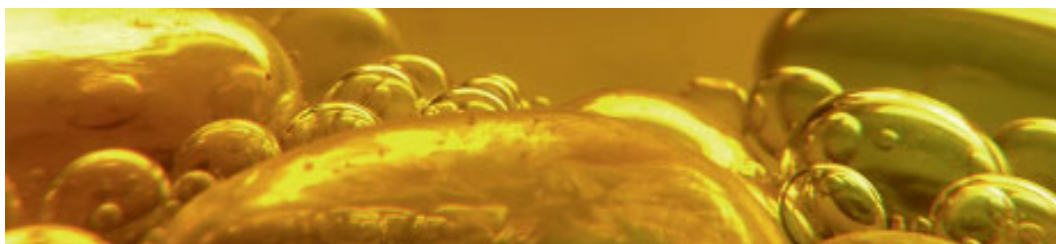


FIG 68 [CIMA] PROJETO VENEZA  
FIG 69 [DIREITA] PROTOCÉLULAS  
COM 3 MESES

160. LEROY CRONIN (2011:43)

*'No longer would the architect be creating a space that is as inflexible as before, but instead an adaptive, living, morphologically transient space that could develop over time in a profoundly more flexible way'*<sup>160</sup>

Até agora vimos materiais que, graças a manipulações ao nível da organização das suas partículas, são possíveis de serem transformados para que possam ser térmica, elétrica ou energeticamente reativos ou interativos. No entanto, essa manipulação não vai para além da própria estrutura base que define o material, as suas aplicações consistem em saber conjugar as suas características inerentes de forma a satisfazer as necessidades arquitetónicas. E se em vez deste jogo de transformação das suas características, pudéssemos ser nós a “reescrever” o seu código base e assim reinventar materiais possíveis de ser completamente reconfiguráveis?

161. NEIL SPILLER (2011:64)

*'A new group of materials is emerging that exist in a realm between the living and the inert. While displaying some of the properties of living systems such as growth, movement, sensitivity and complex behaviour, the materials are not truly 'alive'.*<sup>161</sup>

162. PACE, PROGRAMMABLE ARTIFICIAL CELLS, FINANCIADO PELA UNIÃO EUROPEIA.

As protocélulas é o resultado do projeto de investigação PACE<sup>162</sup> que tem reunido os melhores cientistas à larga escala na área das ciências, tecnologia e biologia. Para tornar um material completamente reprogramável, é necessário primeiro modificar quimicamente as células que o constituem. A essa célula reescrita digitalmente dá-se o nome de protocélula e têm a capacidade de se mover pelo ambiente, senti-lo, modifica-lo e contruir novos materiais. Isto é possível porque ela mantém uma 'relação de simbiose com os materiais

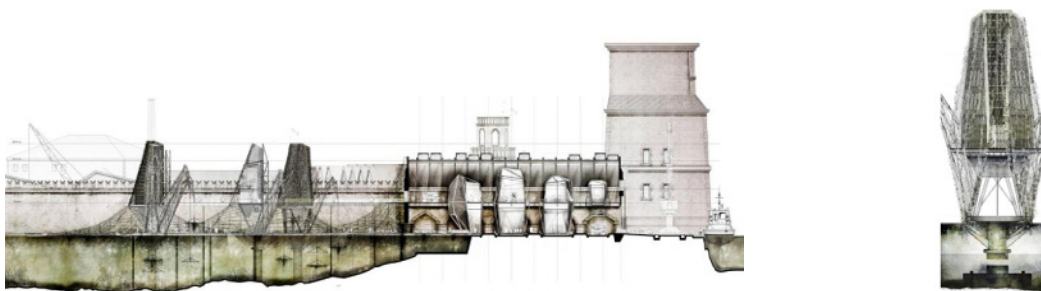


FIG 70 DETALHES  
 [ESQUERDA] CORTE LONGITUDINAL  
 [DIREITA] CORTE TRANSVERSAL  
 163. (SPILLER, 2011:64)

e sistemas existentes na natureza ao partilhar a mesma linguagem física de funcionamento com os sistemas naturais, o chamado metabolismo.<sup>163</sup>

'A protocélula faz assim a ponte entre a matéria viva e a inerte'<sup>164</sup>, segundo Rachael Armstrong preenchendo a lacuna existente entre o natural e artificial, entre a natureza e a arquitetura, numa relação de verdadeira cooperação ecológica. Acrescenta ainda que estes 'materiais metabólicos permitem à arquitetura mudar ao longo do tempo, usando fontes de energia e materiais locais e reagindo às variações da malha urbana.'<sup>165</sup>

164. (ARMSTRONG, 2010:79)

165. (ARMSTRONG, 2009:17)

Pertencendo a uma nova categoria de materiais com o nome de 'Tecnologia Viva'<sup>130</sup>, a protocélula reabre o discurso sobre o que define a matéria viva. Se Schrödinger estiver certo, então pode ser descrito como um sistema que evita a decadência com o equilíbrio, como forma de evitar se transformar em matéria inerte (noutras palavras, a morte). As protocélulas trabalham no mesmo sentido, 'ao manipular e serem manipuladas de forma a modificar a matéria envolvente, reajustando e reposicionando o material no tempo e no espaço'.<sup>167</sup>

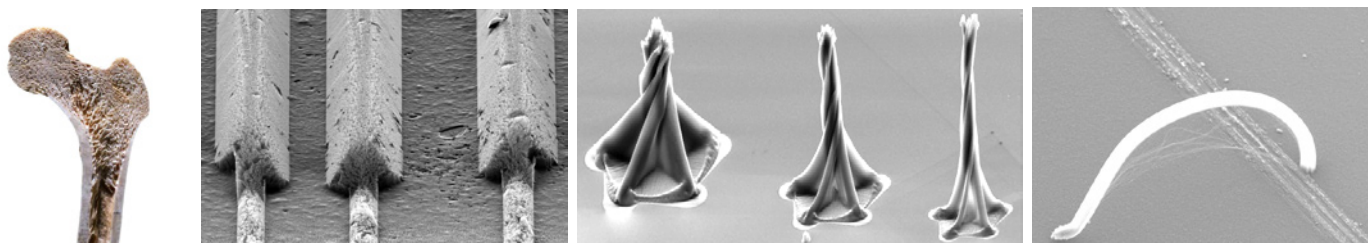
166. LIVING TECHNOLOGY

167. (ARMSTRONG, 2011:21)

Para exemplificar o potencial tecnológico na arquitetura, Armstrong desenhou um projeto, fig.68 e 70, onde ilustra as propriedades únicas deste novo material. Através da colocação de um depósito de pedra calcária sob a cidade de Veneza. As protocélulas, programadas para serem sensíveis à luz, iriam-se mover para as fundações em madeira da cidade até a petrificarem totalmente.

Estas novos materiais baseados nas 'Tecnologias Vivas', permitem 'projetar uma arquitetura que permita reduzir o seu impacto negativo nos sistemas naturais, ao ser capaz de remover dióxido de carbono e outros poluentes da atmosfera'<sup>168</sup>, como propõe a investigadora, e ao mesmo tempo adaptar-se e proteger-nos contra um futuras mudanças imprevisíveis nos ecossistemas neste planeta.

168. (ARMSTRONG 2010:82)



**FIG 71 CARBON NANOTUBE**  
 |ESQUERDA| SECÇÃO DE UM  
 OSSO HUMANO  
 |CENTRO ESQUERDA| FORMAÇÃO  
 DE UMA ESTRUTURA  
 |CENTRO DIREITA| FORMAÇÃO  
 CAPILAR DO TUBO DE CARBONO.  
 ESCALA: 50 UM.  
 |DIREITA| FORMAÇÃO DE UMA  
 PONTE

## NANOTUBOS

A estruturas deveriam de poder ser desenhadas de forma a que a carga que têm que suportar seja já pensada numa fase de desenvolvimento. Uma equipa liderada por Timo Schmidt está a levar a cabo uma pesquisa de estruturas que se baseiam no princípio de crescimento do osso humano, através do uso de células mecano-sensíveis que são estimuladas a desenvolver uma estrutura extracelular ao longo das zonas sob maior *stress* estrutural, resultando numa estrutura com diâmetros de largura diferentes em função das forças exercidas nos vários pontos.

John Hart e o seu colega Wartena investigam o crescimento controlado de nanotubos de carbono<sup>169</sup> numa perspectiva construtiva. Potenciam o crescimento auto-organizado das células, numa forma final que resulta da avaliação das condições ambientais próximas.

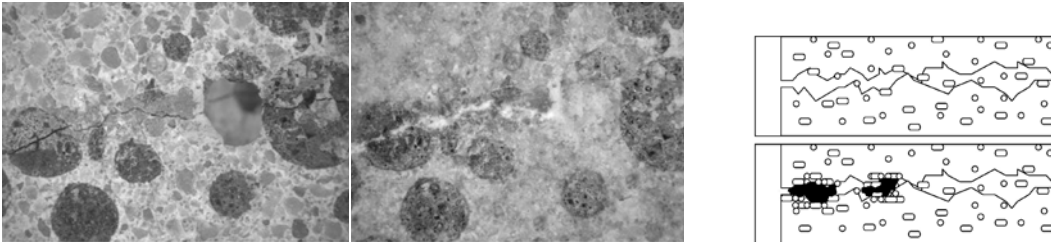
169. CNC. O TRABALHO DESENVOLVIDO PELA UNIVERSIDADE DE MICHIGAN, *2D AND 3D GROWTH OF CARBON NANOTUBES ON SUBSTRATES, FROM NANOMETRE TO MILLIMETRE*.

## BIO-BETÃO

Mais importante que desenvolver materiais que contenham em si a capacidade de crescimento, é introduzir neles a habilidade de se auto-repararem inspirados nos processos de auto-organização dos sistemas vivos. Como é o caso do projeto de investigação levado a cabo por Henk Jonkers<sup>170</sup> que desenvolveu uma versão de 'biobetão' que é auto-reparador. Este material contém uma bactéria, capaz de produzir calcário, que é ativada sempre que o betão cede às forças e surge uma fissura.

Com o mesmo princípio, Carolyn Dry, na Universidade de Illinois, cria um tipo de betão com fibras adesivas que para além das capacidades auto-reparadoras, também resolve problemas de corrosão ao aplicar agentes anticorrosivos no material. Este material, segundo a investigadora, tem também aplicações na reabilitação de pontes ao unificar as juntas

170. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE DELFT



de estabilidade, pois 'segundo a associação americana de auto-estradas e transportes, existem cerca de 200.000 pontes que necessitam de serem substituídas ou reparadas dentro da próxima década.'<sup>171</sup>

*'It is readily conceivable that making construction elements using cellulose in rapid manufacturing could achieve factor -100 savings in energy compared to conventional approaches'*<sup>172</sup>

**FIG 72 BIO-BETÃO**  
[DIREITA] IMAGEM DO ANTES E DEPOIS, ONDE É POSSÍVEL VER A REPARAÇÃO DA FISSURA NO BETÃO.  
[ESQUERDA] ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DA BACTÉRIA.

171. (DRY, 2005:2)

172. (DRY, 2005:2)

As técnicas de fabrico rápido de materiais introduzidos pela revolução industrial traduzem-se em processos economicamente aliciantes a curto prazo, mas altamente prejudiciais a longo prazo, causando altos níveis de poluição não só pelo seu fabrico, pela sua manutenção e pela obrigatoriedade na introdução de outros sistemas que satisfaçam as necessidades espaciais de iluminação, conforto e temperatura.

Desta forma, torna-se importante a longo prazo desenvolver materiais e estruturas cada vez mais biológicas com necessidades menores de processo de energia artificial, reduzindo assim o seu impacto nos sistemas naturais e contribuindo para o desenvolvimento de uma arquitetura verdadeiramente sustentável.



## COLABORAÇÃO ENTRE ARQUITETOS E ENGENHEIROS

173. SIR OVE ARUP  
(KOLAVERIC, 2003:278)

*'No man is an Island. We never work in isolation; everything is built by a team.'*<sup>173</sup>

174. INVENTADO POR SAMUEL STEPHENS KISTLER, UM CIENTISTA E ENGENHEIRO QUÍMICO AMERICANO, PARA VENCER UMA APOSTA FEITA COM UM AMIGO QUE CONSISTIA EM TIRAR O LÍQUIDO DE UM GEL SEM QUE ESTE PERDESSE VOLUME.

Em 1931, um engenheiro químico inventou o material sólido mais leve conhecido até hoje, o Aerogel<sup>174</sup>, com capacidades isoladoras térmicas avançadas. Apesar das suas vantagens para a construção, só recentemente se começam a desenvolver materiais baseados no aerogel para os edifícios. Isto reflete a grande lacuna na comunicação e troca de informação entre estas duas grandes áreas de conhecimento. Como diz o Sir Ove, nada funciona de uma forma isolada, o homem nasce e vive em sociedade e tudo que produz, é fruto de um sistema em colaboração, seja de uma forma direta, o trabalho em grupo, seja de uma forma indireta, nas ferramentas, livros ou o simples transporte.

175. (SOUSA, 2005:33)

Muitas vezes o ramo da engenharia desenvolve materiais e estruturas com propriedades inovadoras sem saberem, no imediato, as suas possibilidades na aplicação em arquitetura, como é o caso do aerogel, assim como da mesma forma, como escreve José Pedro Sousa, 'os arquitetos têm bastantes ideias sobre eventuais funções e comportamentos mas não possuem conhecimentos necessários para as concretizar.'<sup>175</sup>

176. LORD'S CRICKET GROUND,  
1999

FIG 73 [CIMA]  
LEV BORODULIN MOSCU 1954

Da mesma forma que, no início deste trabalho, foi introduzida a ideia de uma arquitetura que pudesse incorporar os sistemas de funcionamento dos sistemas biológicos, agora propõe-se que possa integrar da mesma forma novas áreas do saber que ganham cada vez mais um peso importante no dia-a-dia das pessoas, influenciando os seus modos de vida. Falo por exemplo do uso cada vez mais generalizado de sistemas eletrónicos no interior dos edifícios que obrigam a novos tipos de preocupações espaciais. Na verdade a relação com outras áreas é tão importante que de outra forma não teria sido possível a construção do Museu Guggenheim, de Frank Ghery, ou o Centro Media Natwest<sup>176</sup> Future

Systems. A tecnologia para o fabrico das suas peças de aço baseou-se no sistema de construção dos navios.

Assim, para que se possa potenciar a interatividade entre a arquitetura e a sua envolvente, a cinética nos edifícios não pode ser pensada nem introduzida de uma forma individual ou isolada, tem em vez disso de ser como parte de todo o sistema e tirar partido da tecnologia que hoje está disponível. Fox defende que para desenvolver uma arquitetura cinética inteligente de uma forma consciente baseada na ciência e não em ficção científica é necessário unificar três áreas importantes de conhecimento de forma a trabalharem em conjunto: Engenharia de estruturas, Engenharia Informática/eletrónica e a arquitetura adaptável.<sup>177</sup>

177. (FOX, 2003:113)

A engenharia estrutural exploraria de uma forma mais eficiente, diversificada e flexível o desenho cinético dos elementos estruturais, facilitando a sua adaptabilidade, transportabilidade, contabilidade e produtividade.

A engenharia informática/eletrónica desenvolveria a computação ubíqua aliada aos sistemas de sensores e atuadores com o objetivo de interpretar as características da envolvente para assim enviar um sinal de forma a acionar o movimento de resposta que melhor se adaptaria à situação. Muitas investigações nesta área mostram que é possível chegar a nível de maturação possível que permitem a alguns subsistemas atuarem de forma independente e serem integrados num desenho cinético.

A arquitetura adaptável corresponderia a espaços que teriam de ser pensados de uma forma flexível às necessidades dos seus ocupantes, habitação, entretenimento, educação, medicina, comércio, indústria. A adaptabilidade poderia variar desde as múltiplas reorganizações interiores à completa reestruturação programática.



## POSSIBILIDADES DE UMA NOVA ARQUITETURA SISTEMAS.

• PNEUMÁTICOS • MECÂNICOS • MAGNÉTICOS • QUÍMICOS • NATURAIS  
PARA CADA UMA DESTAS CINCO POSSIBILIDADES DE PENSAR NUMA ARQUITETURA REATIVA, INTERATIVA OU INTELIGENTE, SÃO APRESENTADOS DOIS PROJETOS DE INVESTIGAÇÃO E UMA OBRA DE ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA.



## 3.1

## SISTEMAS PNEUMÁTICOS

*'Before 3D viewers and Flash arrived from web-design, the ability to animate elements of a design with ease was a genuine novelty... the new capacity of computers to simulate precisely these properties set out a clear affinity between pneumatics and computer-aided design.'* <sup>178</sup>

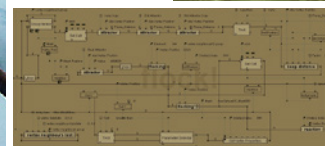
178. JUDIT KIMPIAN (1999:181)

A revolução nos processos do pensamento e desenho arquitetónico, agora mais interativos, aliada ao surgimento dos chamados 'materiais inteligentes', as membranas flexíveis, estão a trazer novas possibilidades à arquitetura e uma nova liberdade aos sistemas pneumáticos, como afirma a arquiteta Judit Kimpian.

Depois da segunda guerra mundial, houve um grande desenvolvimento dos sistemas pneumáticos, com base nas ideias de Lanchester. a construção da primeira grande antena de radar, *radome*, protegida com uma cobertura de membrana suportada apenas pela pressão do ar, veio difundir estes sistemas na Europa e na Ásia, tornando-os populares nos anos sessenta e setenta. No entanto, as formas monolíticas e uniformes, a instabilidade face ao vento, os efeitos do sol e dos micro-organismos, bem como materiais e soluções que eram simples e inadequados face às complexas exigências construtivas e programáticas, levaram à sua paralisação no campo da arquitetura.

Mas os contínuos estudos no campo da biologia, sobre o processo de sustentação das plantas baseado na pressão interna das células (fig.74), no campo da engenharia, ao desenvolver vigas pneumáticas com impressionantes capacidades de sustentação, ou no campo da ciência espacial, com as estruturas insufláveis controladas à longa distância, permitem à arquitetura um olhar renovado sobre as potencialidades dos sistemas pneumáticos. iremos ver que os novos materiais são agora capazes de se adaptar esticando ou encolhendo em segundos, através de um controlo digital, transformando o edifício de uma forma rápida, inflexível e interativa.

