

Arquitectura orgânica – da metáfora à forma pelo digital *

Pedro Santiago, ARQUITECTO

Mestre assistente, Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa
Doutorando na Universidade Politécnica de Valência

psantiag@ufp.edu.pt

RESUMO

Assistimos hoje, como civilização, a uma mudança global profunda a várias escalas e níveis, uma enorme alteração do nosso mundo físico, tecnológico e cultural. Próximo do colapso, o planeta está a lidar com um desequilíbrio de forças e energias, com repercussões em todo o ecossistema e biomas. Algumas teses científicas defendem um ponto sem retorno, outras defendem um ciclo natural, não tão alarmante. No entanto, ambas concordam com a mudança, como um facto inegável. A consequência mais visível é o aquecimento global, ainda um tema controverso, mas mesmo assim já mensurado e testemunhado através de métodos científicos. Quando a temperatura média sofre mudanças, o efeito sobre os ecossistemas é enorme, alterando, portanto, a face do planeta tal como o conhecemos. Este trabalho estabelece e aponta uma possível posição do arquitecto face a essas mudanças de paradigma, recorrendo à tecnologia digital como uma forma de melhor compreender e desenhar com os princípios naturais, propondo o resultado do projecto, o nosso universo construído, como um organismo ecossistémico.

PALAVRAS-CHAVE

Bio desenho, Padrões, Projecto sustentável, Sistemas digitais, Metabolismo

ABSTRACT

We, as a civilization, are witnessing today a profound global change on a variety of scales and levels, facing a huge shift of our physical, technological and cultural world. On the edge of collapse, the planet is dealing with an unbalance of energies and forces with repercussions on all ecosystems and biomes. Some scientific thesis defend a point of no return, others defend a natural cycle, not so alarming. Both agree on the change taking place, turning it into an undeniable fact. The most visible consequence is global warming, still a controversial theme, but nonetheless already measured and testified by scientific methods. When the temperature changes the cause and effect on ecosystems is huge, therefore changing the face of the planet as we know it.

This work establishes and points a possible position of the architect facing these paradigm shifts and through the use of digital technology as a way to better understand and design with the natural principles proposing the project outcome, our built universe as an ecosystemic organism.

KEYWORDS

Bio design, Patterns, Sustainable design, Digital systems, Metabolism

* Texto escrito segundo a antiga ortografia.

1. INFORMAÇÃO E PROJECTO

O arquitecto tem hoje que lidar com imensa informação quando projecta o nosso ambiente construído, seja à escala da cidade, seja à escala do edifício. Tornou-se já um padrão, um pré-requisito, considerar questões energéticas e materiais, para além de todas as outras variáveis como local, terreno, programa, forma, volume, funcionalidade, legislação de variados campos e áreas, cliente, infra-estruturas, orçamento, mencionando apenas algumas. O acto de projectar, ao responder a tantas variáveis e condicionantes, constitui um desafio cujo grau de complexidade é cada vez maior. Os edifícios já não são apenas abrigos para garantir a nossa sobrevivência e bem-estar, tornaram-se, como Le Corbusier previu na sua obra "Por uma Arquitectura", em "máquinas de habitar", dependentes dos seus elementos mecânicos para garantir conforto. A sua complexidade é cada vez maior, convertendo a equipa de projecto num grupo de conhecimento transversal e heterogéneo liderada, normalmente, por um arquitecto que tem a responsabilidade de transformar todos esses aspectos técnicos, constrangimentos e necessidades num objecto final coerente – um edifício, uma cidade, enfim, em arquitectura.

O acto de pensar a cidade não representa uma excepção. Todos os princípios atrás mencionados são aplicáveis à metodologia e requisitos do projecto urbano. Apresenta, no entanto, uma grande diferença, a informação a tomar em consideração é consideravelmente em maior quantidade e complexidade. Aspectos ambientais, sociais e económicos, para além de todos os já mencionados, que constituem e são transversais ao nosso ambiente construído, comportam uma capacidade de lidar com informação muito acrescida.

A abordagem geralmente seguida pelos projectistas, e que se tem convertido num "modus operandi", é geralmente a resolução de problemas por adição. Os nossos edifícios e cidades têm-se gradualmente convertido em sistemas cada vez mais complexos. As exigências cada vez maiores de qualidade, conforto, custos energéticos e de manutenção, tornaram estas estruturas, que constituem o nosso "habitat", em sistemas extremamente complexos. Nas sociedades contemporâneas assistimos, cada vez mais, a uma tendência generalizada do ser humano para passar

mais tempo "dentro" de ambientes construídos pelos seus semelhantes. Ambientes "artificiais", com grande parte da população mundial a viver em cidades, tendência que se tem vindo a acentuar e que, de acordo com os dados da Organização Mundial de Saúde, não tem dado sinais significativos de reversão, prevendo-se que em 2030, 6 em cada 10 pessoas viverão em ambientes urbanos. As cidades têm atingido dimensões gigantescas e a população mundial tem crescido exponencialmente, tornando as necessidades humanas insustentáveis para a capacidade do planeta. Estas necessidades não podem ser suportadas sem recursos materiais e energéticos. Apesar de a nossa maior fonte de energia ser o sol, os combustíveis fósseis ocupam ainda um lugar de destaque na nossa preferência, uma vez que são os mais facilmente controláveis e previsíveis, e como tal os que mais tempo e investigação merecem. O "mundo" humano é alimentado por este tipo de combustíveis. Estas duas variáveis, recursos materiais e energéticos, a par de uma "forma de fazer" linear e não cíclica e ecossistémica, conduziram o planeta ao ponto de desequilíbrio em que nos encontramos.

Assim, o simples acto de existir chegou ao ponto de arriscar a nossa própria sobrevivência como espécie no planeta. As cidades e os edifícios não representam uma excepção a este facto, uma vez que necessitam, precisamente, de cada vez mais recursos materiais e energéticos para satisfazer as nossas crescentes necessidades e exigências. Numa dimensão e escala crescentes, apresentam neste momento um consumo de praticamente metade do que extraímos e produzimos.

O paradigma não está a funcionar. Urge pensar em alternativas. Esta preocupação não é novidade e muito antes de chegarmos a este ponto, alguns profissionais de várias áreas do conhecimento incluindo arquitectos, mostraram preocupação com este problema. A situação em que nos encontramos era previsível. Futurologia, ou apenas bom senso? É irrelevante, uma vez que não foram tomados em consideração assim que as circunstâncias o permitiram. O próprio desenvolvimento tecnológico existente, não reunia condições para responder e acompanhar, de forma concreta, os problemas e soluções apontados. Frank Lloyd Wright desenhou cidades e edifícios de acordo com princípios na-

turais. Richard Neutra desenhou e projectou de acordo com os mesmos princípios, deixando mesmo alguns livros sobre o tema, nomeadamente "Survival through design"¹ (Neutra, 1969), aqui entendido como o acto de projectar, onde reflectiu profundamente as suas preocupações sobre a relação entre o ambiente construído e o natural e as respectivas repercussões no ser humano. Víctor Olgyay escreveu "Design with Climate"² (Olgyay, 1998) onde expôs os princípios fundamentais do cruzamento da arquitectura com a biologia, a climatologia e a tecnologia. Estes são apenas alguns exemplos, entre muitos, que nos permitem perceber que esta informação estava já acessível nas décadas de 50 e 60. No entanto, parecem nunca ter feito tanto sentido como agora que atravessamos uma situação crítica.

Como pode o arquitecto contemporâneo lidar, incorporar e responder a tantas variáveis e requisitos sem perder a "arquitectura" no próprio processo, tornando-se apenas um gestor técnico? Aliás, será possível ao arquitecto usar essa informação de forma integrada como elemento metodológico e sistemático de projectar?

2. O PROJECTO E A TECNOLOGIA

A nossa relação com a tecnologia é tão profunda, hoje em dia, que se tornou praticamente impossível imaginar as nossas vidas sem ela. A tecnologia tornou-se verdadeiramente uma extensão natural de nós próprios. A forma como nos relacionamos com os nossos semelhantes e com o que nos rodeia é, em grande parte, estabelecida pela tecnologia. A evolução da humanidade está intrinsecamente relacionada e articulada com conquistas tecnológicas. O arquitecto lida com este factor numa base diária. Aliás, podemos mesmo afirmar que a arquitectura é um dos feitos tecnológicos mais importantes da nossa existência. As nossas cidades e os nossos edifícios são por si, em simultâneo, conquistas tecnológicas e culturais. A tecnologia faz parte integrante da nossa cultura, assumindo mesmo, em alguns casos, esse papel na íntegra. Este aspecto relacionado com a componente cultural é particularmente importante quando falamos de cidades, edifícios e máquinas. Representam as nossas conquistas mais importantes, vivemos fascinados por elas. Mas foram estas mesmas conquistas que nos

trouxeram a este ponto de luta ecossistémica que hoje enfrentamos.

A máquina ganhou uma vida própria, quer gostemos quer não. Vive através de nós e nós vivemos através dela. A nossa existência depende da sua existência. Mas a nossa visão e abordagem à máquina tornou-se também uma sintaxe em si mesma. Conseguimos evoluí-la, utilizamo-la para a produção de outras máquinas e, por vezes, esquecemo-nos de levantar a cabeça e olhar em redor, para o mundo que nos rodeia e que sempre constituiu uma fonte inesgotável de informação e inspiração. A máquina começou por uma base de observação da natureza. As máquinas de Leonardo da Vinci foram inspiradas pela natureza. Os edifícios de Gaudí também encontraram a sua fonte de inspiração na natureza.