FIG 74 | PÁGINA 96 |



## INVESTIGAÇÃO MUSCLE

KAAS OOSTERHUIS,

HYPERBODY RESEARCH GROUP  
+ ONL,

TUDELFT,

2003

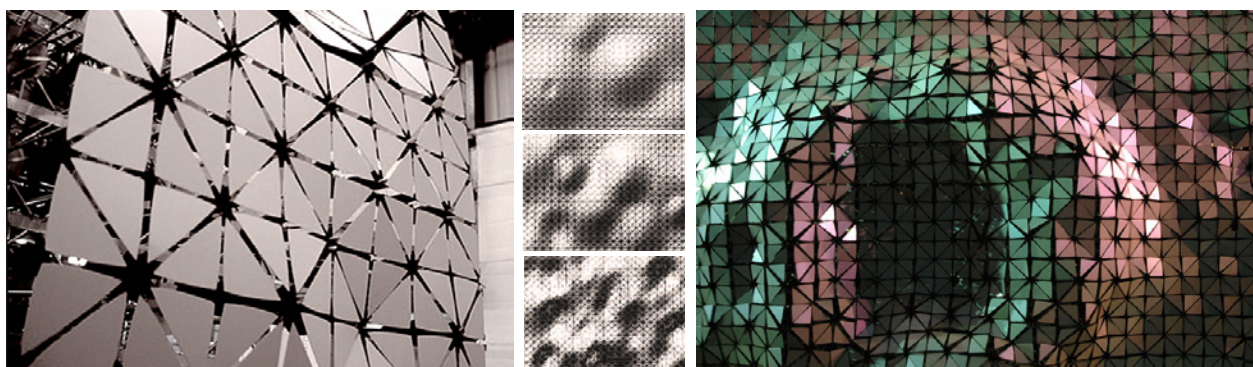
Como descreve Moloney, o grupo *hyperbody* desenvolve protótipos de estruturas cinéticas responsivas baseadas em sistemas pneumáticos, descritas como 'estruturas programáveis pro-ativas' (2011:14). Liderado por Kaas Oosterhuis, exploram técnicas e métodos de desenho baseadas em tecnologia de ponta, para o desenvolvimento de uma arquitetura não-standardizada e interativa, como podemos ver no seu mais recente trabalho desenvolvido para uma exposição em Paris intitulada *Non-Standard Architecture*. Mais interativo que simplesmente reativo, *Muscle* é um volume pressurizado, composto por uma membrana extensível ativada pelos 94 músculos que controlam a sua forma, num jogo imprevisível translações, rotações ou alterações de tamanho, mudando continuamente a relação entre participante e objeto. Através de sensores instalados em pontos de referência, é capaz de reagir em tempo real, onde a sua atividade vai sendo controlada digitalmente através de cores que vão indicando os seus níveis de atuação. Vermelho para um estado de insuflação, Azul para deflação e cinzento para indicar que se encontra num estado passivo. De acordo com Oosterhuis, o edifício funciona como uma extensão do nosso corpo e do espaço virtual, torna-se num instrumento para os seus utilizadores manusearem, uma plataforma de participação que estabelece uma relação interativa com os outros corpos.

FIG 75 [DIREITA] PROGRAMA VOR (VIRTUAL OPERATION ROOM), PLATAFORMA INTERATIVA 3D QUE SE BASEIA NA SIMULAÇÃO DA REALIDADE VIRTUAL (JOGO) PARA CRIAR UM JOGO DE RELAÇÕES INTERATIVAS COM A REALIDADE FÍSICA EM TEMPO REAL. A GEOMETRIA RESPONDE ÀS AÇÕES DOS 'JOGADORES', ATRAVÉS DE ALGORITMOS GENÉTICOS E USA A INFORMAÇÃO PARA GERAR NOVOS COMPORTAMENTOS, MUDANDO A SUA FORMA FÍSICA. ESTE SISTEMA VIRTUAL ESTÁ LIGADO À INTERNET, PERMITINDO O ACESSO E O CONTROLO DA SUA PLATAFORMA POR PARTE DOS UTILIZADORES.

FIG 76 [CIMA] PROTÓTIPO INTERATIVO O MÚSCULO PNEUMÁTICO, CONSISTE EM MANGUEIRAS QUE CONTRAEM ATRAVÉS DA PRESSÃO DO AR E EXERCEM FORÇAS ATÉ 6kN, 600KG. OS MOVIMENTOS SÃO CONTROLADOS POR SENSORES QUE DETETAM O MOVIMENTO E A PROXIMIDADE DAS PESSOAS, PERMITINDO REAGIR INSTANTANEAMENTE

mais informação:

OOSTERHUIS, KAAS (2008) INTERACTIONS WITH PROACTIVE ARCHITECTURAL SPACES: THE MUSCLE PROJECTS  
[HTTP://WWW.OOSTERHUIS.NL/QUICKSTART/INDEX.PHP?ID=552](http://www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=552)

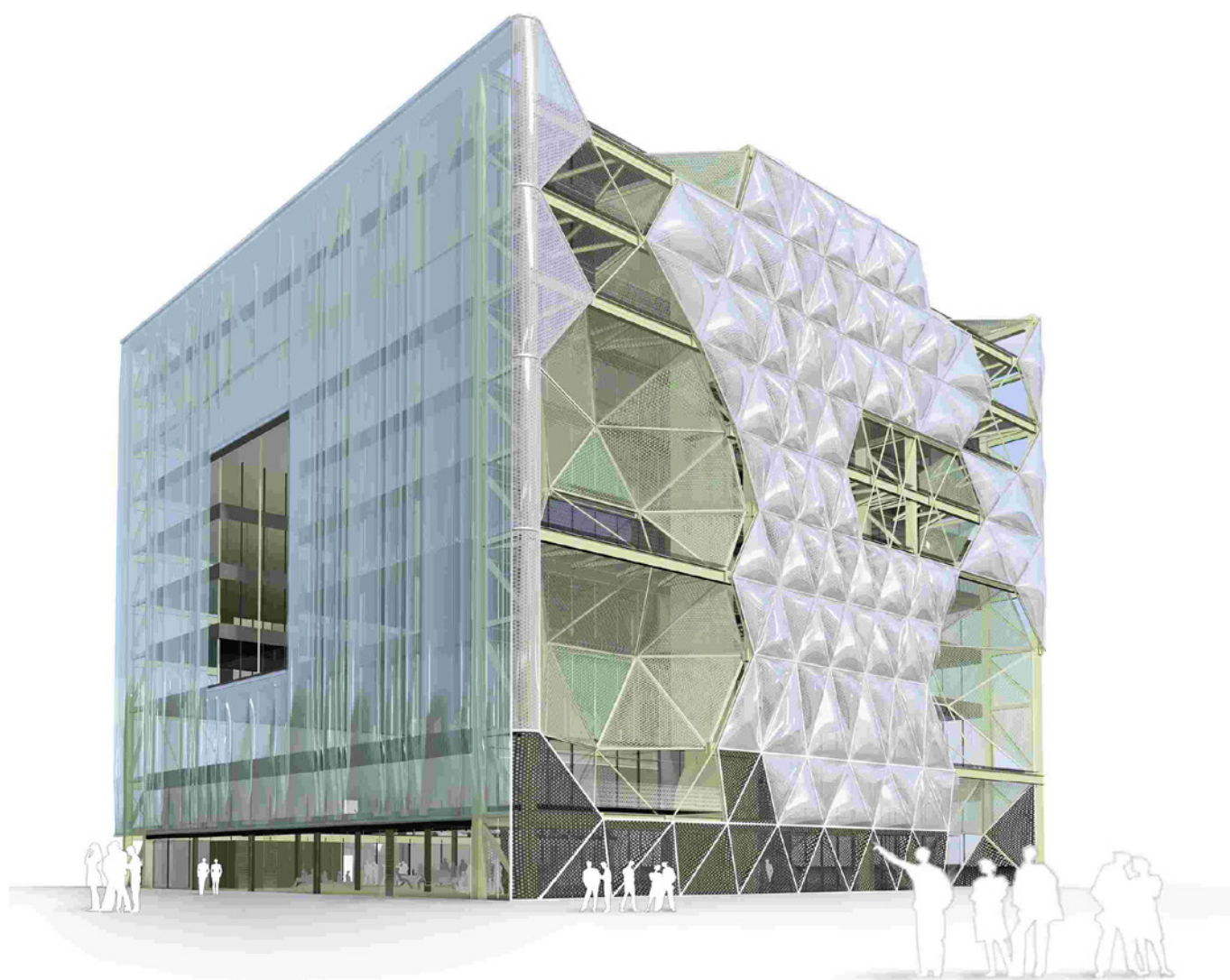


## INVESTIGAÇÃO AEGIS HIPOSURFACE

Tendo sido desenvolvida desde 1999, esta superfície completamente interativa funciona através de uma estrutura composta por pistões pneumáticos e molas que são ativados digitalmente. A resposta é dada em tempo real refletindo-se num plano que se altera a três dimensões, o número de variações é tanto mais diversificada, quanto maior for o número de elementos metálicos que compõem a parede, teto ou superfície. Apesar das críticas de Sterk sobre a falta de conexão entre a responsividade do sistema de fachada e a estrutura que o suporta, este trabalho foi um dos primeiros a sugerir o uso de uma estrutura pneumática como uma possível solução interativa integrada num edifício.

MARK GOULTHORPE,  
DECOI ARCHITECTS,  
BIRMINGHAM, UK,  
1999–2001

FIG 77 [CIMA] PROTÓTIPO INTERATIVO  
O MÚSCULO PNEUMÁTICO, CONSISTE EM MANGUEIRAS QUE CONTRAEM ATRAVÉS DA PRESSÃO DO AR E EXERCEM FORÇAS ATÉ 6kN, 600KG. OS MOVIMENTOS SÃO CONTROLADOS POR SENSORES QUE DETETAM O MOVIMENTO E A PROXIMIDADE DAS PESSOAS, PERMITINDO REAGIR INSTANTÂNEAMENTE



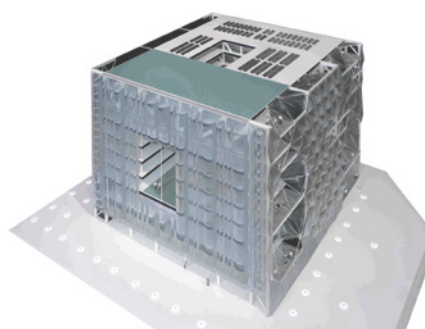


FIG 79 FACHADA SUDOESTE (LADO ESQUERDO)  
FACHADA SUL (LADO DIREITO)

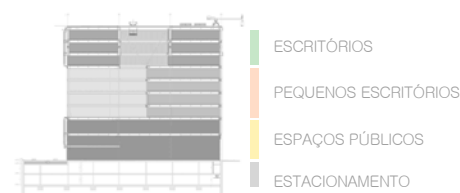


FIG 78 PROGRAMA

## PROJETO EDIFÍCIO MÉDIA – TIC

O distrito 22@ é uma cidade experimental em Espanha, destinada à construção com uma forte componente energética e digital, baseada na tecnologia de informação e comunicação. Neste sentido, o arquiteto pensou desenvolver um edifício com uma implantação quadrada de 44m de lado, em colaboração com a Fundação Barcelona Digital, que podesse conter as últimas inovações na áreas das TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) de forma a promover a interrelação entre as empresas e os cidadãos.

O edifício divide-se programaticamente em três, sendo os dois pisos abaixo da linha terra destinados a 200 lugares de estacionamento, o piso da entrada, de caráter público, abriga um auditório e um *cibernarium*, e os restantes pisos destinam-se a servir de escritórios para pequenas e médias empresas.

A fachada é revestida por um material híbrido chamado *ETFE* (*Ethylene tetrafluoroethylene*), um polímero desenvolvido com um coeficiente ultra-violetas de 85% e uma densidade de 350g/m<sup>2</sup>. Ou seja, este plástico é altamente resistente, leve e elástico que funciona como um filtro solar. A longo prazo estas características mantêm-se e a sua antiaderência evita que se suje, não sendo por isso necessária uma manutenção de limpeza frequente. Utilizando o mesmo material, os *Cloud 9* desenvolveram dois sistemas pneumáticos distintos para as fachadas sul e sudoeste, como podemos ver em seguida.

ENRIC RUIZ-GELI (ARQº PRINCIPAL),

JAVIER PÉREZ CONTONENTE,  
FRANCESCO DUCATO, FELIX  
FASSBINDER, VITOR LLANOS,  
MAX ZINNERCKER

EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS

22@, BARCELONA

2005-2009

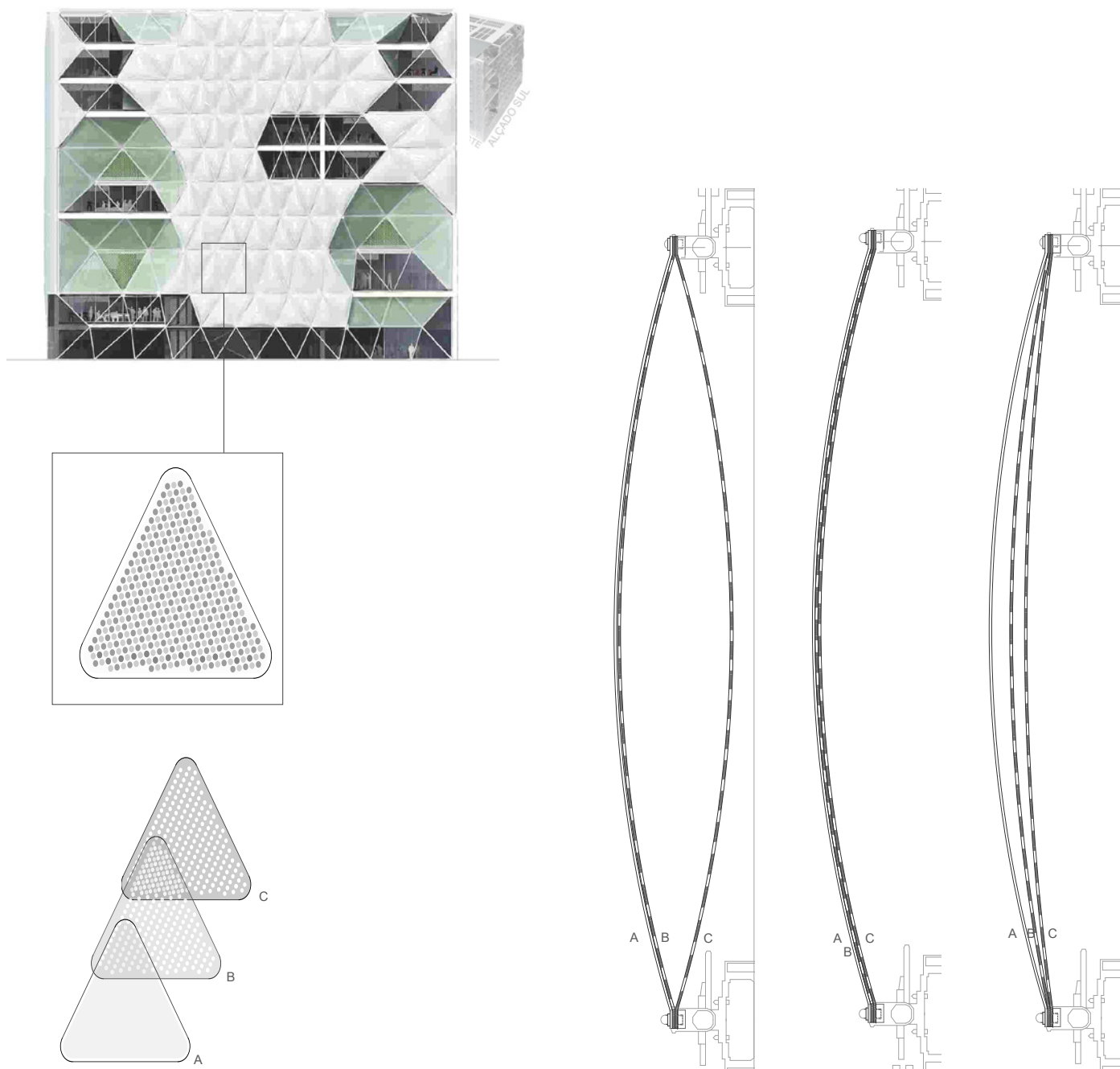


FIG 80 PORMENOR DA FACHADA SUL. O SISTEMA DE FACHADA É COMPOSTO POR TRÊS MEMBRANAS, AMBAS EM ETFE COM DIFERENTES OPACIDADES: A EXTERIOR (A) POSSUI UMA OPACIDADE DE 6.7%, SENDO QUASE TRANSPARENTE, A INTERMÉDIA (B) DE 68% E A INTERIOR (C) DE 63%. A DISTÂNCIA VARIA ENTRE ELAS, ORIGINANDO DIFERENTES OPACIDADES ATRAVÉS DO CONTROLO DA PRESSÃO NO SEU INTERIOR. QUANDO TOTALMENTE AFASTADAS, PERMITEM A PASSAGEM TOTAL DE ILUMINAÇÃO (FIG.1). QUANDO A PRESSÃO DIMINUI, UNEM-SE, BLOQUEANDO A LUZ (FIG.1).

Na fachada principal, orientada a sul, o sistema insuflável funciona como um diafragma, melhorando o isolamento térmico e criando sombra. Está dividido em três camadas, uma exterior transparente, a intermédia e a interior possuem um desenho inverso que ao desinsuflar e juntar, tornam-se num plano apaco, impedindo a passagem da luz. A vantagem é que apenas com a gestão da quantidade de ar que entra entre as membranas, se consegue controlar todo o sistema de fachada, trazendo resultados energéticos e económicos muito favoráveis.

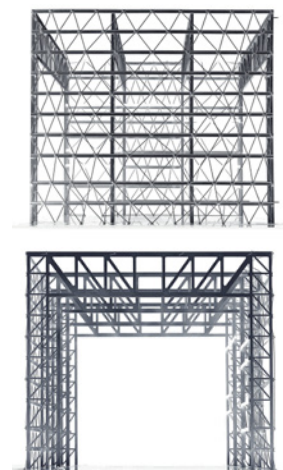
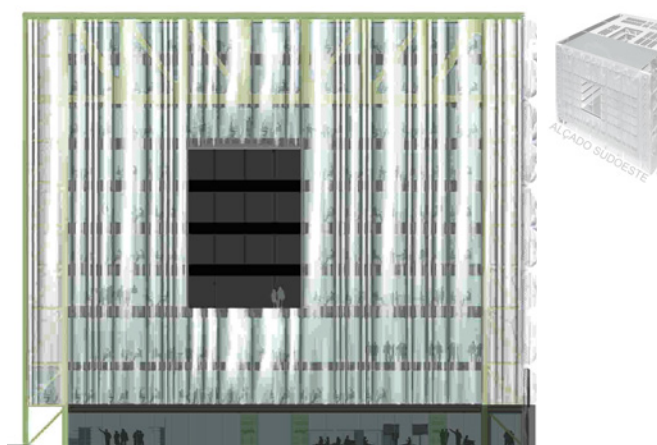


FIG 82 SISTEMA ESTRUTURAL  
EM TERMOS ESTRUTURAIS, O SISTEMA  
FUNCIONA DE UM MODO SEPARADO DO  
REVESTIMENTO DA FACHADA.