Hoje temos um maior conhecimento sobre os princípios naturais, desde complexos ecossistemas a simples seres vivos. Este conhecimento é muito vasto e acarreta uma enorme quantidade de informação intrínseca. Usar e processar estes princípios representa uma tarefa árdua e difícil. A tecnologia como extensão do nosso pensamento, sob o seu domínio digital, converte-se num poderoso aliado nesta mudança conceptual e metodológica. O cruzamento de informação e articulação de pensamento é de enorme importância nos dias de hoje. A investigação hermética conduz a respostas isoladas para problemas específicos. No entanto muitas questões têm que ser entendidas e enfrentadas sob uma perspectiva holística, correndo, inclusivamente, o risco de criar mais ou outros tipos de problemas na tentativa de resolver os anteriores.

O arquitecto procurou desde sempre inspiração em outros campos do conhecimento. Num contexto mais recente, a biologia tem-se apresentado como um desses campos, despertando um interesse crescente e maior relevância em certos conjuntos de circunstâncias temporais e sociais. É necessário mudar os paradigmas do nosso ambiente construído, passando por mudar a nossa tecnologia construtiva para garantir uma saída aos problemas ecossistémicos. É importante pensar em alterar o modelo de edifício como barreira aos elementos naturais, repensar o conceito de "dentro" e "fora" e começar a enfrentar os problemas com a

natureza como o nosso "habitat" natural. Isto não significa sair do nosso ambiente construído, mas antes transformá-lo num ambiente mais vivo para ser vivido. Funcionar com e para a natureza, tornando-a a nossa próxima tecnologia. Estão a ser dados passos enormes no sentido deste novo paradigma filosófico, nomeadamente em outros campos científicos, como, por exemplo, o computacional e informático com a descoberta da possibilidade de armazenamento de informação em DNA e computadores orgânicos com capacidade de processamento melhorada, no campo da transformação de energia com a produção de tecnologia fotovoltaica a partir de materiais naturais como a madeira, ou no campo empresarial com a criação de modelos de gestão baseados em comportamentos ecossistémicos, entre muitos outros exemplos.

Quanto mais entendermos a natureza, mais podemos trabalhar com ela. O que todas estas áreas pesquisam é a capacidade de adaptação a estímulos externos a par de uma eficiência que só milhões de anos de evolução conseguiram atingir.

A arquitectura geralmente recorre à natureza como uma fonte de inspiração directa que tem como resultado formas e ambientes. Não se tem debruçado tanto numa análise profunda do seu funcionamento e criado soluções tecnológicas baseadas nos seus princípios. Quando falamos de arquitectura sustentável, ou ecológica, referimo-nos geralmente a eficiência, especialmente em termos energéticos, ao uso sustentável de materiais, garantindo a sua continuidade como recurso e ao seu impacto ambiental global com base no ciclo de vida. As cidades seguem conceitos similares. Mas ainda não começámos a olhar para o nosso ambiente construído como um organismo vivo, com um metabolismo próprio, capaz de responder a estímulos externos, aos seus ambientes, à envolvente. Um organismo com capacidade de regulação dinâmica do seu clima interior, extremamente eficiente em termos energéticos, sem compromissos ambientais e parte integrante de um ecossistema actuando como receptor e como colaborador. Quando este conceito for alcançado podemos realmente usar o termo "ecológico" quando falamos sobre cidades e sobre edifícios, sobre arquitectura e sobre construção. É possível estabelecer esta conexão? É possível mudar o paradigma actual para uma

perspectiva biológica? Podemos transformar edifícios em verdadeiros organismos?

Sabemos pelos princípios Darwinianos que os organismos vivos dependem da sua eficiência e capacidade de adaptação para sobreviver. Estes factores determinam o futuro desse organismo. Temos certamente muito a aprender com estes modelos.

3. O ORGANISMO CONSTRUÍDO

Para melhor compreender o que um organismo pode, ou poderia ser, e de que forma pode relacionar-se e contribuir para a arquitectura, vamos tentar entendê-lo e defini-lo a partir de um ponto de vista estrutural e conceptual.

É uma palavra ou definição que, como tantas outras, tem vários significados e usos. Mas existe um conceito que é transversal a qualquer uso e contexto em que é usada: a ideia de um grupo de "órgãos" que trabalham em conjunto para um propósito particular. Assim, a palavra organismo é utilizada em situações como seres vivos, empresas, corporações, instituições ou até mesmo na definição das várias componentes de um estado ou do próprio Estado.

O conceito de ter várias "partes", ou corpos, em cooperação para um objectivo comum não se encontra muito afastado do conceito da máquina e de grande parte da tecnologia.

A palavra organismo tem sua origem etimológica na palavra grega "organon" que, por sua vez, deu origem no latim a "organum" que significa "ferramenta". Esta origem é muito interessante, pois permite que a analogia feita anteriormente entre o organismo e a máquina se torne ainda mais próxima e muito mais perceptível. A ferramenta é, por definição, um objecto elaborado com vista a facilitar a realização de uma tarefa mecânica que exige uma aplicação adequada de energia. Além disso, a máquina é um conjunto de partes, de elementos fixos e móveis, cujo funcionamento permite apreender, direccionar, regular e transformar energia, ou executar um trabalho com um propósito específico. Ao que parece, a máquina e o corpo têm mais em comum do que pode parecer à primeira vista.

Basicamente, em termos biológicos, um organismo é um ser vivo extremamente organizado. Com isto queremos dizer que um organismo possui um elevado grau de ordem biológica, um padrão altamente organizado.

Todos os organismos têm algum tipo de estrutura. A estrutura é, literalmente, uma “construção” de algo a partir de um determinado número de diversas partes. A estrutura de um organismo é, portanto, o arranjo “construído” ou padrão a partir das suas diversas partes. Em biologia e medicina este conceito é também referido como anatomia. [Russell *et al.*, 2011]

Assim, podemos verificar que a palavra “organismo”, apesar de, etimologicamente, estar com frequência ligada a utensílios e ferramentas, foi “roubada” por académicos do meio natural e biológico para definir um ser vivo. Estes nunca deixaram de fazer analogias entre os órgãos e seus mecanismos para assegurar o bom funcionamento dos corpos a que pertencem. No entanto, a fisiologia é, no seu sentido mais puro, o estudo ou conhecimento da natureza, superando o organismo fechado e dedicando-se ao estudo das interacções do ser vivo com o seu meio ambiente.

Os organismos vivos são sensíveis a mudanças no seu ambiente e apresentam capacidade de lhes responder, sejam estes um estímulo, uma mudança física ou química no ambiente interno ou externo. Todos os organismos respondem a estímulos, mas nem sempre aos mesmos estímulos da mesma forma. Têm que ser capazes de responder e reagir a mudanças no seu ambiente para garantir a sua sobrevivência, regulam os seus sistemas. Mantêm as suas condições internas garantindo a vida. Mesmo quando se altera o ambiente ao seu redor, os organismos tentam manter constantes as suas condições internas. [Russell *et al.*, 2011]

Reflectindo um pouco sobre edifícios e arquitectura, este assunto representa uma analogia quase directa com os problemas de construção, os seus órgãos, os seus materiais, a sua fisiologia, ou seja, o seu comportamento interno e sua relação com a envolvente e com o meio ambiente. É importante, portanto, estudar o que distingue os seres vivos das máquinas tecnológicas para assegurar um princípio aplicável à arquitectura.

Associada a esta questão, mas dentro de um conceito um pouco distinto, encontra-se a homeostase. Todos os seres vivos, desde a célula individual até organismos complexos completos, têm mecanismos para manter as condições internas estáveis. Sem esses mecanismos, os organismos não conseguem manter e garantir a vida. A homeostase é a capacidade de manutenção de um nível estável de condições internas apesar das constantes mudanças das condições ambientais. Os organismos têm sistemas de controlo para manter as condições internas, tais como a temperatura, teor de água e a absorção de nutrientes pelas células. De facto, os organismos multicelulares, geralmente, apresentam sob várias formas as suas capacidades para manter os factores importantes do seu ambiente interno. [Russell *et al.*, 2011]

Os organismos vivos recorrem ao metabolismo para a produção de energia e eliminação de resíduos não necessários ao seu funcionamento. A palavra metabolismo significa “mudança” ou, no caso de um ser vivo, “um estado de mudança”. Os organismos vivos usam energia para todos os seus processos vitais, tais como reparação, manutenção, movimento e crescimento. Esta utilização de energia depende do metabolismo. O metabolismo é a soma de todas as reacções químicas que transformam a energia e matéria do ambiente circundante, da envolvente. [Russell *et al.*, 2011]

Agora que temos uma melhor compreensão do que é, ou o que constitui um organismo para a biologia, introduzimos o conceito de um organismo como uma metáfora para muitos fenómenos arquitectónicos. A ordem e os sistemas que compõem os edifícios. As “ferramentas”, ou “órgãos”, que o constituem, a sua capacidade de reagir com os aspectos externos como o clima ou a luz, para manter suas condições ideais no interior, e a energia necessária para se manter em funcionamento. Podemos até falar do DNA cultural da linguagem arquitectónica, que muitas vezes é o aspecto mais importante que “passa” da arquitectura para a sociedade. As soluções construtivas constituem também um DNA do edifício, o projecto é indubitavelmente a informação para a sua materialização.