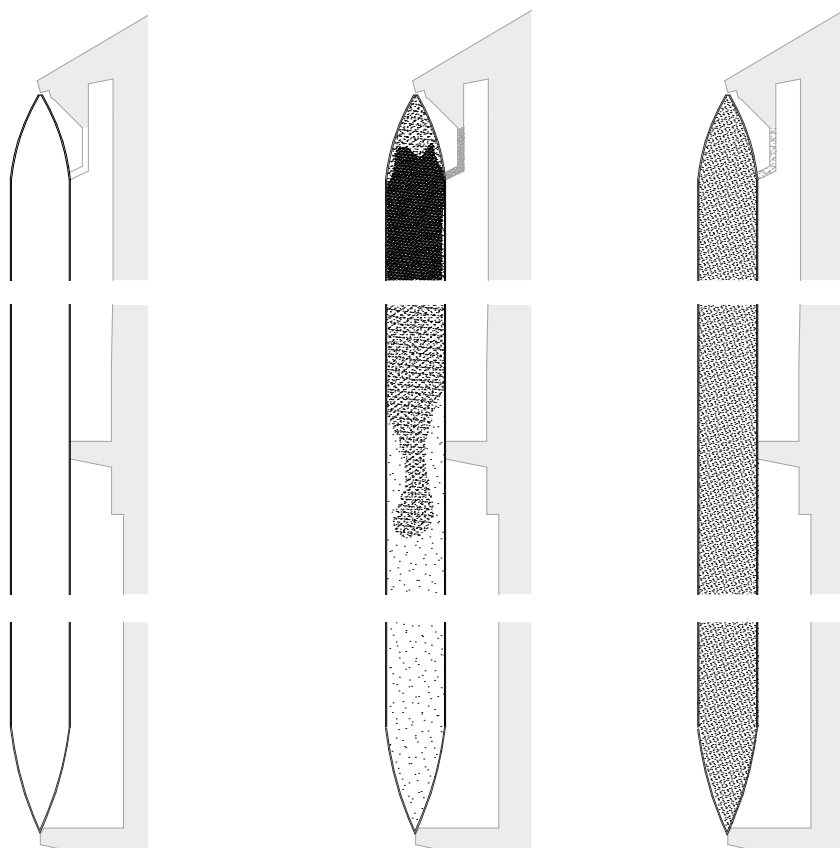
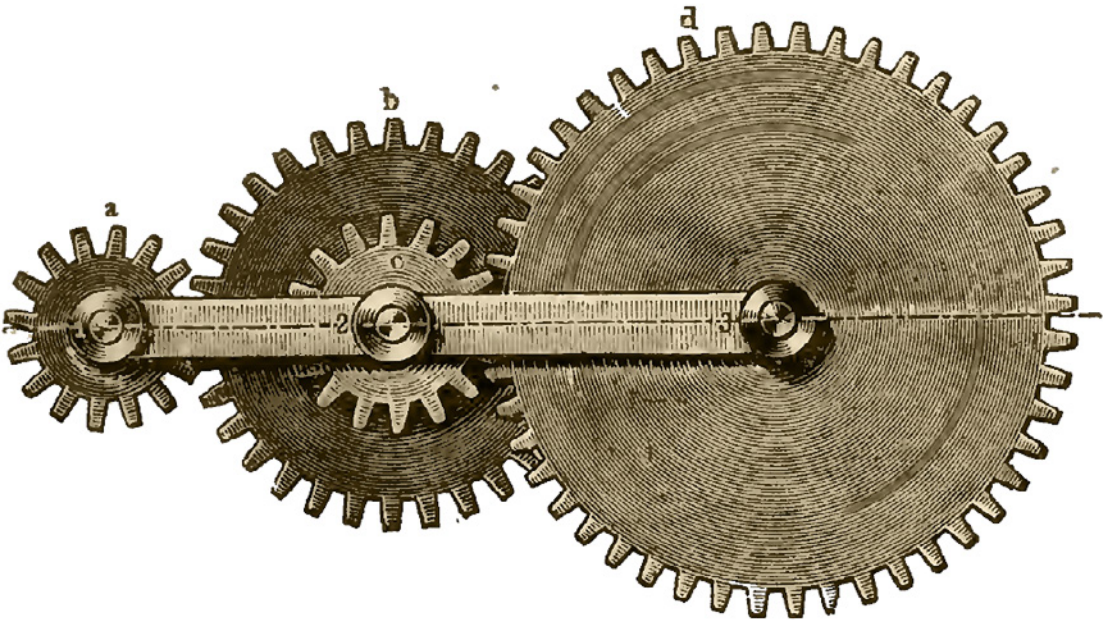


FIG 81 PORMENOR DA FACHADA  
SUDOESTE  
NAS TRÊS IMAGENS VEMOS A PRO-  
GRESSÃO DE UMA FACHADA TOTALMENTE  
TRANSPARENTE ATÉ AO NÍVEL MÁXIMO DE  
TRANSLUCIDEZ. A FIGURA MOSTRA O AR A  
SER PRESSURIZADO À COTA MAIS ALTA DA  
FACHADA E DEPOIS VAI PERCORRENDO-A  
VERTICALMENTE, GERANDO UMA NUVEM  
CARREGADA DE PARTÍCULAS DE HIDROGÉ-  
NIO, BARRANDO OS RAIOS SOLARES QUAN-  
DO INCIDEM DIRETAMENTE NA FACHADA.

Na fachada sudoeste, o sistema de circulação de ar funciona como uma nuvem vertical que filtra a radiação solar. O sistema pneumático já não controla a posição das membranas, mas antes o nível de transparência que a barreira cria com o exterior. Através de uma rede de sensores que medem a temperatura, humidade e a pressão do ar, o sistema é ativado, libertando partículas de hidrogénio que, ao circular livremente ao longo da fachada, combinam-se com o material *ETFE* e criam uma atmosfera densa que impede a passagem dos raios solares diretos, deixando apenas entrar a luminosidade, melhorando as condições não só de iluminação interior, como também de eficiência energética, uma vez que poupa em sistemas de climatização artificial.



## 3.2

## SISTEMAS MECÂNICOS

*'A machine consists solely of bodies which thus correspond, pair-wise, reciprocally. These form the kinematic or mechanismal elements of the machine.'*<sup>179</sup>

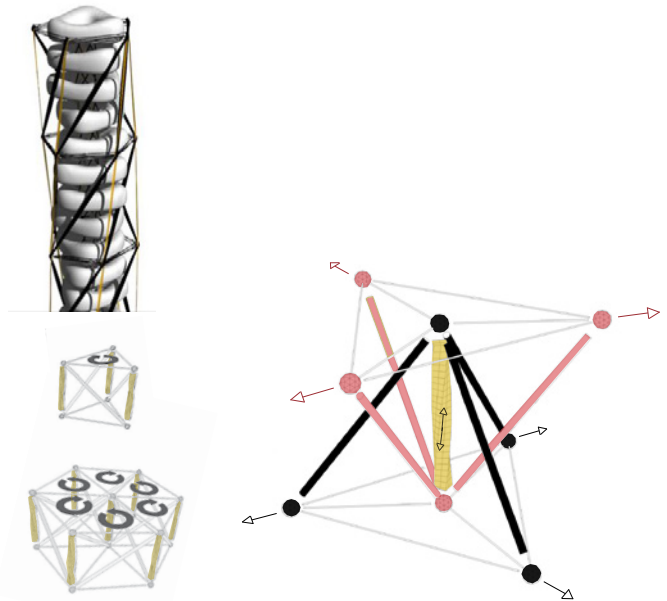
179. FRANZ REULEAUX (1876:43)

No seu livro *Kinematics of Machinery*, Reuleaux propõe a ideia nova da visão da máquina como o resultado da ligação de vários elementos que trabalham em conjunto, de modo a realizar a função para qual foi pensada. Defende uma nova definição de sistema mecânico aliada ao termo cinética, ficando assim conhecido como o 'pai da cinética'<sup>180</sup>. No seu livro faz um extenso estudo sobre os vários tipos de conexões entre os elementos mecânicos e das forças que podiam atuar sobre eles. Questiona-se sobre o que a tecnologia significaria na mecânica cinética, num tempo em que os mecanismos eram totalmente manuais e as descobertas sobre sistemas elétricos estavam num estado embrionário. Para o autor, tecnologia poderia significar um desenvolvimento de máquinas especiais, cujo 'movimento natural das forças, pelos vários elementos da máquina, ativaria o seu funcionamento.'

180. (REULEAUX 1890:38)

Assim sendo, neste capítulo iremos ver que, com a evolução da tecnológica, os sistemas mecânicos fundem-se cada vez com os sistemas elétricos e digitais, possibilitando gerar assim uma riqueza maior de movimentos cinéticos, cada vez mais automatizados. O manuseamento manual dos mecanismos, que caracterizava a realidade dos meados do século XIX, evolui e é substituído pelo controlo computadorizado, libertando o homem da aplicação da sua força física.

FIG 83 | PÁGINA 104 |  
ILUSTRAÇÃO DE FRANZ REULEAUX



## INVESTIGAÇÃO FILAMENTOSA

TRISTAN D'ESTRÉE STERK

ORAMBRA

2004-2012

Aliando a noção de redução material, das coberturas de *Buckminster Fuller*, a dois modelos arquitetônicos responsivos diferentes, um que mostra os benefícios da intervenção do utilizador e da manipulação direta, desenvolvido por Yona Friedman<sup>181</sup>, e outro proposto por Andrew Rabeneck, ilustrando os benefícios da automação e da tecnologia de antecipação, Sterk desenvolveu o seu próprio modelo híbrido de controlo responsivo. Pensado desde 2004, o projeto representa um novo tipo de arranha-céus que integra tecnologias responsivas no sistema estrutural e na fachada de forma a reduzir o material e a energia exigida num edifício destas dimensões. Ao contrário dos edifícios convencionais, a construção baseia-se num sistema estrutural tensionado (fig. 84) que permite que se adapte à envolvente circundante e 'potencie a forma como as pessoas vivem, da mesma forma que um pássaro muda a posição do seu corpo e asas para controlar a velocidade do seu voo'<sup>182</sup>. A alteração física da estrutura ou do sistema é conseguido através de um dispositivo mecânico que manipula todo o edifício e resulta da combinação de um *tripod* (fig), um acionador (liga as unidades estruturais numa só), um processador, um sensor e uma fonte de energia, segundo o autor.<sup>183</sup>

181. VER PÁGINA 53

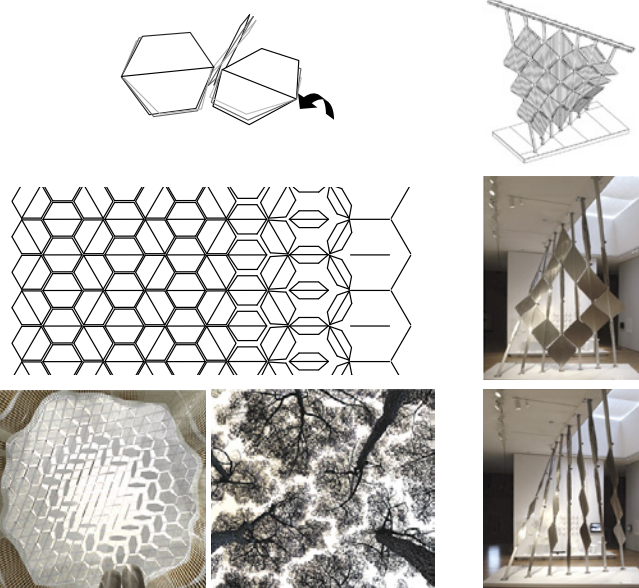
182. <[HTTP://WWW.ORAMBRA.COM/~FILAMENTOSA.HTML](http://www.orambra.com/~filamentosa.html)>

183. (STERK, 2012:89)

FIG 84 PRINCÍPIO ESTRUTURAL DO SISTEMA TENSIONADO  
[DIREITA] A LOCALIZAÇÃO DO ATUADOR (AMARELO) NUMA ESTRUTURA TENSIONADA É MUITO IMPORTANTE E DETERMINA DOIS PRINCÍPIOS ESSENCIAIS: OS CABOS FUNCIONAM EM TENSÃO (CINZENTO) E A ESTRUTURA (PRETA E VERMELHO) REAGE ÀS FORÇAS DE COMPRESSÃO. A FORÇA MECÂNICA DO ACIONADOR ATIVA CADA ELEMENTO INDIVIDUALMENTE, SE ESTE FOR ASSOCIADO A CADA UM.

O projeto Filamentosa constitui um modelo arquitetónico que unifica as especificidades do movimento mecânico com as da computação em busca de soluções de edifícios em altura mais eficazes.

mais informação:  
[HTTP://WWW.ORAMBRA.COM/](http://www.orambra.com/)



## INVESTIGAÇÃO ADAPTATIVE SHADING

A parceria entre Chuck Hoberman<sup>184</sup> e Buro Happold<sup>185</sup> em 2008, refletiu-se no seu primeiro projeto em conjunto *Emergent Surface*, em exposição (imagem direita). Esta parede abriu espaço para uma investigação sobre superfícies responsivas capazes de alterar a sua opacidade, permeabilidade e dimensões físicas, de forma a poder responder inteligentemente às mudanças do ambiente circundante. Os visitantes da exposição, tinham a oportunidade de presenciar um novo sistema com a propriedade de se reconfigurar continuamente, através do controlo individual de cada elemento, dando origem a uma infinita variedade de soluções.

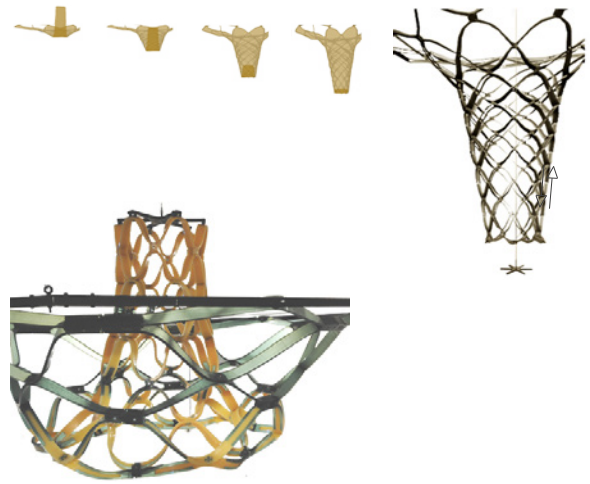
'Estes sistemas cinéticos possuem características auto-otimizadas que se reconfiguram segundo as mudanças ambientais, de forma a melhorar a performance energética do edifício e aumentar o conforto dos seus ocupantes'<sup>186</sup>, patente no projeto desenvolvido em conjunto com o atelier Foster & Partners, na imagem em cima. O desenho do elemento baseia-se num octógono com vários eixos de rotação, permitindo assim um melhor controlo da iluminação, indo da abertura completa até ao encerramento total.

HOBERMAN ASSOCIATES +  
FOSTER & PARTNERS  
CIDADE DA JUSTIÇA

184. VER TEMA 'MECANISMOS MÓVEIS', PÁGINA 57.

185. BURO HAPPOLD, LIDERA UMA EMPRESA DE ENGENHARIA ASSENTE NA MAIS SOFISTICADA TECNOLOGIA DE CONTRUÇÃO E COM UM VASTO TRABALHO NA EUROPA, AMÉRICA E ASIA. JUNTOS INICIAM O PROJETO ADAPTIVE BUILDING INITIATIVE (ABI) E UTILIZAM OS SISTEMAS DESENVOLVIDOS PELA EMPRESA ABI'S STRATA™.

186. (HOBERMAN 2012:5)



## INVESTIGAÇÃO OPEN COLUMNS

OMAR KHAN

BUFFALO ART STUDIO

2007

Este projeto acadêmico repensa na função estrutural inerente à coluna e propõe um sistema capaz de reorganizar totalmente o espaço, em tempo real, com base nos níveis de  $\text{CO}_2$  contidos na atmosfera. Feitas num compósito de uretano com propriedades elásticas, as colunas estão programadas para crescerem em tamanho, criando diferentes espaços, quando os níveis de dióxido estão baixos e assim que aumentam, reduzem a sua altura para gerar um espaço mais amplo, ventilado e convidativo a entrar.

FIG 85 OPEN COLUMNS

| ESQUERDA | EXPOSIÇÃO

| DIREITA | ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO.

O MOTOR LOCALIZADO NO TETO ACIONA O MECANISMO QUE SUSTENTA A COLUNA, FAZENDO-A INTERAGIR COM O ESPAÇO. ESTE PROCESSO COMPUTORIZADO TEM A CAPACIDADE DE GRAVAR AS EXPERIÊNCIAS PASSADAS E ASSIM AO LONGO DO TEMPO A SUA POSIÇÃO VAI MUDANDO PERANTE AS VÁRIAS SITUAÇÕES, DE UMA FORMA INTELIGENTE E NÃO PREDITIVA.

mais informação:

[HTTP://CAST.B-AP.NET/OPENCOLUMNS/](http://CAST.B-AP.NET/OPENCOLUMNS/)



## PROJETO PAVILHÃO DA ÁGUA

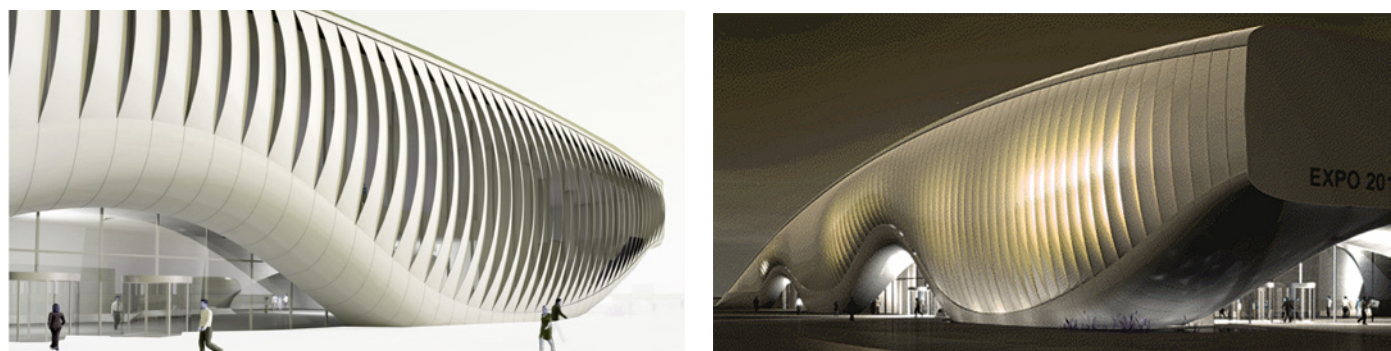
A cooperação entre o atelier de arquitetura austríaco e a empresa de engenharia nova iorquina, deu origem ao desenho e construção de uma das maiores soluções cinéticas no mundo, para a Exposição Internacional da Coreia do Sul com o tema *The Living Ocean and Coast*. Erguido num antigo porto marinho, o pavilhão de exposições transforma-se agora num centro de monitorização da qualidade da água e abriga ao mesmo tempo diversas atividades de lazer para os cidadãos.

SOMA ARCHITECTURE, DMP  
ARCHITECTS,  
KNIPPERS HELBIG (ENGENHARIA)  
PAVILHÃO EXPO 2012  
YEOSU, COREIA DO SUL  
2010

Inspirando-se no movimento de oscilação natural de vários tipos de vegetação, exploraram novas possibilidades para o desenho de uma fachada interativa que tem integrado em si a possibilidade de abrir e fechar, semelhante às guelras de um peixe. Esta solução para a fachada final apoiou-se no projeto de investigação da Universidade de Estugarda sobre a aplicação de movimentos mecânicos biológicos na arquitetura.

A sua organização interior vai-se materializando em contínuas superfícies que alternam entre vertical e horizontal, criando diferentes sensações, fruto da inspiração no mar.





O foyer e a maior parte da área praticável são ventiladas naturalmente através de 108 grandes lâminas em fibra de vidro reforçada (GRP) que têm a capacidade de girar. Esse movimento é criado através de um mecanismo que aplica forças de compressão nos limites superiores e inferiores de cada lâmina. A pressão cria uma deformação no plástico, permitindo a fachada abrir e fechar, e vários sensores vão constantemente atualizando e comunicando ao acionador o nível de abertura. Durante o dia, o movimento cinético da fachada vai controlando a entrada da luz solar e é alimentado através de painéis fotovoltaicos instalados na cobertura, aumentando assim a eficiência energética.

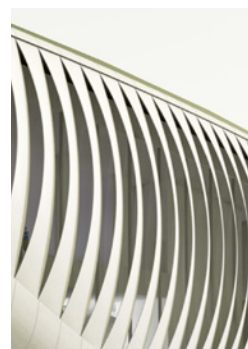
À noite, a imagem 89, LEDs instalados em linha vertical, na parte interior, iluminam e enfatizam o movimento individual das barras e, quando abertas, iluminam a vizinha.