Aparentemente, sob esta perspectiva, a maioria dos edifícios são “organismos” muito rudimentares, que geralmente

não possuem essas características e capacidades comuns aos seres vivos. O seu comportamento em relação a estas questões é, na maioria das vezes, inexistente, defeituoso ou rudimentar, primitivo. Grande parte dos edifícios não é pensada para responder às demandas no seu ciclo de vida de acordo com os princípios de eficiência existentes na natureza, fazer "mais com menos", uma célebre frase do arquitecto Mies van der Rohe, os mesmos princípios que os sistemas naturais procuram e implementam há já milhões de anos de evolução através do comportamento global dos ecossistemas.

O arquitecto encontra hoje um novo caminho metodológico, conceptual e filosófico, uma nova abordagem para a profissão e para o acto de projectar edifícios e cidades que realmente e verdadeiramente se relaciona com, e quer ser uma parte de, um sistema ecológico, uma parte integrante da natureza. A introdução de conceitos tais como o metabolismo, a fisiologia e/ou a homeostase no acto de projectar, pode conduzir o arquitecto a um universo muito distinto, com uma gramática e uma estrutura diferentes, permitindo desde o início responder a questões de eficiência sob a perspectiva biológica e não mecanicista. Para ser capaz de compreender essa complexidade, o mundo digital será um dos seus maiores aliados. Para ser capaz de aplicar estes mecanismos ao processo de criação como uma substância intrínseca, endémica, sem se perder até atingir o resultado final, as tecnologias digitais são essenciais.

4. ENTENDER A NATUREZA PELA TECNOLOGIA

Os conceitos relativos ao organismo e aos ecossistemas são extraídos, principalmente, da biologia. Muito embora a tecnologia e a ciência tenham sido sempre duas áreas do conhecimento cuja barreira é praticamente inexistente e, como tal, tenham tido a capacidade de se influenciar mutuamente e produzir conhecimento útil a muitas outras áreas diferentes de pensamento, a arquitectura raramente de forma propositada estabeleceu ligação com a biologia. No entanto, o arquitecto sempre olhou para a natureza como uma fonte de inspiração.

Desde os períodos clássicos que a analogia é óbvia. Na maioria das vezes a um nível simplesmente decorativo, mas que definiu importantes peças culturais. No entanto, a natureza sempre esteve presente e sempre significou uma busca incessante de conhecimento e tentativa de compreensão. É claro que, antes do controlo ambiental interior mecanicista, os arquitectos tiveram que lidar com climas locais específicos, e essas soluções representaram, geralmente, uma forma de fazer que se transformou em cultura. Assim, lidar com a natureza era a única maneira de desenhar, de resolver, tendo sempre representado um enorme papel de referência para os arquitectos, mesmo que às vezes apenas a um nível mimético, com ambientes feitos pelo homem que contaram com a presença de reinterpretações dos modelos naturais.

"The interplay between biology and design – especially architecture – has a long history. Most of the design has been decorative and has been called biomorphic or zoomorphic. Such shapes can be immensely appealing but rarely give functional advantage." (Vincent, 2012, p. 161)³

A revolução industrial alterou todos estes paradigmas de pensamento. A humanidade tentou quebrar os laços estabelecidos com o ambiente natural sob um forte sentimento de controlo. A partir do controlo energético estabeleceu, portanto, o controlo do ambiente. Deixamos de ser dependentes de fontes de energia com características inconstantes. A tecnologia foi levada a um nível nunca antes visto. A nossa relação com o planeta também mudou drasticamente. Tornou-se o nosso "armazém" de matéria prima. Esta filosofia acabou por revelar-se extremamente perigosa. No entanto, permitiu-nos, através dos avanços tecnológicos, entender o planeta e nós próprios a níveis anteriormente impensáveis.

Quando o arquitecto tenta entender conceitos complexos, tais como a fisiologia, e aplicá-los a um projecto específico com o objectivo principal de atingir um resultado final de eficiência global, tem de trabalhar e processar uma quantidade enorme de informação. As tecnologias digitais apresentam pela primeira vez uma oportunidade para o arquitecto entender esses fenómenos. A tecnologia permite-nos compreender melhor o mundo que nos rodeia, nós próprios

e as possíveis relações a estabelecer. Os biólogos têm vindo a utilizar tecnologia digital para entender a natureza, dos ecossistemas até à forma de vida mais simples. Traduzem toda essa informação em modelos matemáticos: padrões, algoritmos, estatísticas, etc. A complexidade das relações entre os componentes vivos e não vivos do ecossistema gera uma quantidade de informação muito difícil de processar e entender. Sem os meios tecnológicos disponíveis hoje, seria impossível trabalhar com alguma dessa informação e/ou evoluir a um ritmo tão rápido.

“The conceptual apparatus of architecture has always given a central role to the relations of mankind and nature. The human body has been a source of harmonious proportions and the shapes of many living organisms have been adapted for architectural use. The current widespread fascination with nature is a reflection of the availability of new modes of imaging the interior structures of plants and animals, of electron-microscopy of the intricate and very small, together with the mathematics of biological processes.” (Hensel, et al., 2010, p. 26)⁴

A arquitectura pode encontrar na biologia uma analogia de vocabulário e de princípios. A natureza apresenta, no entanto, uma enorme vantagem evolutiva. Milhões de anos a aperfeiçoar sistemas e estruturas, ambos vivos e não vivos. A natureza “construiu” incontáveis formas de vida, inúmeras soluções para variadíssimos problemas, encontrando-se em constante evolução. Estes organismos sobrevivem por eficiência. Exactamente o que os arquitectos procuram nos edifícios hoje em dia. A eficiência energética, funcional, material, comportamental, estética, entre tantos outros pontos. Claramente, os nossos resultados do desenho e projecto não podem, de forma alguma, ser comparados com a complexidade e eficiência das criações naturais. Até mesmo o mais simples elemento construtivo biológico natural, a célula, apresenta uma complexidade que ainda estamos a estudar, descobrir e tentar compreender.

“A cell is the simplest organisation of life but all living cells have complex internal systems separated into semi-autonomous functional areas. Each cell is enclosed and separated from its surroundings by a surface membrane, and able to dynamically maintain itself by the exchange of

energy and material through that surface. Each cell also has within it the genome, an information set or programme for accurate construction of descendants identical to itself. The complex architecture of living forms requires more than the simple coexistence of many cells in close proximity; the spatial organisation of many cells has to enable interactions of each cell to its immediate neighbours, and it is the interaction that initiates the processes that produce hierarchical order and morphological complexity.” (Weinstock, 2010, p. 95)⁵

Sem a tecnologia disponível hoje, seria impossível entender os princípios da natureza a um nível tão profundo. Os arquitectos podem encontrar na biologia um vasto campo de informação, inspiração e soluções para uma série de problemas que agora estão presentes. Mas a abordagem deve ser cuidadosa e inteligente. Estando presente na investigação há já bastante tempo, tem recebido denominações como biomimetismo, ou biomimética, bio-inspiração, a par de toda uma nova série de termos que tentam enquadrar as menores diferenças no modo como as soluções são baseadas ou interpretadas a partir de fontes biológicas. O mimetismo puro não apresenta soluções viáveis. Tem de servir como princípios a serem aplicados de acordo com as circunstâncias e contextos adequados. Esses princípios devidamente adaptados têm de ser testados, confirmados e por fim postos à prova. Essa situação vai exigir simulações, cálculos, resultados e protótipos.

Uma coisa é clara, sem as tecnologias digitais e poder de computação disponíveis hoje, isso não seria possível ao nível a que nos propomos. Mesmo o que seria possível é extremamente acelerado, permitindo no mesmo espaço temporal atingir objectivos muito mais ambiciosos.

5. O PROJECTO NATURAL PELA TECNOLOGIA

Não importa a quantidade de esforço que é aplicada a uma arquitectura ou projecto ecossistémico, o nosso espaço construído irá sempre pertencer à esfera ou ao domínio do não vivo, sendo sempre, também, um componente artificial. O que significa que, se o arquitecto quer realmente quebrar ou atenuar a barreira entre ambientes artificiais

e ambientes naturais, vai ter que trabalhar com princípios semelhantes aos utilizados pela natureza.

Os conceitos de natural e artificial não deveriam ser tão distantes, quase antagónicos, como são encarados hoje em dia. O artificial deve articular-se com o natural de tal forma que as diferenças possam ser esbatidas até que se atinja um nível de simbiose. Claro que todo o conceito natural, ou a própria definição de natureza, pode ser questionado, uma vez que o homem mudou a face do planeta, não deixando espaço para os ecossistemas seguirem um caminho próprio e livre da nossa presença. Não existe paisagem intocada pela mão humana. No entanto, a capacidade da natureza se adaptar e responder a estímulos torna-a um sobrevivente nato, desde a escala do ecossistema até ao organismo mais elementar.