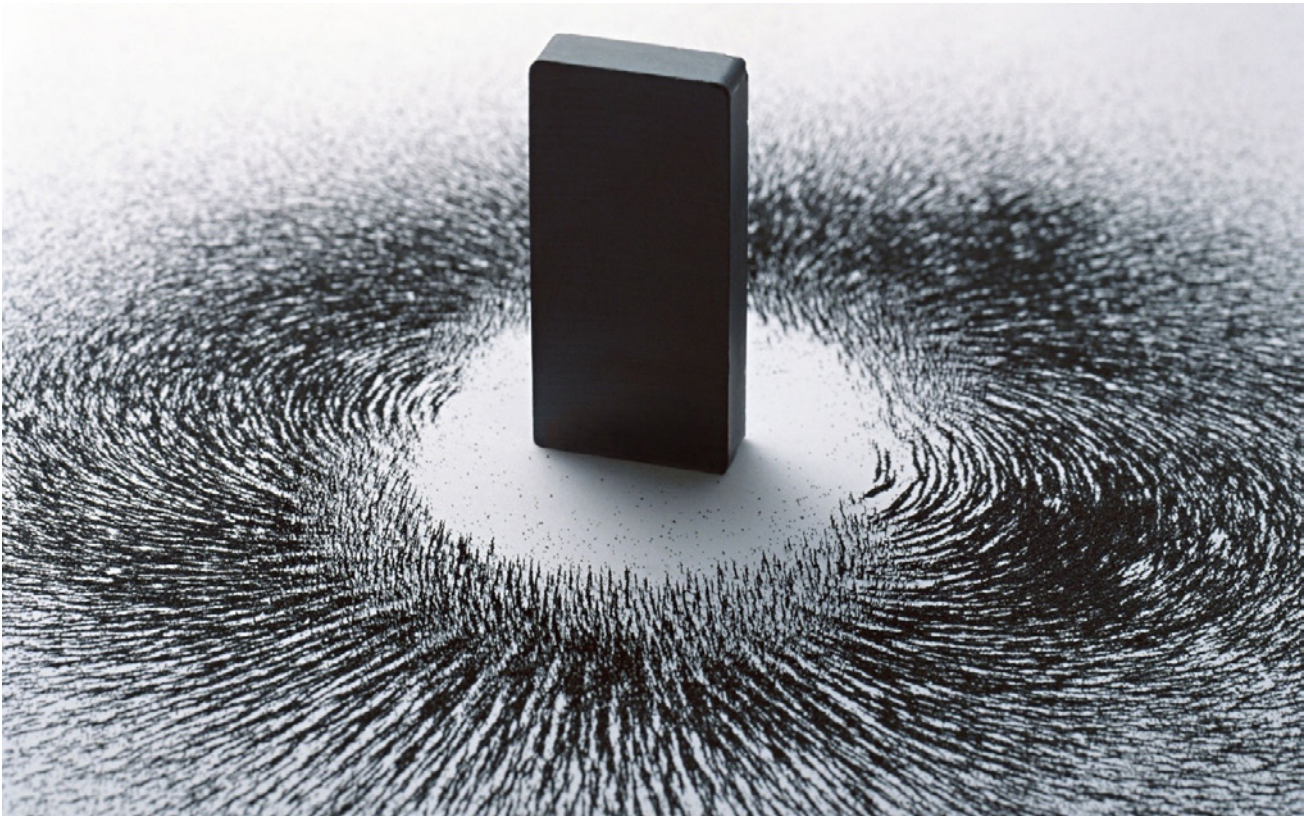
FIG 88 | [ESQUERDA] IMAGEM 3D DIA  
FIG 89 | [DIREITA] IMAGEM 3D NOITE

FIG 86 3 | [PAGINA SEGUINTE CIMA]  
3 FASES ABERTURA

FIG 87 | [PAGINA SEGUINTE BAIXO]  
CORTE TRANSVERSAL

A FACHADA É DISPOSTA POR LÂMINAS, EM GRP (PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO), NA VERTICAL QUE CRIAM UM PLANO OPACO UNIFORME. QUANDO LHESES É APLICADA UMA FORÇA MECÂNICA NAS ESTREMIDADES (AMARELO), FICAM EM TENSÃO E DEFORMAM, CRIANDO ABERTURAS PARA O EXTERIOR.





## CAPÍTULO 3.3

## SISTEMAS MAGNÉTICOS

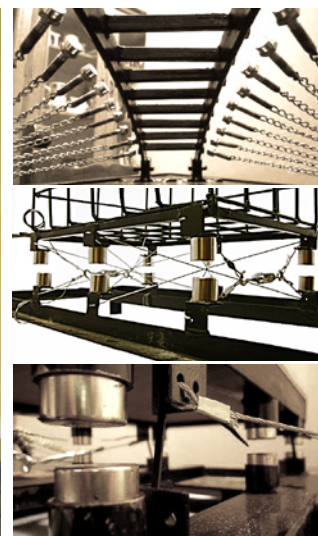
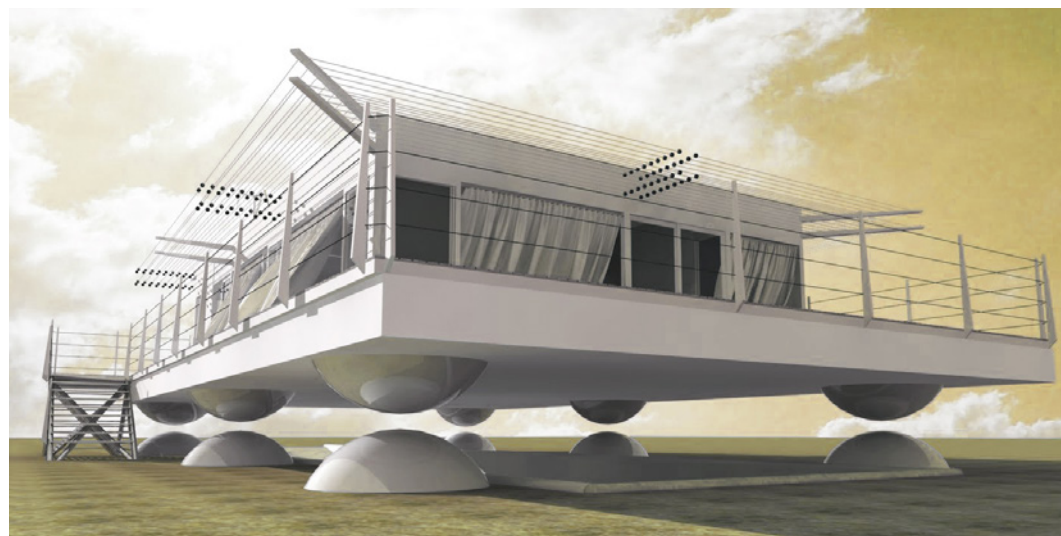
*'The source of magnetic forces is also electric charge, but electric charge in 'motion', even though you usually cannot see the motion of the charge...'* <sup>187</sup>

187. (LIVINGSTON, 2011:23)

Ilustrando pela primeira vez a estrutura invisível do movimento das cargas elétricas em três dimensões, Michael Faraday abre um novo caminho na exploração das forças que atuam nos campos magnéticos com o seu trabalho sobre as 'linhas de força'. O magnetismo também comunica com outra força invisível, a gravidade, e as duas tornam-se um tema importante para a compreensão das vantagens que podem trazer para o campo arquitetônico. Fomos capazes de usar a propriedade dos campos magnéticos para levantar mais peso que o seu próprio e já iniciamos a exploração no campo da levitação magnética, uma área com um grande potencial ecológico e energético.

Iremos ver agora analisar os trabalhos Magnetic Architecture e Floating Lights que se mostram significativos para o desenvolvimento de uma arquitetura atenta às mudanças da nossa sociedade, sem deixar de lado as preocupações ambientais.

FIG 90 |PAGINA 112|  
MOVIMENTO DAS FORÇAS MAGNÉTICAS



## INVESTIGAÇÃO MAGNETIC ARCHITECTURE

LUIS ENRIQUE CUEVA  
TESE DOUTORAMENTO  
PERU  
2011

O Peru está localizado numa zona chamada *Ring of Fire*, que é afetada por cerca de 80% dos maiores terremotos que acontecem no planeta. Para Cueva, a arquitetura deve ser pensada de forma a contrariar essas as forças destrutivas mas ao mesmo tempo fazê-lo de uma forma inteligente e eficiente, assegurando a nossa sobrevivência sem por em causa a existência do ecossistema global.

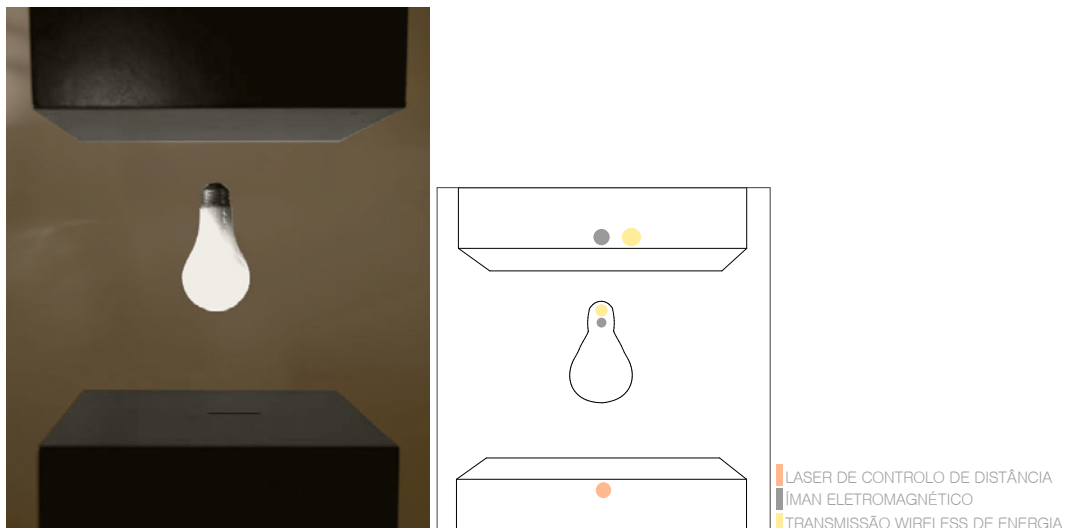
Assim sendo, baseado no estudo das forças magnéticas e gravitacionais, desenhou num modelo que evita o contato com o solo e, por isso, capaz de absorver totalmente o impacto dos terremotos. O conceito é muito simples, o projeto baseia-se em almofadas magnéticas que permite ao edifício ficar suspenso no ar, levitando, e através do uso de correntes, o edifício seria puxado de novo para o solo.

A visualização virtual mostra a aplicação deste sistema na fase final, a fundação em betão armado está desenhada para resistir aos impactos violentos horizontais e verticais, aí são inseridos ímãs de grandes dimensões em titânio que repelem as forças dos ímãs que sustentam a plataforma onde o edifício repousa.

Este sistema de sustentação magnético também inclui um 'mecanismo de recolha de energia a partir da eletricidade gerada no espaço entre os ímãs, podendo ser diretamente armazenado em baterias.'<sup>188</sup>

mais informação:  
[HTTP://ARQUITECTURAMAGNETICA.BLOGSPOT.PT/](http://arquitecturamagnetica.blogspot.pt/)

188. (CUEVA, 2011:6)  
FIG 91 | DIREITA | MAQUETE  
PRIMEIRO MODELO DE UMA ESTRUTURA  
CURVADA EM QUE O USO DE CORRENTES  
LATERAIS COM IMANS NAS EXTREMIDADES  
EVITA QUE A ESTRUTURA BALANCE. O  
PROCESSO É USADO DA MESMA FORMA  
NAS IMAGENS E -, MOSTRANDO QUE  
O PROCESSO PODE SER APLICADO EM  
ESTRUTURAS MAIS COMPLEXAS, COMO É A  
DOS EDIFÍCIOS.



## INVESTIGAÇÃO LIGHT BULB

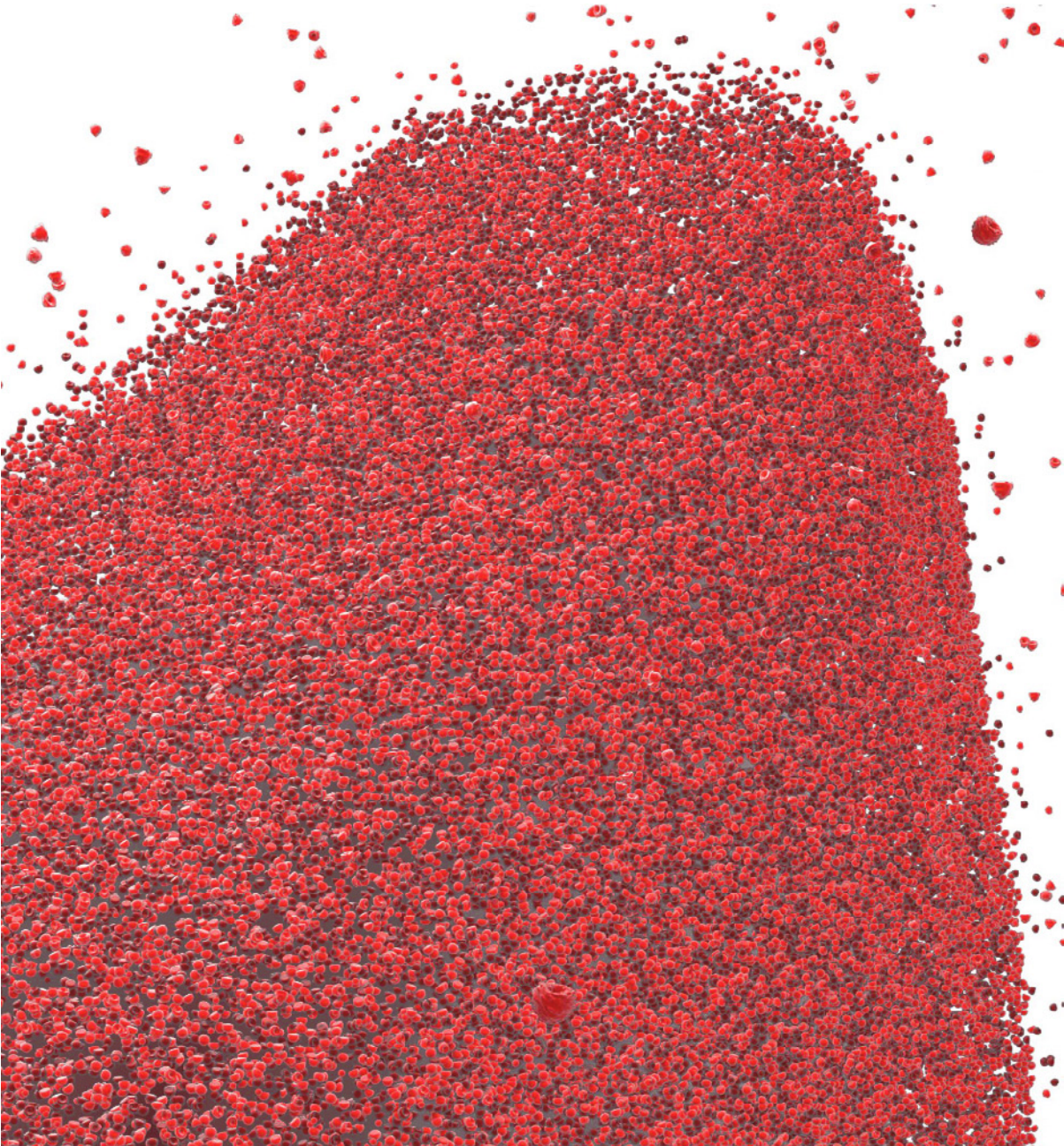
Este projeto partiu de uma escultura com o nome *Light Bulb*, uma lâmpada acesa e suspensa, sem qualquer ligação física com outro elemento, que durará anos sem necessidade de qualquer contato, carregador ou bateria.

Sem qualquer tipo de manipulação de imagem, a lâmpada levita graças a um sistema eletromagnético de *feedback* e a iluminação é conseguida através de um circuito *wireless* de transferência de energia desenvolvido por Tesla<sup>189</sup>. Mais interessante ainda é o fato deste sistema ainda consumir menos de metade da energia que é gasta por uma lâmpada incandescente.

JEFF LIEBERMAN'S

2007

189. NIKOLA TESLA DESENVOLVEU A TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA POR REDE WIRELESS, POR VOLTA DE 1890.



## CAPÍTULO 3.4

## SISTEMAS QUÍMICOS

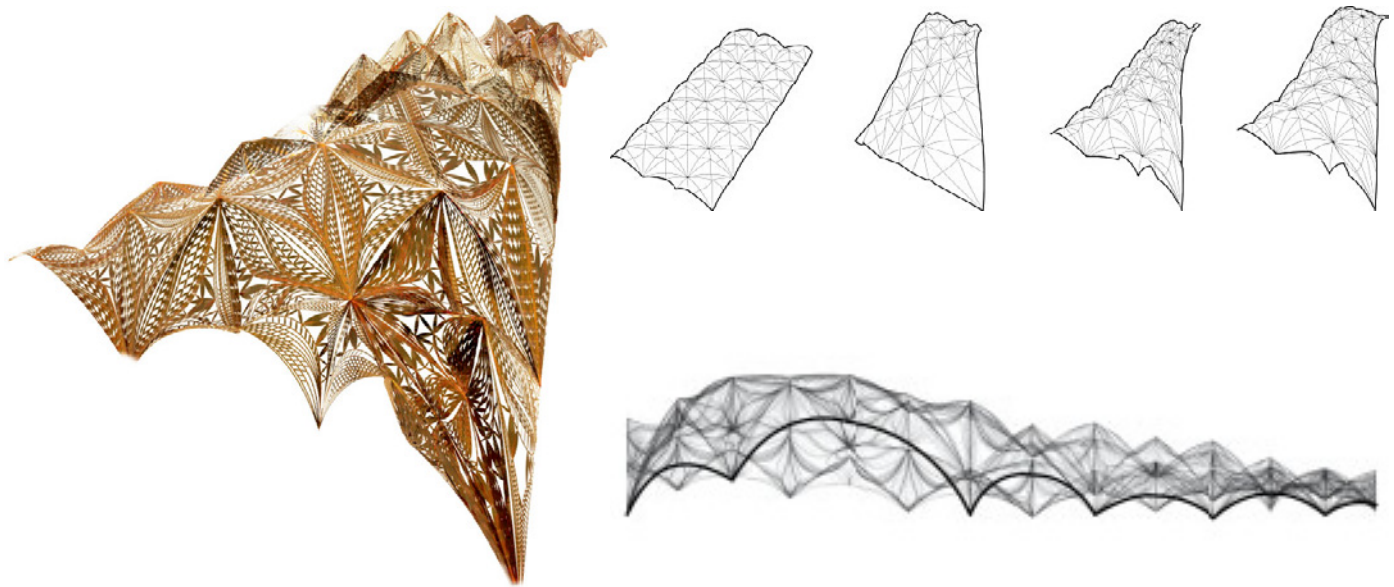
*'Here we are more than a decade into the 21st century. We are told by some quarters that there is nothing new left to discover in architectural practice and that it has all been done before.'* <sup>190</sup>

190. (ARMSTRONG: 2011:15)

É verdade que, hoje em dia, a física é a área das ciências que mais tem desacelerado nas suas investigações, contrariamente à química, que tem dado grandes passos na exploração do mundo microscópico da mecânica quântica. se pudéssemos dividir, poderíamos dizer que os avanços da física foram o grande marco do século xx e os da química marcarão, provavelmente, o século xxi.

a descoberta de novo conhecimento não abrandou, muito pelo contrário, passou antes a ser feito a nível molecular. o trabalho de rachel armstrong no laboratório de tecnologia viva, na dinamarca, é um exemplo do que transformações das estruturas moleculares possibilitam, permitindo revolucionar os materiais que conhecemos hoje. a evolução que a arquitetura necessita talvez não passe pela criação de mais soluções construtivas, mas talvez passe pela utilização de materiais melhorados, com mais funções e flexíveis e que permitam resolver os inúmeros problemas existentes gerados pelo 'boom' das novas tecnologias.

**FIG 92 [PAGINA 116]**  
THE MAGIC MOUNTAIN, ECOSYSTEM  
MASK FOR AMES THERMAL POWER  
STATION,  
AMID (CERO9)



## INVESTIGAÇÃO LINE ARRAY

LISA IWAMOTO + CRAIG SCOTT  
IWAMOTOSCOTT ARCHITECTURE  
SAO FRANCISCO  
2010

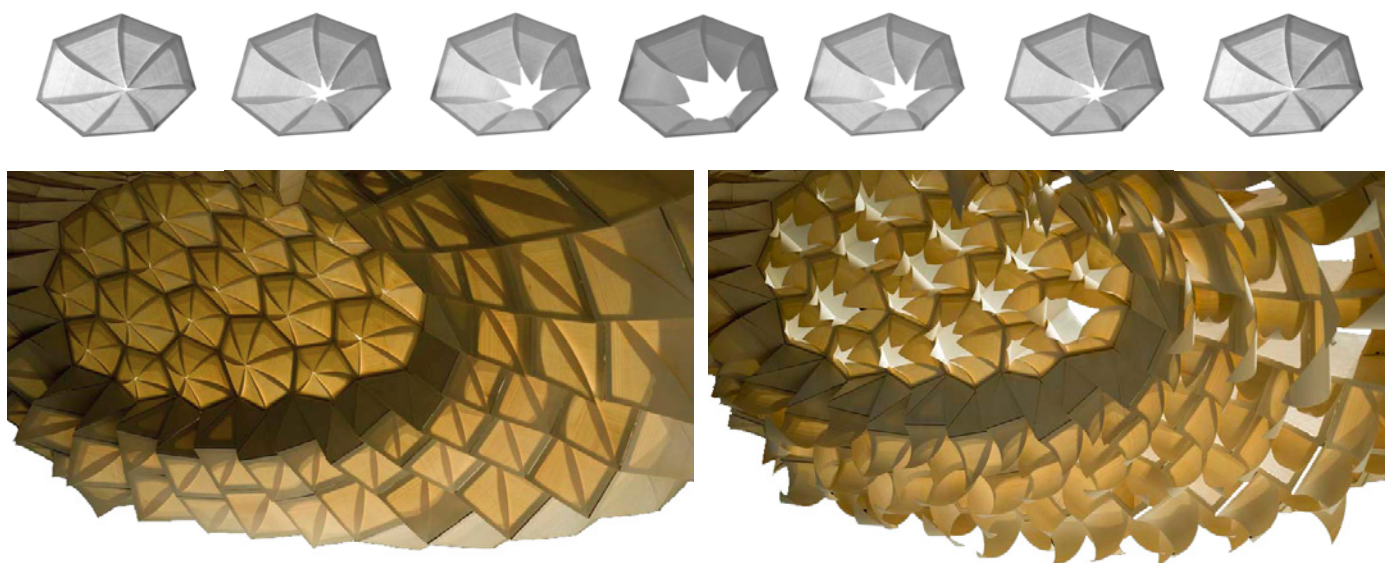
Este projeto de investigação utiliza as protocélulas sob um ponto de vista mais estrutural que material, procurando encontrar formas da arquitetura responder, ao nível celular dos materiais, às condições ambientais e estruturais. Como vimos anteriormente, a protocélula é uma célula, modificada quimicamente, capaz de se auto organizar biologicamente em diversas matrizes.

O projeto *Line Array* procura organizar as protocélulas, informaticamente, em várias aglomerações de forma a criar estruturas mais eficientes e mais específicas a cada projeto de arquitetura. Lisa escreve que a 'estrutura depende da relação entre geometria e material, tendo vindo, historicamente, a evoluir de forma a maximizar essa relação.'<sup>191</sup> Os arquitetos têm aplicado elementos geométricos, abóbadas, cúpulas, membranas tensionadas ou pilares, para materializar espaços uniformes e simétricos. Hoje, as novas ferramentas digitais permitem desenvolver sistemas estruturais capazes responder a cargas localizadas, não-simétricas e variáveis, através das simulações que calculam a viabilidade estrutural do edifício. Com esta informação, as protocélulas estudadas concentram-se nas áreas frágeis e fortalecem-nas, agindo de forma semelhante às limalhas de ferro sob atração magnética. Iwamoto afirma que são desenhadas para se acumularem, dispersar e reconfigurar de forma a se adaptarem às diferentes tensões da superfície, gerando elementos finos, superfícies tensionadas ou ruturas.

191. (IWAMOTO, 2011:115)

FIG 93 ESTUDO PRELIMINAR  
A ESTRUTURA REDEFINE-SE E ADAPTA-SE  
DE ACORDO COM AS MUDANÇAS DA FOR-  
MA, SUPERFÍCIE E SUPORTES PRETENDIDOS.

mais informação:  
[HTTP://WWW.IWAMOTOSCOTT.COM/](http://www.iwamotoscott.com/)  
AD 2012 PROTOCELL ARCHITECTURE



## INVESTIGAÇÃO HIGROSCOPE

*HygroScope* explora a instabilidade da madeira, sob diferentes níveis de humidade, para construir um modelo arquitetónico que responde às mudanças climáticas, sem a necessidade de equipamento técnico ou fonte de energia. A capacidade de resposta reside no comportamento higroscópico do material e nas suas características anisotrópicas. A higroscopia está relacionada com a habilidade do material em absorver a humidade do ar quando está seco e libertá-la assim que está molhado. Durante este processo de absorção e libertação dão-se mudanças físicas na forma exterior, à medida que as moléculas da água se fundem com as do material e alteram as suas ligações intercelulares. Com a certa articulação morfológica, o material ser aplicado na arquitetura e introduzir as variações desejadas. O sistema consiste na fabricação digital de 4000 elementos geometricamente personalizados, feitos a partir da combinação de folheado de madeira, *maple*, com compósitos sintéticos. A complexa subestrutura é roboticamente montada e pode ser programada para diferentes formas em função da responsividade à humidade.

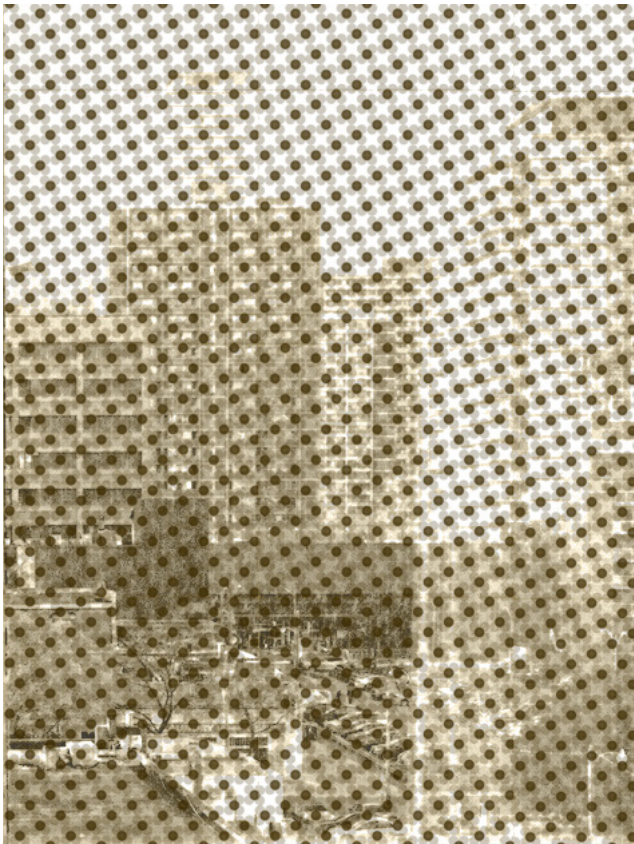
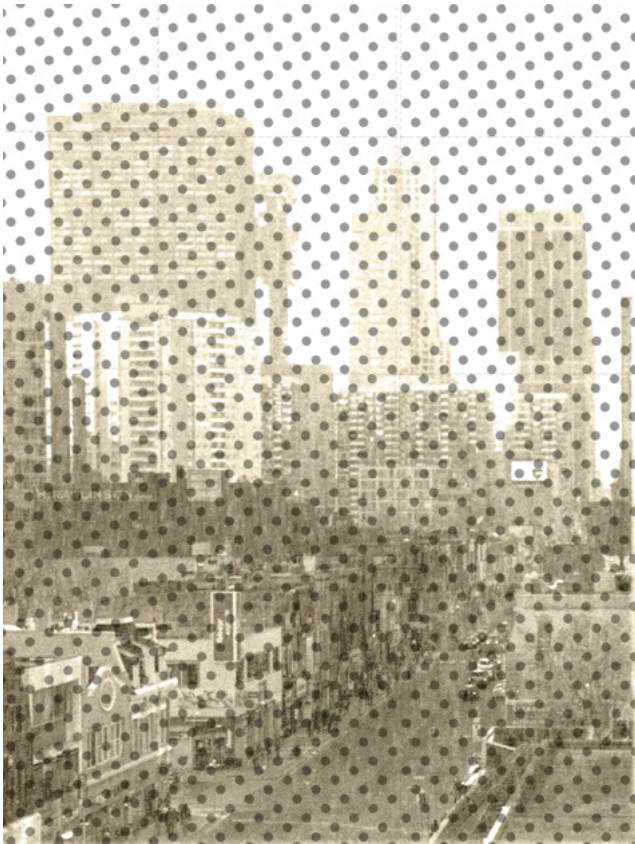
A possibilidade da transformação contínua da superfície face às mudanças climáticas, através da capacidade de sentir, atuar e reagir do próprio material, sem qualquer tipo de fonte de energia externa, é um contributo grande para o desenvolvimento de uma arquitetura mais inteligente e ecológica.

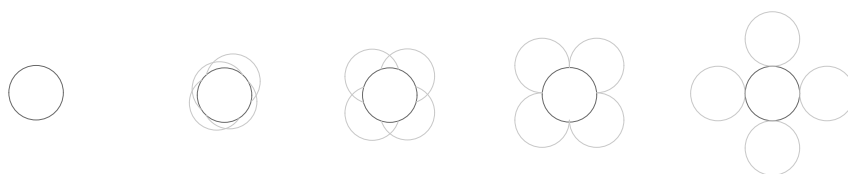
ACHIM MENGUES + STEFFEN REICHERT + BOYAN MIHAYLOV

UNIVERSITY OF STUTTGART

2012

FIG 94 [BAIXO]  
EXPOSIÇÃO PERMANENTE, FINANCIADA  
PELO CENTRO POMPIDOU, MULTIVERSITÉS  
CRÉATIVES





## PROJETO VIDRO INTELIGENTE

A tecnologia associada a este vidro foi desenvolvida pioneiramente pelo grupo *Adaptive Building Initiative* em colaboração com *Hoberman Associates*, para uma instalação dinâmica no interior de uma faculdade de design, em Harvard.

*Adaptive Fritting™* arrecadou o primeiro prémio pela originalidade do desenho e da tecnologia aplicada numa instalação dinâmica projetada para o interior da Faculdade de Design, em Harvard. Para além do controlo da privacidade, no interior dos edifícios, também pode ser utilizado para regular a quantidade de luz solar, no exterior.

É uma ferramenta poderosa com um desenho claro que permite aos arquitetos uma grande flexibilidade de utilização e integração no projeto, admitindo uma grande variedade de opções ao nível do material, em vidro granulado ou plástico, na dimensão, variando entre 3 a 5 metros, ou ao nível do padrão, permitindo uma certa liberdade no seu desenho (grelhas geométricas, variações de cor e imagem, composições não uniformes ou gradientes e até padrões não repetidos ou orgânicos).

Para além de se adaptar às diferentes necessidades dos espaços, esta nova tecnologia permite reduzir por um lado, o recurso a elementos arquitetónicos adicionais para criar privacidade, e por outro, aumentar a performance energética, uma vez que o recurso à iluminação reduziria.

HOBERMAN E BURO HAPPOLD

ESCOLA DE DESIGN

CAMBRIDGE

2009

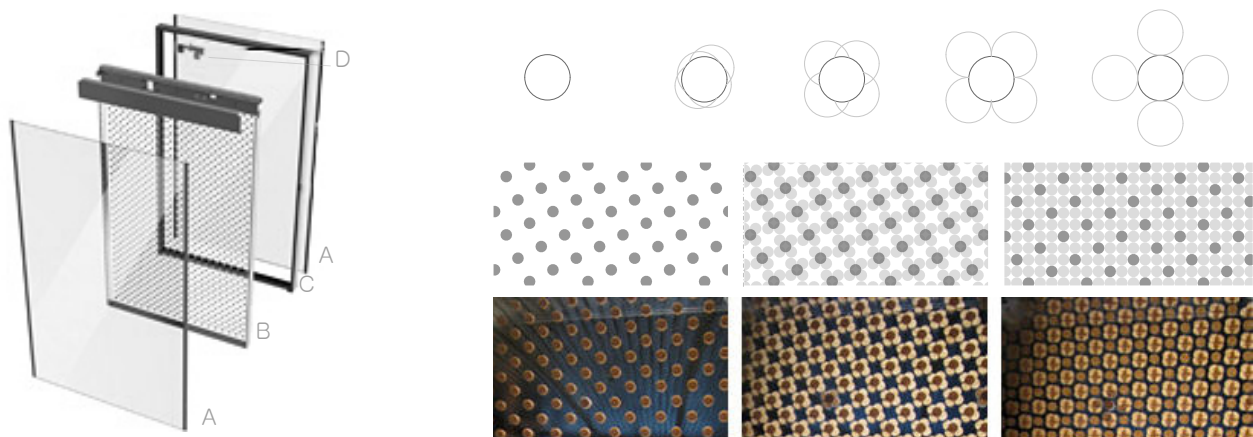
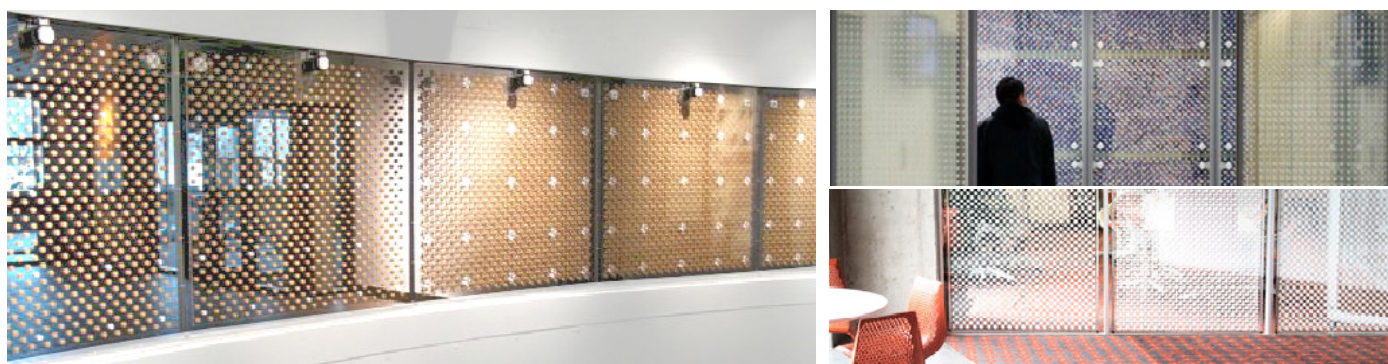


FIG 95 | CIMA | COMPOSIÇÃO DO VIDRO  
A | VIDRO TEMPERADO  
B | CAMADA DE VIDRO COM A TECNOLOGIA  
ADAPTATIVE FRITTING  
C | MOLDURA EM FERRO  
D | CONETOR DE CONTROLO  
FIG 96 | DIREITA |  
VÁRIOS NÍVEIS DE OPACIDADE

*Frit* consiste numa mistura de partículas cerâmicas que quando atingem altas temperaturas, derretem e aglomeram-se, originando superfícies transparentes com padrões granulados. Pela introdução de algumas modificações neste processo tradicional de construção do vidro, Hoberman conseguiu gerar um novo material onde é possível um controlo dinâmico à distância e em tempo-real a densidade desse granulado, ajustando-a às necessidades dos ocupantes.

Utilizando seis grandes painéis motorizados implantados em linha curva, quando observados em planta, a instalação cria um plano vertical dinâmico onde a passagem da luz, a visibilidade e a delimitação do espaço muda e adapta-se continuamente, gerando diferentes efeitos visuais. O vidro inteligente consegue alterar o padrão gráfico das partículas integradas, graças a um servomotor, permitindo mudar e ajustar os níveis de transparência de forma a controlar a luz recebida e a privacidade do espaço interior.

Esta variação na transparência é conseguida graças à mudança na disposição das várias camadas de vidro granulado (*frit*) que permite alinhar ou divergir os padrões, dando origem a superfícies mais ou menos opacas (figura 96).



Para além da faculdade de design, este sistema já teve a oportunidade de ser aplicado em 2010 na entrada principal do instituto de engenharia, em boston (figura 98 e em 2011 em tartu, numa sala de conferências, como podemos ver na imagem 99.

FIG 97 | [ESQUERDA]  
ESCOLA DE DESIGN, HARVARD  
FIG 98 | [DIREITA-CIMA]  
INSTITUTO ENGENHARIA INSPIRADA, BOSTON  
FIG 99 | [DIREITA-BAIXO]  
CENTRO DE CIÊNCIA, ESTÓNIA



## CAPÍTULO 3.5

## SISTEMAS NATURAIS

*'Movement is the natural condition of all things.'* <sup>192</sup>

192. BRIAN CODY  
(SCHUMACHER, 2010:124)

Apesar de pouco explorados, os sistemas cinéticos naturais utilizam as forças de ação da natureza como ar, água, luz ou fogo, para gerarem movimento. Como afirma Cody, todos os elementos naturais estão em movimento, se podermos aproveitar essa energia natural para potencializar as nossas construções e torná-las mais adaptáveis às nossas necessidades, seria muito vantajoso para o desenvolvimento de uma arquitetura mais sustentável e limpa. Com a utilização de energias renováveis, reduziríamos drasticamente a percentagem de poluição para zero.

Abordado já anteriormente, veremos os trabalhos de Theo Jansen e Ned Kahn, na investigação e na construção arquitetônica, respetivamente, que procuram métodos eficazes de tirar partido das forças naturais para criarem estruturas que se movem autonomamente.