Uma das contribuições mais interessantes sobre este assunto em “The metapolis dictionary of advanced architecture” (“O dicionário metapolis de arquitectura avançada”) dos arquitectos Ábalos & Herreros está na sua definição de natureza [avançada] e tecnologia e natureza [Tecnonatura].

“Definitely, nature does not exist. We recently digitalised the last metre of the planet and we already have it in our artificialising pocket. [...] It would be useful to put into crisis the more naïf ideas that have taken shape through the growing interest in nature. Only greater technological development and critical cultural attention can put a stop to the predatory dynamic that modern technology has unleashed on the territory. In this context, the architect’s work should exploit more intense forms of describing the contemporary idea of nature, understanding it as an essentially cultural construction. If you like, to manufacture a cosmogony and give it physical form. As a work resource, environmental awareness is useful when we cross it with its apparent opposite: the artificiality of a real physical experience, as a theme for creating new paradoxes and new questions.” (Ábalos e Herreros, 2003, p.449)⁶

Se o arquitecto quer realmente estabelecer uma ligação com o meio ambiente, convertendo os termos arquitectura sustentável e ecológica em respostas válidas, com subs-

tância e valor acrescentado para nosso ambiente construído, sob uma perspectiva e abordagem holística, tem agora uma oportunidade que as gerações passadas não podiam sequer imaginar. A capacidade de usar princípios biológicos para resolver as nossas estruturas construídas, aprender e ter a capacidade de os aplicar à sua prática quotidiana é um desafio que irá influenciar e caracterizar uma mudança metodológica dos actos fundamentais de desenhar, pensar e projectar.

As tecnologias digitais são capazes de processar e acelerar quantidades massivas de informação, representando uma nova ferramenta que vai muito além do desenho ou da simples gestão de informação do edifício (BIM⁷). Estas tecnologias, se utilizadas adequadamente, vão permitir uma nova ligação com a natureza. Representam uma revolução de projecto. Os primeiros programas informáticos, amplamente espalhados por escritórios de arquitectura, foram simplesmente estiradores digitais. É claro que aceleraram tremendamente a logística do escritório, criando a possibilidade de usar a informação digital. Hoje em dia a norma está em rápida mudança para o paradigma BIM, que permite processar e trabalhar com um verdadeiro modelo virtual dentro da esfera digital o que trouxe uma nova dinâmica e algumas grandes mudanças no acto de projectar e nos processos de trabalho do arquitecto. O fluxo de trabalho mudou drasticamente, e gestão da informação é agora natural para utilizadores de programas BIM. Estes modelos trouxeram enormes avanços para o arquitecto, permitindo-lhe controlar e testar, trabalhar com informação. O modelo virtual permitiu o teste de soluções ainda em ambiente digital e, na fase de desenho, prever através de cálculos o impacto do edifício a vários níveis, atingindo mesmo a pegada ecológica e o ciclo de vida. Mas o uso de princípios naturais através de padrões de crescimento, adaptação e utilização de algoritmos naturais, por exemplo, ainda é uma abordagem difícil e morosa.

A próxima geração de programas permite aplicar e trabalhar com conceitos como “form-finding”⁸, onde o poder de processamento da máquina permitirá, ao arquitecto, gerar soluções, analisá-las, actualizá-las, testá-las, melhorá-las, torná-las mais eficientes, no fundo um processo evolutivo semelhante ao natural, recorrendo aos mesmos

princípios e algoritmos. O arquitecto será capaz de trabalhar com informação biológica. Nunca antes a profissão teve a possibilidade de cruzar tantos dados com outras disciplinas. O modo como, por exemplo, uma fachada irá comportar-se e trabalhar com os recursos naturais, como a energia e a luz, será encarado de uma forma completamente diferente e nova. Tão radicalmente diferente que a nossa forma de olhar para o acto de projectar poderá nunca mais ser a mesma. A metodologia de obter e pensar a forma, a sua lógica e os seus princípios geradores, assumirão também dimensões completamente diferentes. O acto de pensar a cidade, fazer urbanismo, não vai representar uma excepção.

Essas tecnologias já estão disponíveis há algum tempo, mas eram utilizadas apenas por um punhado de especialistas que tinham a capacidade de realmente entender e trabalhar com essas novas gramáticas. Os programas evoluíram, actualizaram-se e estão a tornar-se cada vez mais populares entre uma nova geração de pensadores que já dependem deles para encontrar soluções para os seus problemas. É um mundo completamente diferente que dá ao criativo a capacidade de experimentar novos conceitos e ideias. Trabalhar com geometrias mais complexas, padrões, formas, algoritmos são apenas algumas possibilidades entre muitas outras. No entanto, solucionar efectivamente problemas ecológicos é ainda uma abordagem nova e pouco explorada. Compreender a matéria e testá-la. Compreender os fluxos de energia e testá-los. Compreender a função e testá-la. Nunca esses factores estiveram tão disponíveis para a mente do arquitecto e vertidas no resultado final.