FIG 100 [PÁGINA 124]  
FOTOGRAFIA DE MICHELLE HOLLANDS



## INVESTIGAÇÃO WALKING SKELETON

THEO JANSEN  
PAÍSES BAIXOS

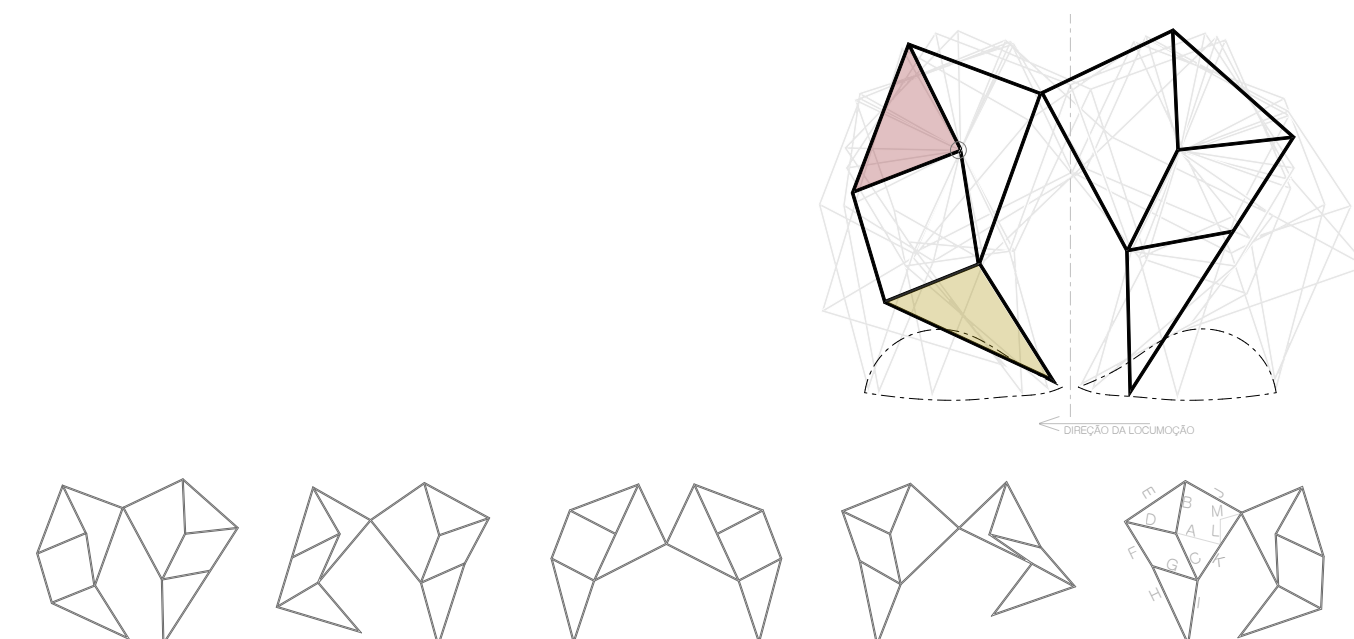
Jansen<sup>193</sup> começou a desenvolver os seus primeiros objetos cinéticos, sensivelmente à 15 anos atrás, apelidando-os de *Animaris Rhinoceros* e *Strandbeest*.

As suas famosas esculturas, assim denominadas mais correntemente, são na verdade para o artista vistas como algo mais complexo, como verdadeiros animais artificiais com capacidade de se movimentarem sozinhos. São todos construídos em tubos de plástico<sup>194</sup> amarelo que lhes confere uma maior estabilidade em terrenos arenosos quando comparados ao elemento tradicional, a roda. Apesar de possuírem um eixo de rotação variável, originando oscilação, a vantagem da utilização das pernas na areia está na possibilidade de tocar o chão apenas em algumas partes do percurso, o mesmo não acontecendo com elementos circulares. Estas estruturas vivas são capazes de caminhar mesmo em direções contrárias ao vento, adaptando-se ao terreno e reagindo perante situações de mudança, como é o caso da fronteira com a água.

Este trabalho abre um novo caminho no desenvolvimento de estruturas cinéticas autónomas, para além do uso de materiais económicos, não requerem um controlo mecânico, as rótulas são resistentes e não geram atrito com o tempo, evitam pisar objetos no caminho e são um bom exemplo de eficiência energética, uma vez que não requerem qualquer tipo de energia artificial.

193. NASCEU NA HOLANDA, EM 1948, E CONCLUÍU OS ESTUDOS NA FACULDADE DE TECNOLOGIA NA UNIVERSIDADE DE DELFT. DURANTE OS ANOS SEGUINTE DEDICOU-SE À ARTE, TECNOLOGIA E ROBÓTICA, TENDO CONTRUÍDO A SUA PRIMEIRA MÁQUINA DE PINTAR, AINDA NA FACULDADE.

194. ORIGINÁRIO DA HOLANDA E COM UM BAIXO CUSTO, UMA VEZ QUE O SEU USO É BASTANTE GENERALIZADO NA APLICAÇÃO DE ELETRICIDADE NOS EDIFÍCIOS. CADA TUBO CUSTA 0,10€/M2, O QUE SIGNIFICA QUE O ORÇAMENTO PARA UM ANIMAL GRANDE DE 10 X 4 X 4 METROS CUSTARÁ POR VOLTA DOS 100€



A versão *Animaris Percipiere* inclusive possui um 'estômago', feito em garrafas de plástico, capaz de armazenar o vento e usá-lo para mover o animal. Por essa razão, alguns animais possuem músculos que têm a capacidade de se estender, quando necessários, feitos a partir de um tubo que desliza dentro de um outro, funcionando como um pistão. Este sistema aliado ao uso de asas recolhe o ar para dentro das garrafas e permite a adição e ligação a mais músculos que, juntos, criam um centro de controle que pode ser assemelhado a um cérebro, de acordo com Theo.

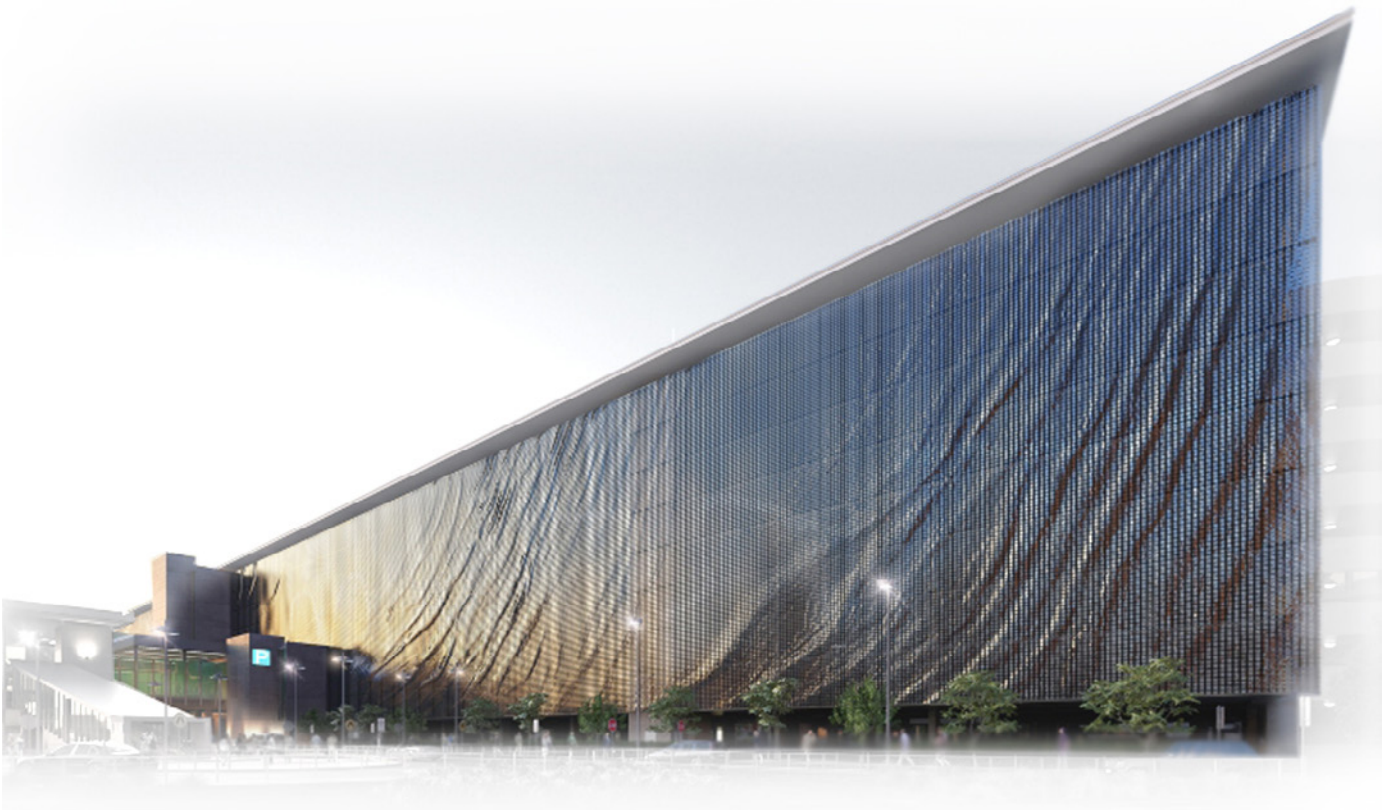
FIG 102 |CIMA| SISTEMA DE FUNCIONAMENTO

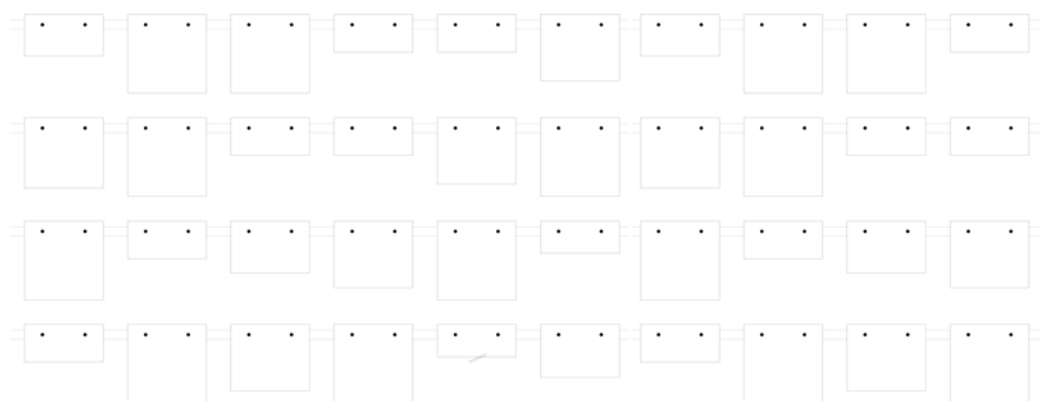
O ANIMAL ARTIFICIAL É CONSTITUÍDO POR DIVERSAS 'CAMADAS' VERTICAIS QUE JUNTAS POSSIBILITAM O MOVIMENTO DE LOCOMOÇÃO. A ESCURO, ESTÁ REPRESENTADO UMA 'CAMADA' QUE CORRESPONDE A UM CONJUNTO DE DOIS PÉS E A CINZENTO OS RESTANTES QUE COMPÕEM O RESTO DA ESTRUTURA VIVA. O MOVIMENTO DE ROTAÇÃO TEM COMO CHARNEIRA DOIS PONTOS, ASSINALADOS PELO CÍRCULO, QUE SE MANTÉM SEMPRE NA MESMA POSIÇÃO, OBRIGANDO A TODA A ESTRUTURA DESLOCAR-SE, ATRAVÉS DAS JUNTAS QUE PERMITEM A SUA DEFORMAÇÃO. APENAS AS FORMAS PREENCHIDAS A COR (ROSA E AMARELO) MANTÊM SEMPRE A MESMA FORMA, COMO PODEMOS VER NAS VÁRIAS POSIÇÕES QUE A ESTRUTURA ADQUIRE, NA IMAGEM X. PARA ALÉM DISSO É POSSÍVEL VER O MOVIMENTO CIRCULAR QUE OS PÉS DESCREVEM NO ESPAÇO, PERMITINDO A DESLOCAÇÃO DA ESTRUTURA.

FIG 101 |BAIXO| FASES DO MOVIMENTO

VÁRIOS FRAMES DO MOVIMENTO E OS NÚMEROS SAGRADOS DE THEO JANSEN

|   |      |
|---|------|
| A | 38   |
| B | 41.5 |
| C | 39.3 |
| D | 40.1 |
| E | 55.8 |
| F | 39.4 |
| G | 36.7 |
| H | 65.7 |
| I | 49   |
| J | 50   |
| K | 61.9 |
| L | 7.8  |
| M | 15   |





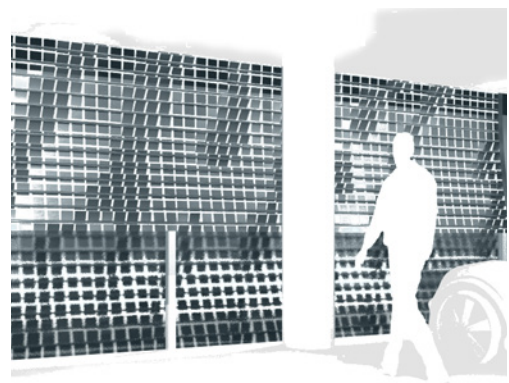
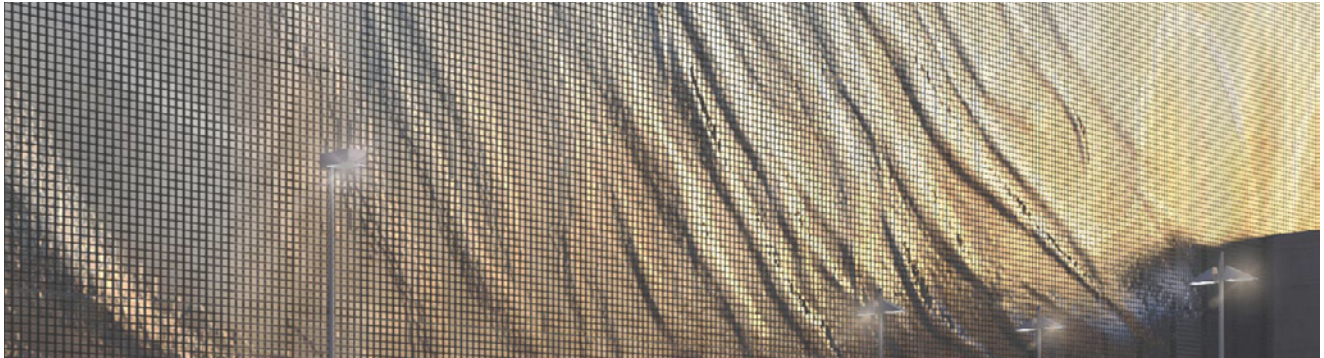
## PROJETO FACHADA AEROPORTO BRISBANE

Apesar de se inserir no campo da arte, o trabalho de Ned Kahn tem vindo a ser uma referência no uso de sistemas cinéticos movidos através das forças de ação naturais, como o vento, sol ou iluminação, traduzindo-se em construções cujo movimento reflete de uma forma indireta os fenómenos ambientais. Misturando arte e ciência, o artista tem desenvolvido várias fachadas cinéticas em edifícios e trabalhado nalguns projetos em espaços públicos, em colaboração com o atelier internacional de projeto de arte urbana (UAP).

A fachada cinética é uma encomenda direta do aeroporto de Brisbane, com a função de converter o seu parque de estacionamento de oito pisos numa obra de arte pública. Com 5000 m<sup>2</sup> de área, é proposto um plano vertical que, reagindo à passagem do ar, desmaterializa-se e cria a sensação de profundidade, assemelhando-se numa visão geral a um pedaço de tecido em movimento.

Durante os últimos 20 anos, Kahn tem desenvolvido vários trabalhos onde explora o mesmo princípio plástico, inspirado na física, geologia, astronomia e no movimento líquido. O exemplo do aeroporto destaca-se não só pela interação criada com o espaço exterior, mas também porque tem associada uma função extra de ventilação natural de todo o espaço do parque, muito importante para a dissimulação do fumo tóxico dos veículos.

NED KAHN  
AEROPORTO BRISBANE  
AUSTRÁLIA  
2012



O sistema que compõe a fachada é composto por 250.000 elementos pendurados em alumínio anodizado que, ao balançar individualmente, criam diversos padrões de comportamento, como podemos ver na imagem 104. Estes painéis metálicos têm a proporção quadrada e são seguros em dois pontos na zona superior da placa, permitindo reagir à passagem do ar e criar diferentes efeitos cinéticos., tanto no exterior, como também no interior, gerando efeitos compostos por luz, sombra e som (figura 105). A proximidade com os restantes elementos, permite uma boa ventilação e sombreamento de todo o espaço interior de estacionamento de uma forma completamente não poluente. Toda a cinética criada por este sistema dinâmico não necessita de qualquer fonte de energia artificial, apenas de um recurso natural: o vento.

FIG 103 [CIMA]  
PERSPETIVA DO EXTERIOR  
FIG 104 [BAIXO ESQUERDA]  
PORMENOR DO REVESTIMENTO DA FACHADA  
FIG 105 [BAIXO DIREITA]  
PERSPETIVA DO INTERIOR DO PARQUE DE  
ESTACIONAMENTO

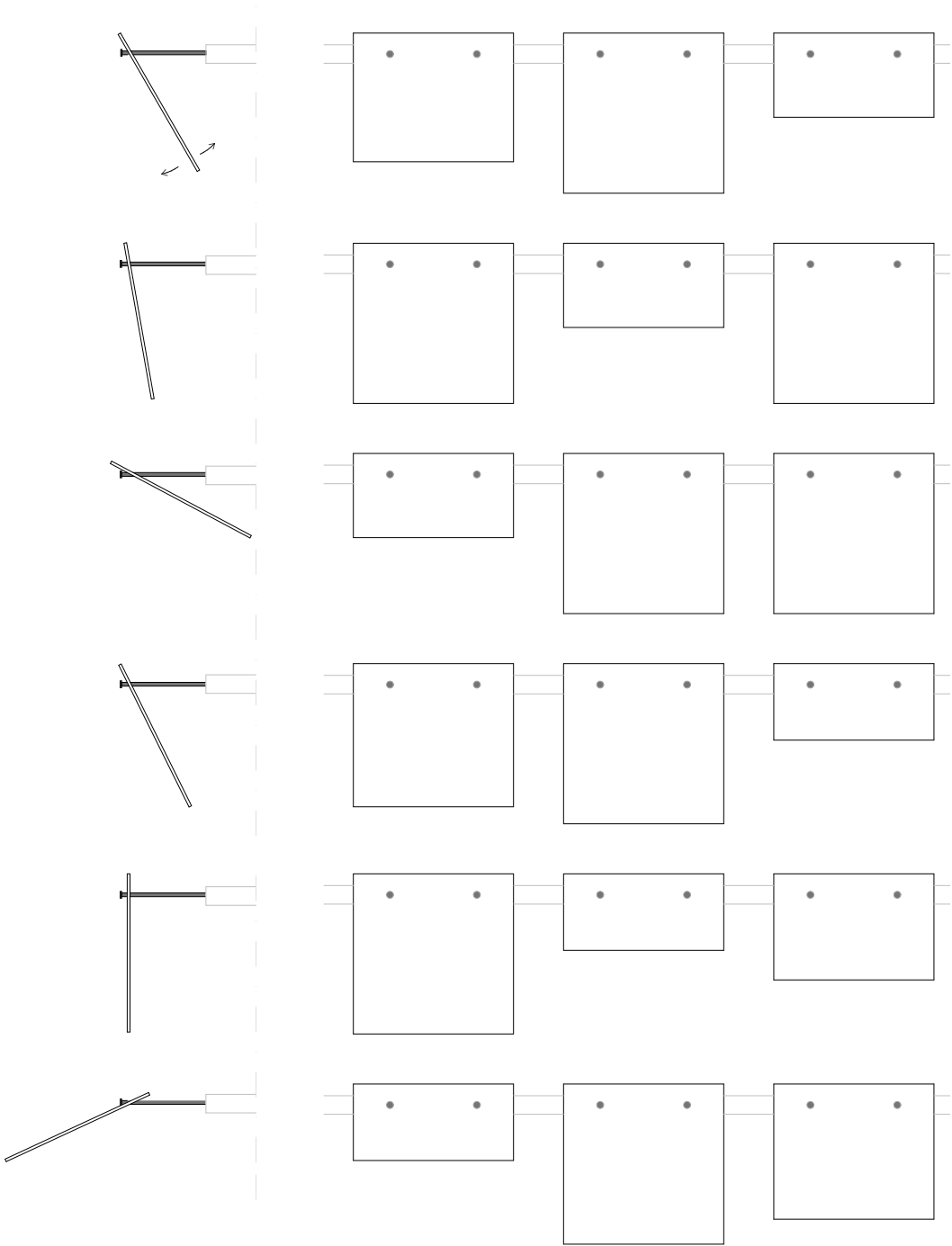


FIG 106 CORTE E ALÇADO CON-  
STRUTIVO



CONSIDERAÇÕES FINAIS

UM NOVO MÉTODO. UMA NOVA POSSIBILIDADE.



*'What if a building or space could be constantly generated and regenerated?'* <sup>204</sup>

204. CEDRIC PRICE

*'(...) interactivity may serve to focus contemporary thought on an architecture that, having overcome the objectivity of our needs, can respond to the subjectivity of our wishes.'* <sup>195</sup>

195. ANTONNINO SAGGIO (2003:239)

O surgimento das novas tecnologias digitais transformaram a sociedade da industrialização e da produção em massa na cultura da informação e da individualidade. Aumentou o ritmo de vida da sociedade e surgiram de novos conceitos como simultaneidade, comunicação em tempo real e personalização, constituindo novos desafios à arquitetura do século XX.

Como refere Saggio<sup>195</sup>, as soluções da arquitetura modernista utilizaram as novas possibilidades construtivas e materiais nas construções para satisfazer as necessidades de higiene, de espaço e salubridade da sociedade industrial. A transparência do vidro e a solidez do betão e do ferro criaram novas espacialidades com uma estética renovada.

Às redes infraestruturais de saneamento, aquecimento e eletricidade, criadas no século XIX, adicionou-se o ar-condicionado, no século XX, e a multiplicação de aparelhos com necessidades de consumo elétrico neste século – portáteis, *tablets*, telemóveis e câmaras de fotografar/filmar – revolucionando totalmente a forma como o espaço era concebido e utilizado. Em adição a estas alterações nas necessidades dos edifícios, também as fontes energéticas baseadas em combustíveis fósseis, que sustentavam a cidade, e a aparente desconexão entre solução arquitetónica e infraestrutural nos edifícios, constituem alguns dos principais problemas da arquitetura contemporânea.

Para além dos novos desafios, as tecnologias emergentes também possibilitam o desenvolvimento de novas soluções. Permitem, ao arquiteto, a criação e a exploração de geometrias complexas com uma facilidade que os meios analógicos de representação não permitiam, anteriormente. Como é o caso do uso do computador na compreensão e na reprodução artificial dos fenómenos biológicos. Estudar as formas de adaptação das plantas

FIG 107 | PÁGINA 130 | EIRIK SOLHEIM  
ONE YEAR IN ONE IMAGE

heliotrópicas, de auto-organização das células ou de aprendizagem inteligente das aranhas, transfere para o campo da arquitetura pistas para a criação de sistemas que possam desenvolver comportamentos de reação, interação ou de inteligência. O campo conceptual da arquitetura fica assim dotado de novas possibilidades, que podendo embora não serem totalmente novas, em alguns casos, são claramente amplificadas e expandidas pelo uso dos processos digitais. Contribuindo para a resolução de problemas mais complexos, de ordem, energética, ambiental e cultural que enfrentamos hoje.

*'Architects need to grasp a vision that will harness technology transfer from "outside" fields in order to prevent contradictions in human interaction with the built environment.'*<sup>196</sup>

196. MICHAEL FOX (2003:119)

Esta ideia, da introdução da tecnologia na arquitetura, mencionada em cima por Fox, foi lançada pelos cibernéticos e reforçada por Weiser, com o conceito de *'ubiquitous computing'*<sup>197</sup>, criando assim as bases para o desenho do primeiro edifício totalmente interativo, *Muscle*, do arquiteto Kass Osterhuis. Como defende Fox, este projeto veio mostrar que a interatividade na arquitetura não é um fim, é antes um meio, um sistema, que permite restituir o valor da arquitetura desde a fase inicial de conceção até à fase final de construção.

197. MENTIONADO NA PAG. 56.

Na verdade são os novos processos digitais que permitem que a arquitetura volte a recuperar o domínio da construção do edifício, controlando em tempo real a forma, estrutura e material, com os sistemas CAD/CAM<sup>198</sup> e que fazendo a ponte entre projeto e fabrico. Há 10 anos atrás os arquitetos não tinham acesso às análises estruturais ou aos cálculos de custo de materiais. Agora, com estes novos sistemas, é possível manipular o desenho e a matéria ao mesmo tempo, 'como um oleiro desenha com as suas próprias mãos'<sup>199</sup>, possibilitando ao arquiteto recuperar a sua antiga conotação de artesão, 'the master builder'<sup>200</sup>.

198. (CAD) COMPUTER ASSISTED DESIGN, (CAM) COMPUTER ASSISTED MANUFACTURE

199. (SOUSA, 2013:30)

200. CHRIS LUEBKEMAN IN (KO-LAVERIC, 2003:285)

Mais que intervir no processo de conceção, a interatividade estende-se para lá da sua fase de finalização, constituindo uma mediação ativa entre interior e exterior, o Homem e a envolvente, como podemos ver nos projetos analisados do edifício Media-Tic, de Enric Geli, do Pavilhão da Água, dos OMA e da fachada do parque de estacionamento do aeroporto de Brisbane, de Ned Khan. Os três materializam a preocupação num desenho capaz de introduzir a possibilidade de controlo da luminosidade e da ventilação no edifício. Um tema importante não só na regulação da temperatura ideal nos espaços, como também na otimização dos gastos energéticos. Desta forma, nos dois primeiros edifícios, foi possível projetar um sistema perfeitamente enquadrado nas soluções de arquitetura que pudessem ser, ao mesmo tempo, controlado dinamicamente, à distância e em tempo-real, de forma a criar as melhores condições de conforto interiores.

*Shirky recounts a friend's story of his four-year old daughter suddenly rising to her feet mid-movie and beginning a vigorous search behind their television screen. The friend, from his own childhood experience, assumed the child was searching behind the screen for the people she was seeing on-screen. When asked, 'what are you doing?' the child responded, 'looking for the mouse.'*<sup>201</sup>

201. JONATHAN GRINHAM, (2013)

Nesta história, Shirky mostra de que forma as novas tecnologias têm modificado a relação que estabelecemos com os objetos, influenciando a forma como os vemos e os percebemos. Hoje, habituamo-nos a possuir o controlo personalizado dos objetos que nos rodeiam. Não esperamos mais para mudar o fuso horário de Verão para Inverno ou ajustar a luminosidade do ecrã, pois regulam-se automaticamente.

O arquiteto deve procurar conhecer, relembra Fernando Távora, 'não apenas os problemas dos seus mais diretos colaboradores, mas os do homem em geral.'<sup>202</sup> À luz destes novos conceitos de interatividade entre o homem e os objetos, novos projetos têm sido investi-

202. (TÁVORA, 2006:75)

gados para criação de espaços mais inteligentes. O projeto *Hygroscope* e a *Protocélula* são exemplos dessa procura. Achim Menges, inspirado pelos processos naturais de absorção da humidade, procurou desenvolver uma madeira, capaz de reagir às diferentes condições atmosféricas de uma forma autónoma, do homem e da fonte energética. De igual forma que a investigadora Rachael Armstrong, com especial interesse na composição química dos materiais, tentou 'redesenhar' ou 'reprogramar' ao nível celular, as propriedades dos materiais para que estes se pudessem moldar segundo as necessidades da construção. Uma visão completamente nova que iria revolucionar o mundo dos materiais que hoje conhecemos, ao inverter a lógica do processo arquitetónico. A forma e a técnica construtiva não dependem mais das propriedades únicas do material, mas antes, passa a moldar-se ao conceito arquitetónico, como é exemplo o projeto de reconstrução das estruturas de sustentação subaquáticas da malha edificada de Veneza.

*'The new era is a fact; it exists entirely independently of whether we say 'yes' or 'not' to it.'* <sup>203</sup>

203. MIES VAN DER ROHE (CON-  
RADS, 1971:123)

Hoje, tal como dizia Mies no modernismo, podemos dizer o mesmo acerca do impacto das novas tecnologias na arquitetura, elas existem, populam o nosso quotidiano e são parte da nossa rotina diária. Se a época da industrialização e da standardização, no século XX, ficou materializada no conceito arquitetónico da 'máquina de habitar', defendida por Corbusier, porque não pensar no 'robô de habitar' como uma nova possibilidade do século XXI, como reflexo da era da informatização, da interatividade e da inteligência digital que vivemos hoje?



## BIBLIOGRAFIA

- ADDINGTON, M., SCHODEK, D. [2005] *Smart Materials and Technologies: for Architecture and Design Professions*. Oxford: Routledge.
- AFONSO, R. B., FURTADO, G. (ed.) [2006] *Arquitetura, máquina e corpo: notas sobre as novas tecnologias na arquitetura*. Porto: Faup Publicações.
- ALISON, J., BRAYER, M-A., MIGAYROU, F. e SPILLER, N. [2007] *Future City: Experiment and Utopia in Architecture*. New York: Thames & Hudson.
- BANHAM, R. [1976] *Megastructure : urban futures of the recent past*. New York: Harper and Row.
- BEESLEY, P., KHAN, Omar [2009] *Responsive architecture: Performing Instruments*. Situated Technologies: Pamphlets 4. New York: The Architectural League. [e-book] Disponível em < <http://www.situatedtechnologies.net/?q=node/97>> [Acedido 18 de Abril 2013].
- BERGSON, H. [2001] *A evolução criadora*. Lisboa: Edições 70.
- CASANOVA, C. [2006] *Introdução à antropologia biológica: princípios evolutivos, genética e primatologia*. Lisboa: Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas
- CASTELLS, M. [2000] 'The Rise of the Network Society.' *The Information Age: Economy, Society and Culture*. (vol. 1) Oxford Malden, Mass: Blackwell Publishers.
- CONRADS, U. [1971] *Programs and Manifestoes on 20th Century Architecture*. Cambridge: The MIT Press.
- CONSIGLIERI, V. [1994] *A Morfologia da Arquitetura*. Lisboa: Editorial Estampa.
- CULLITY, B.D., GRAHAM, C.D. [2009] *Introduction to Magnetic Materials*. (2ª Edição). New York: IEEE Press.
- DELAPLACES, A. [2008] *Constructing architecture: materials processes structures*. Basel: Birkhäuser.
- DRY, C. [2005] *Development of a SelfRepairing Durable Concrete*. Minnesota: Natural Process Design, Inc.
- FERNANDA, F. [1972] *Casa Inteligente: Protótipo de Casa Contemporânea*. Porto: Edições Asa.
- FOX, M. [2000] *Sustainable Applications of Intelligent Kinetic Systems: Kinetic Systems. Responsive Skylights*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- FOX, M., KEMPT, R. M. [2009] *Iterative Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.
- FRAZER, J. [1995] *An Evolutionary Architecture*. London: Architectural Association.
- FRIEDMAN, Y. [2006] *Pro Doma*. Traduzido por Wesley Trobaugh, Estelle Roullier. Barcelona: Actar.
- FURTADO, G., PÓVOAS, R., (ed.) [2008b] *Cedric price's generator and the frazer's collection*. Porto: Faup.
- FURTADO, G., PÓVOAS, R., (ed.) [2008] *Contemporary architectural challenges 08: conception, production and performance*. Porto: Faup.
- GELTING, A. K., HARDER, E. (ed.) [2008] *Changes of paradigms : in the basic understanding of architectural research*. Copenhagen: EAAE.
- GIEDION, Sigfried [1967] *Space, time and architecture : the growth a new tradition*. (5ª edição). Cambridge: Harvard University Press.
- GOULTHORPE, M. [2008] *The possibility of an architecture*. London : Routledge.
- GRINHAM, J. [2013] '4D Environments and Design: Prototyping Interactive Architecture.' *ARCC News and Reports* [online] Disponível em < <http://arccweb.org/newsletter/4d-environments-and-design-prototyping-interactive-architecture/>> [Acedido 4 de Fevereiro 2013].
- GRUBER, P. [2011] *Biomimetics in Architecture: Architecture of life and Buildings*. Viena: Springer.
- HARRIS, J., WIGGINTON, M. [2002] *Intelligent skins*. London: Architectural Press.
- HENSEL, M., MENGUES, A. [2006] *Morpho-ecologies*. London: AA Publications.
- JORMAKKA, K. [2002] *Flying dutchmen : motion in architecture*. Basel: Birkhäuser.
- KOLAVERIC, B. [2003] *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Taylor & Francis.
- KOLAVERIC, B., MALKAWI, A. [2005] *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press.
- KRONENBURG, R. [1998] *Transportable environments: theory, context design and technology*. London: Spon Press.
- KRONENBURG, R. [2003] *Transportable environments 2: theory, context design and technology*. London: Spon Press.
- LIN, Z. [2010] *Kenzo Tange and the Metabolist Movement: Urban Utopias of Modern Japan*. London: Routledge.
- MALONEY, J. [2011] *Designing Kinetics for architectural facades: State change*. Oxon: Routledge.
- NEGROPONTE, M. [1970] *The Architecture Machine*, England: The Massachusetts Institute of Technology.
- NEGROPONTE, N. [1975] *Soft Architecture Machine*. England: The Massachusetts Institute of Technology.
- OOSTERHUIS, K. [2011] *Towards a New Kind of Building*. Roterdão: Nai Publishers.
- OTTO, F. [1979] *Arquitetura adaptável*. Seminário organizado pelo Instituto de Estruturas Ligeiras, Barcelona: Editorial Gustavo Gili

- OTTO, F. 1985] *Architecture et bionique: constructions naturelles*. Denges: Delta & Spes.
- OTTO, F., TROSTEL, R. 1967] *Tensile structures: pneumatic structures*, Cambridge: The MIT Press, vol. 1.
- PAELYN, M. 2011] *Biomimicry in Architecture*. London: Riba Publishing.
- REULEAUX, F. 1876] *Kinematics of Machinery: Outlines of a Theory of Machines*. London: Macmillan and Co.
- SCHUMACHER, M., SCHAEFFER, O., VOGT, & MÜLLER, A. 2010] *Move. Arquiteure in motion. Dynamic components and elements*. Berlin: Birkhäuser Verlag.
- SPILLER, N. 1998] *Digital Dreams*. London: Ellipsis London Ltd.
- STEADMAN, P. 2008] *The evolution of designs : biological analogy in architecture and the applied arts*. London: Routledge.
- TÁVORA, Fernando 2006] *Da organização do Espaço*. (6ª edição). Porto: Faup Publicações.
- VIJVER, G., SALTHER, S. & DELPOS, M. 1998] *Evolutionary Systems: Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- VIJVER, G., Salthe, S., Delpo, M. 1998] *Evolutionary Systems: Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- WILLIAMS, H. A., 2003] *Zoomorphic: new animal architecture*. London: Laurence King.
- ZELLNER, P. 1999] *Hybrid space : new forms in digital architecture*. London: Thames & Hudson.

## ARTIGOS | PUBLICAÇÕES | ENTREVISTAS

- ADDINGTON, M. 2009] 'Contingent Behaviours'. *Energies: New Material Boundaries (AD)*, 79 (3), 12-17.
- ARMSTRONG, R. 2009] 'Protocells & Plectic SystemsArchitecture'. *Sofia*, 3, 17.
- ARMSTRONG, R. 2010] 'Systems Architecture: A New Model for Sustainability and the Built Environment using Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science with Living Technology.' *Artificial Life*, 16, 73-87.
- ARMSTRONG, R. 2011] 'Protocells: The Universal Solvent.' *Protocell Architecture (AD)*, 81 (2), 68-77.
- BEAMAN, M. L., BADER, S. 2010] 'Responsive Shading: Intelligent Façade Systems'. *Acadia* (pp. 263-269). USA: University of Texas.
- BEESELEY, P., et al 2006] 'Towards Responsive Architectures'. In *Responsive Architectures: Subtle Technologies* (pp. 3-11). Toronto: Architectural Press. [e-book] Disponível em < <http://www.philipbeesleyarchitect.com> > [acedido 15 de Fevereiro 2013].
- COUCEIRO, M. C. 2006] 'A Biónica na Arquitetura'. *Arquitetura e Vida*, 74, 22-28.
- CRONIN, L. 2011] 'Defining new architectural design principles with "living" inorganic materials.' *Protocell Architecture (AD)*, 81 (2), 34-43.
- DEVADASS, P., VERMA, S. 2013] 'Adaptative (skins): Responsive Building skin systems based on tensegrity principles'. *eCAADe. Future Traditions*. Porto:Faup Publicações.
- DUARTE, J. P. 2013] 'Processos Digitais. Entrevista a José Pinto Duarte'. *Processos Digitais (arqa)*, 106, 36-37.
- FOX, M. 2003] 'Kinetic Architectural Systems Design'. In R. Kronenburg, *Transportable Environments 2*. (pp. 163-186) London: Spon Press.
- FOX, M. e YEH, B. 2000] 'Intelligent Kinetic Systems in Architecture'. In P. Nixon et al, *Managing Interactions in Smart Environments: First International Workshop* (pp. 91-103). London: Springer.
- HAQUE, U. 2006] 'Architecture, Interactions, Systems'. *AU: Arquitetura e Urbanismo*. Brasil, Ago. [e-book] Disponível em <<http://www.haque.co.uk/>> [Acedido 1 de Março 2013].
- HAQUE, U. 2007] 'Distinguishing Concepts: Lexicons of Interactive Art and Architecture.' *4D Social: Interactive Design (AD)*, 77 (4), 24-31.
- HENRIQUES, G. C. 2013] 'Sistema Responsivo TetraScript: Dos processos digitais para a computação.' *Processos Digitais (arqa)*, 106, 112-115.
- IWAMOTO, L. 2011] 'Line Array: Protocells as dynamic structure.' *Protocell Architecture (AD)*, 81 (2), 112-121.
- JONKERS, H. 2010] 'BioConcrete: A novel bio-based material.' In Materials & Environment Research Group, *EU-US Frontiers of Engineering Symposium*. Delft, 1-3 Setembro. Delft: University of Technology.
- LEACH, N. 2009] *Architecture or Revolution?* [e-book] Disponível em <<http://neilleach.files.wordpress.com/2009/09/architecture-or-revolution.pdf>> [Acedido em 31 de Julho 2013].
- LEITÃO, C. 2013] 'Processos Digitais. Entrevista a Carla Leitão'. *Processos Digitais (arqa)*, 106, 26-27.
- MASSADA, J. 2008, Fevereiro] 'Toffler alerta para "mudanças caóticas" no mundo.' [online] *Ciência Hoje*. Disponível em < <http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=25240&op=all> > [Acedido 3 de Maio 2013].

- MAZRIA, E. 2003I 'It's The Architecture, Stupid!'. *The World and I*, 10.
- MIGAYROU, F. 2010I *Non-Standard City-Planning*. [online] Disponível em < <http://www.archilab.org/public/2000/catalog/migayren.htm> > [acedido 23 de Novembro de 2012].
- MITCHELL, W.J. 2001I 'Rol over Euclid: How Frank Ghery design and builds.' In J. F. Ragheb (ed.), *Frank Ghery Architect*. New York: Guggenheim Museum publications, pp. 352-363.
- MOZER, M. C. 1999I 'An Intelligent environment must be adaptive.' *IEEE Intelligent Systems and their Applications*. [online] Acedido em <<http://www.cs.colorado.edu/~mozer/Research/Selected%20Publications/ieee.html>> [Acedido 4 de Março de 2013].
- MOZER, M. C. 2005I '12 Lessons from an Adaptive Home.' In D. Cook and R. Das. *Smart environments: Technologies, Protocols and Applications*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- NOVAK, M. 2001I *Marcos Novak Interview*. [online] entrevista por Alessandro Ludovico. disponível em <<http://www.neural.it/english/marcosnovak.htm>> [acedido 1 de Março de 2013].
- OXMAN, N. 2010I 'Structuring Materiality: Design Fabrication of Heterogeneous Materials.' *The New Structuralism (AD)*, 80 (4). 78-85.
- ROHE, M.V. d. 1971I 'Technology and Architecture'. In U. Conrads, *Programs and Manifestoes on 20th Century Architecture* (p. 154). Cambridge: The MIT Press.
- SAGGIO, M. 2003I 'Other Challenges.' In B. Kolaveric (ed.), *Architecture in the digital age: design and manufacturing* (pp. 229-242). New York: Taylor & Francis.
- SAGGIO, M. 2005I 'Interactivity at the Centre of Avant-Garde Architectural Research.' *4D Space: Interactive Architecture (AD)*, 75 (1), 23-29.
- SCHUMACHER, P. 2012I *Interview: On Parametricism*. [online] Entrevista com Georgina Day. Disponível em <<http://www.patrikschumacher.com>> [acedido 12 de Janeiro de 2013].
- SÍLVA, J. L., ELOY, S. 2012I 'Arquitetura flexível: movimento e sistemas cinéticos', [online] In *arq.urb*, 8, 190-199. Disponível em <<http://www.usjt.br/arq.urb>> [acedido 10 de Fevereiro de 2013].
- SOUSA, J. P. 2005I 'Tectónica Digital: (Re)inventando a Materialidade.' *Arquitetura e Vida*, 63, 32-36.
- SOUSA, J. P. 2013I 'Entrevista a José Pedro Sousa'. *Processos Digitais (arqa)*, 106, p. 30-31.
- SPILLER, N. 2011I 'Protocells: The Universal Solvent.' *Protocell Architecture (AD)*, 81 (2), 60-67.
- STEENSON, M. W., SCHARMEN, Fred 2011I 'Architecture needs to interact'. Em *Domus*. Princeton, Jun. [online] Disponível em < <http://www.domusweb.it/en/op-ed/2011/06/22/architecture-needs-to-interact.html> > [Acedido 21 de Março de 2013].
- STERK, T. d'E 2003I 'Building Upon Negroponte: A Hybridized Model of Control Suitable for Responsive Architecture'. In *ECAADE2* (pp. 406-414). Austria: Universidade Técnica de Graz.
- STERK, T. d'E 2006 AI 'Caad for Responsive Architecture'. In *Murali Paranandi: Joint Study Report* (pp. 66-70). Canada: Simon Fraser University. [e-book] Disponível em < <http://www.orambra.com/~caadForResponsiveArchitecture.html> > [acedido 27 de Março 2013].
- STERK, T. d'E. 2006 BI 'Responsive Architecture: User-centred Interactions with in the Hybrid ized Model of Control'. In Kas Oosterhuis, *Conferência Game Set and Match 2* (pp. 494-501). Netherlands: Delft University Of Technology. [e-book] Disponível em < <http://www.orambra.com/~gsm2.html> > [acedido 2 de Março 2013]
- STERK, T. d'E. 2006 CI 'Shape Change in Responsive Architectural Structures: Current Reasons & Challenges'. Em *4th World Conference on Structural Control and Monitoring*. Canada: Simon Fraser University. [e-book] Disponível em < [http://www.orambra.com/survey/~syntheticLandscapes/media/sterk4WCSCM\\_06.pdf](http://www.orambra.com/survey/~syntheticLandscapes/media/sterk4WCSCM_06.pdf) > [Acedido 27 de Março 2013]
- STERK, T. d'E. 2012I 'Using Actuated Tensegrity Structures to Produce a Responsive Architecture'. In Kevin Klinger, *ACADIA* (pp. 84-92). USA: Indianapolis. [e-book] Disponível em <<http://www.orambra.com/~usingActuatedTensegrity.html>> [acedido 4 de Fevereiro de 2013].
- WEINSTOCK, M. 2008I 'Metabolism and Morphology', *Emergence: morphogenetic design strategies. (AD)*, 11, p. 26-33.
- WINSTEAD, D. *Archigram Monograph: Architectural Collage + Drawings*.

## PROVAS FINAIS

- ALMEIDA, G. [2009] *Processos de sistematização no projecto arquitectónico: abordagens tipológicas e abordagens paramétricas*. Prova Final de Mestrado. Porto: FAUP.
- COUCEIRO, M. C. [2008] *Analogías Biológicas en la Arquitectura: del acercamiento Biónico hacia los paradigmas de lo Biodigital*. Prova Final de Douturamento. Barcelona: ESARQ-UIC.
- CUEVA, L.E. [2011] *Arquitectura Magnética*. Prova Final de Mestrado. Perú: Universidade Ricardo Palma [e-book] Disponível em < <http://arquitecturamagnetica.blogspot.pt/>> [Acedido 3 Julho 2013].
- FORD, J. W. [2012] *Responsive Architecture*. Prova Final de Mestrado. Leeds School of Architecture. [online] Disponível em <http://issuu.com/jack.ford92/docs/responsivearchitecture?e=2294618/1044579> [Acedido 28 de Fevereiro de 2013].
- KIMPIAN, J. [1999] *PneuMatrix: The Architecture of Pneumatic Structures in the Digital World*. Prova Final de Mestrado. London: Royal College of Art.
- KOURKOUTAS, V. [2007] *Parametric Form Finding in Contemporary Architecture*. Prova Final de Mestrado em Ciência. Viena: TU Viena.
- MARQUES, L.F. Q. S. [2010] *Arquitectura Cinética: Desenvolvimento do protótipo de uma estrutura responsiva*. Prova Final de Mestrado. Lisboa: IST.UTL.
- OLIVEIRA, M. B. O. [2001] *Estudo das Estruturas de Membrana: Uma Abordagem Integrada do Sistema Construtivo, do Processo de Projetar e dos Métodos de Análise*. Prova Final de Engenharia. Brasil: Universidade de São Carlos.
- PEREIRA, A. F. O. M. [2011] *Fachadas Media: Novos desafios para uma arquitectura (1) material*. Prova Final de Mestrado Integrado. Lisboa: IST.UTL.
- ROSA, J. T. A. L. [2011] *(Re) visão da casa contemporânea : do moderno ao digital*. Prova Final de Mestrado Integrado. Coimbra: Departamento de Arquitectura.
- SHAH, D. [2007] *Sense Respond and Adapt: An Architecture to Mitigate Natural Disasters*. Prova Final de Mestrado. University of Washington. [e-book] Disponível em <<http://dmg.caup.washington.edu/xmlSiteEngine/browsers/static/publication209.html>> [Acedido 9 de Maio ed 2013].
- SOUSA, J.P. O. M. [2010] *From digital to material : rethinking cork in architecture through the use of cad*. Prova Final de Dissertação. Lisboa: Universidade técnica.
- TRABULO, A. [2012] *'A Arquitectura como um Campo de Possibilidades'*. Prova Final de Mestrado Integrado. Porto: Faculdade de Arquitectura.
- VIEIRA, J. A. D. [2011] *Digital da Ideia à Acção: As tecnologias na Prática Arquitectónica*. Prova Final de Mestrado Integrado. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologias.
- YEH, B. [1998] *Kinetic wall: an exploration into dynamic structure*. Prova Final de Mestrado. Massachusetts: Institute of Technology.

## INTERNET

- ARCHIGRAM. Disponível em <<http://arquitetandoblog.wordpress.com/2009/04/25/grupo-archigram/>> [Acedido 29 de Maio 2013].
- HOBERMAN. Disponível em <<http://www.adaptivebuildings.com/index.html>> [Acedido 27 de Fevereiro 2013].
- EDIFICIO MEDIA-TIC. Disponível em <<http://www.ruiz-geli.com/>> [Acedido 14 de Fevereiro 2013].
- PAVILHÃO DA ÁGUA, Disponível em <<http://blog.archpaper.com/wordpress/archives/39629>> [Acedido 17 de Outubro 2013].
- ACHIM MENGUES. Disponível em <<http://www.achimmenges.net/>> [Acedido 4 de Março 2013].
- TRISTAN D'ESTREE STERK. Disponível em <<http://www.orambra.com/index.html>> [Acedido 27 de Março 2013].
- GOULTHORPE, M. 1999. *Hypersurface: from Autoplastic to Alloplastic Space*. [online] Disponível em <<http://www.generativeart.com/on/cic/99/2999.htm>> [acedido 10 de Abril de 2013].
- GARDENER, G. 2011. 'HtwoOExpo. Freshwater Pavillion: NOX.' [online] Disponível em <[http://guyrik-gardner.files.wordpress.com/2011/12/h2oexpo\\_guygardner.pdf](http://guyrik-gardner.files.wordpress.com/2011/12/h2oexpo_guygardner.pdf)> [Acedido 20 de Fevereiro 2013].

## FONTE DE IMAGENS

- FIGURA 1 <[>](http://www.theguardian.com/news/datablog/2011/nov/11/wikipedia-map-world-languages#_></a>></p>
<p>FIGURA 2 <<a href=)
- FIGURA 3 <[>](http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=DMF20120426_251)>
- FIGURA 4 <[>](http://communicationtheory.org/wp-content/uploads/2011/01/maslow-hierarchy-of-needs-diagram.jpg)>
- FIGURA 5 Architectural Design, vol.79, Mai/Jun 2009, pag. 12
- FIGURA 6 Architectural Design, vol.81, Mar/Abr 2012, pag. 94
- FIGURA 7 <[>](http://ccat.sas.upenn.edu/george/represent.html#fig21)>
- FIGURA 8 <[http://www.picstopin.com/600/falling-water-16-fallingwater-by-frank-lloyd-wright/http:%7C%7Cstatic\\*design-like\\*com%7Cwp-content%7Cuploads%7C2011%7C04%7Cfalling-water-12-600x516\\*.jpg/>](http://www.picstopin.com/600/falling-water-16-fallingwater-by-frank-lloyd-wright/http:%7C%7Cstatic*design-like*com%7Cwp-content%7Cuploads%7C2011%7C04%7Cfalling-water-12-600x516*.jpg/>)>
- FIGURA 9 < <http://nerdaotosco.blogspot.pt/>>
- FIGURA 10 Emergence, Morphogenetic Strategies, *Revista Architectural Design*, vol.76, 2006, p.5.
- FIGURA 11 <<http://www.elmwoodsurgery.co.uk/>>>
- FIGURA 12 < [>](http://www.studyblue.com/notes/note/n/plants/deck/96931)>
- FIGURA 13 Architectural Design, vol.74, Mai/Jun 2004, p. 7
- FIGURA 14 < <http://ping.it/blog/the-self-correcting-mechanism-of-collective-intelligence/>>>
- FIGURA 15 Desenho analítico
- FIGURA 16 < [>](https://sci08photosynthesis.wikispaces.com/(c)++Getting+water+out+of+plants)>
- FIGURA 17 Emergence, Morphogenetic Strategies, *Revista Architectural Design*, vol.76, 2006, p.44.
- FIGURA 18 Desenho analítico
- FIGURA 19 GRUBER, Petra [2011] Biomimetics in Architecture:Architecture of life and Buildings. Viena: Springer. p.43
- FIGURA 20 GRUBER, Petra [2011] Biomimetics in Architecture:Architecture of life and Buildings. Viena: Springer. p.44.
- FIGURA 21 < [>](http://www.owlpages.com/image.php?image=articles-Owl+Physiology-Feathers-1)>
- FIGURA 22 < [>](http://www.blumengalli.ch)>
- FIGURA 23 < [>](http://hqwide.com/wallpapers/l/1920x1080/62/abstract_digital_art_1920x1080_61101.jpg)>
- FIGURA 24 HENSEL, Michael, MENGUES, Achim [2006] Morpho-ecologies. London: AA Publications. p.100
- FIGURA 25 Emergence, Morphogenetic Strategies, *Revista Architectural Design*, vol.76, 2006, p.44.
- FIGURA 26 (COUCEIRO, 2008:61)
- FIGURA 27 (SCHUMACHER, 2010:224)
- FIGURA 28 < [>](http://pricetags.files.wordpress.com/2013/07/design-2.jpg)>
- FIGURA 29 < [>](http://www.yonafriedman.nl/?page_id=519)>
- FIGURA 30 < [>](http://www.yonafriedman.nl/?page_id=519)>
- FIGURA 31 < [>](http://moleskinearquitetonico.blogspot.pt/2007_10_01_archive.html)>
- FIGURA 32 < [>](http://www.ocw.unicamp.br/fileadmin/user_upload/cursos/au909/CDgeoHM/ima.html)>
- FIGURA 33 < [>](http://www.architectural-review.com/essays/computers-in-theory-and-practice/8646960.article)>
- FIGURA 34 <<http://www.hoberman.com/portfolio/irisdome-worldsfair.php?rev=0&onEnterFrame=%5Btype+Function%5D&myNum=15&category=&projectname=Iris+Dome>>
- FIGURA 35 < [>](http://loop.ph/bin/view/Openloop/HyperSurfaceTheory)>
- FIGURA 36 < [>](http://web.mit.edu/newsoffice/1998/smartroom.html)>
- FIGURA 37 < [>](http://adpcaad2011.altervista.org)>
- FIGURA 38 < [>](http://www.natalieb.ca/texts/decoi/design.html)>
- FIGURA 39 < [>](http://www.designplayground.it)>
- FIGURA 40 < [>](http://www.studyblue.com)>
- FIGURA 41 (MOLONEY, 2011:16)
- FIGURA 42 (MOLONEY, 2011:18)
- FIGURA 43 <[http://www.ocw.unicamp.br/fileadmin/user\\_upload/cursos/au909/CDgeoHM/ima.html](http://www.ocw.unicamp.br/fileadmin/user_upload/cursos/au909/CDgeoHM/ima.html)>-(MOLONEY, 2011:21)
- FIGURA 44 (MOLONEY, 2011:21)
- FIGURA 45 Desenho analítico
- FIGURA 46 Desenho analítico

- FIGURA 47 (OLIVEIRA, 2001: 26,27)
- FIGURA 48 (SCHUMACHER, 2010: 38,39)
- FIGURA 49 <<http://what-when-how.com/energy-engineering/maglev-magnetic-levitation-energy-engineering>>
- FIGURA 50 (ADDINGTON, 2005: 85)
- FIGURA 51 (FOX, 2003:?)
- FIGURA 52 (SCHUMACHER, 2010: 56)
- FIGURA 53 Desenho analítico
- FIGURA 54 <<http://blogs.coventrytelegraph.net/passtheremote/2013/05/the-fly-eye-camera-sees-all.html>>
- FIGURA 55 Desenho analítico
- FIGURA 56 Desenho analítico
- FIGURA 57 Desenho analítico
- FIGURA 58 <<http://www.architizer.com/blog/architecture-comes-in-cycles-at-the-ice-hotel/>>
- FIGURA 59 <<http://esm.fisica.uminho.pt/public/index.php>>
- FIGURA 60 <[www.nfm.com](http://www.nfm.com)>
- FIGURA 61 <[http://inventorspot.com/articles/gel\\_cushions\\_falls\\_can\\_also\\_stop\\_bullets\\_d3o\\_24587](http://inventorspot.com/articles/gel_cushions_falls_can_also_stop_bullets_d3o_24587)>
- FIGURA 62 <<http://www.shatterboxx.com/northern-lights-tiles/>>
- FIGURA 63 <<http://lebeton.free.fr/avenir.html>>
- FIGURA 64 <<http://www.abovetopsecret.com/forum/thread826572/pg1>>
- FIGURA 65 <<http://www.lehighminerals.com/c%20PYRITE%20Gallery%20page%201.html>>
- FIGURA 66 <<http://www.materiaux-changement-phase.com/data/images/materiau-changement-phase.jpg>>
- FIGURA 67 <<http://www.photoone.org/editors-award-honorable/editors-award-honorable-january-2013-217.html/attachment/30-01-2013-photo-by-roxana-labagnara>>
- FIGURA 68 <<http://www.wuzine.com/2010/07/04/robert-graves-didier-madoc-jones-protocells-in-venice-2009/>>
- FIGURA 69 Architectural Design, vol.81, Mar/Abr 2012, pag. 21
- FIGURA 70 <<http://dprbcn.wordpress.com/2011/12/16/metabolic-venice/>>
- FIGURA 71 <<http://www.growingarchitecture.org/experiments.html>>
- FIGURA 72 (JONKERS, 2010: 13,20)
- FIGURA 73 <<http://www.bonhams.com/auctions/16201/lot/129/>>
- FIGURA 74 <<http://giuseppedemilio.altervista.org/recensione%20Game%20zone.html>>
- FIGURA 75 <<http://www.earch.cz/cs/projekty-onl-architektura-se-bouri>>
- FIGURA 76 <[http://www.sial.rmit.edu.au/Projects/Aegis\\_Hyposurface.php](http://www.sial.rmit.edu.au/Projects/Aegis_Hyposurface.php)>
- FIGURA 77 Desenho analítico
- FIGURA 78 Dossier de Imprensa, Maio, 2007
- FIGURA 79 Ibidem
- FIGURA 80 Ibidem
- FIGURA 81 Dossier de Imprensa, Maio, 2007
- FIGURA 82 (REULEAUX, 1876:267)
- FIGURA 83 <<http://responsivearchitecture.blogspot.pt/2006/10/technology-1-transegrity-oframbfra.html>>
- FIGURA 84 <<http://cast.b-ap.net/opencolumns/>>
- FIGURA 85 <[http://www.soma-architecture.com/index.php?page=thematic\\_pavilion&parent=2](http://www.soma-architecture.com/index.php?page=thematic_pavilion&parent=2)>
- FIGURA 86 Desenho analítico
- FIGURA 87 <[http://www.archdaily.com/233487/somas-thematic-pavilion-opens-tomorrow/soma\\_thematicpavilion\\_kinetic-facade\\_01/](http://www.archdaily.com/233487/somas-thematic-pavilion-opens-tomorrow/soma_thematicpavilion_kinetic-facade_01/)>
- FIGURA 88 <<http://www.detail-online.com/architecture/topics/one-ocean-thematic-pavilion-for-expo-2012-018911.html>>
- FIGURA 89 <<http://wallpaperz.co/art/minimalism/magnetic-field-wallpaper/>>
- FIGURA 90 <<http://arquitecturamagnetica.blogspot.pt/>>
- FIGURA 91 Architectural Design, vol.79, Mai/Jun 2009, pag. 77
- FIGURA 92 Architectural Design, vol.81, Mar/Abr 2011, pa.112.
- FIGURA 93 <<http://www.detail-online.com/architecture/news/hygroscope-meteorosensitive-morphology-019158.html>>
- FIGURA 94 <<http://www.adaptivebuildings.com/adaptive-fritting.html?iframe=true&width=100%&height=100%>>
- FIGURA 95 Ibidem
- FIGURA 96 Ibidem
- FIGURA 97 Ibidem
- FIGURA 98 Ibidem Ibidem
- FIGURA 99 <[http://www.flickr.com/photos/infocus\\_images/4711886500/in/pool-1600308@N23](http://www.flickr.com/photos/infocus_images/4711886500/in/pool-1600308@N23)>
- FIGURA 100 Desenho analítico

- FIGURA 101 Desenho analítico
- FIGURA 102 < <http://www.uap.com.au/about-uap/who-we-are/>>
- FIGURA 103 Ibidem
- FIGURA 104 Ibidem
- FIGURA 105 Desenho analítico
- FIGURA 106 Architectural Design, vol.81, Mar/Abr 2011, p.44.



FIM.