Se esse potencial for canalizado para uma forma de pensar e fazer, os edifícios irão, verdadeiramente, evoluir no sentido mais biológico e ecossistémico, à semelhança do que a natureza consegue atingir com os seus organismos. O arquitecto será dotado de ferramentas que lhe conferem a capacidade de realmente pesquisar e encontrar soluções inesperadas com a ajuda da caneta, papel e tecnologias digitais.

No entanto uma base estrutural conceptual é de extrema importância, para que essas ferramentas sejam usadas na direcção certa e representem uma mudança responsável e

significativa nas nossas vidas, e não meros exercícios de estilo vazios de conteúdo e significado.

“Organically oriented design could, we hope, combat the chance character of the surrounding scene. Physiology must direct and check the technical advance in constructed environment. This setting of ours is all powerful; it comprises everything man-made to supply man, from the airy storage compartment of our toothbrush to the illumination of a speedway interchange, or the neighborhood day-car center for toddlers” (Neutra, 1969, p.4)⁹

O desafio foi definido há muito tempo.

“Architecture is undergoing a systemic change, driven by the changes in culture, science, industry and commerce that are rapidly eroding the former boundaries between the natural and the artificial.” (Hensel et al., 2010, p. 26)¹⁰

6. O NATURAL ATRAVÉS DO DIGITAL

O estudo dos sistemas ecológicos providencia conceitos e modelos para a complexa relação energética dos organismos com o seu ambiente, desde a simples análise do comportamento metabólico de um ser vivo à dinâmica dos padrões das espécies nesse sistema, a par dos fluxos energéticos e materiais entre eles que regula o seu comportamento através das gerações. As formas biológicas e o seu comportamento emergem do processo que produz, elabora e mantém a forma ou estrutura dos organismos biológicos e que consiste numa complexa série de trocas entre o organismo e o seu ambiente. Aliás, o organismo tem a capacidade de manter a sua continuidade e integridade alterando aspectos comportamentais. Forma e comportamento estão intrinsecamente ligados. A forma de um organismo afecta o seu comportamento no ambiente, um comportamento particular irá produzir resultados diferentes em ambientes diferentes, ou se executado por formas diferentes no mesmo ambiente. O comportamento é não linear e específico ao ambiente. A evolução de todas as múltiplas variações de forma biológica não deve ser considerada como independente da sua estrutura e materiais. O seu desempenho emerge das complexas hierarquias materiais dentro de es-

truturas naturais. Forma, estrutura e material actuam entre si, e o seu comportamento conjunto não pode ser previsto pela análise isolada de qualquer um deles. Todas as formas biológicas são auto-construídas, e fazem-no sob a força gravitacional, tendo que obter os respectivos materiais e energia a partir de seu meio ambiente. A auto-organização Biológica ocorre sob "stress"¹¹. (Hensel *et al.*, 2010)

O urbanismo tem as suas raízes no domínio sobre a natureza. Este novo paradigma aponta um caminho de simbiose. De compreensão do meio natural e da sua extensão e fusão com o artificial, um novo ADN.

A cidade é uma expressão da tecnologia do presente. A noção de cidade como uma máquina é criada implicitamente a partir de paradigmas arquitectónicos modernistas do século XX, frequentemente referidos à escala do edifício no conceito de Le Corbusier da "casa como uma máquina para viver". A cidade no século XX foi também concebida como uma máquina para viver. Na sequência das declarações dos Futuristas de há cem anos atrás, as cidades estão hoje mais alinhadas com os processos naturais do que com paradigmas de eficiência mecânica. Na década de 1960, os Metabolistas, no Japão, exploravam uma corrente de pensamento profundamente enraizada em analogias biológicas de crescimento, adaptação e regeneração. A sua fundamentação para o uso do termo biológico "metabolis" era a convicção do grupo que o projecto e a tecnologia deviam ser um índice de vitalidade humana. Os Metabolistas respondiam às contingências da urbanização acelerada no Japão, sendo a sua visão da cidade do futuro aquela em que "a tecnologia avançada existe em paralelo com uma natureza imaculada – a tecno-utopia." (Verebes, 2014)

"Despite a latent and lingering belief in utopianism, the city can no longer be conceived of or maintained as an ideal construct. The complexities of urban change should be facilitated rather than constrained by the mechanisms of masterplanning. We now understand the city as complex, dynamic, and inherently difficult to manage and control. In effect, cities in the twenty-first century will benefit from the embracing of complexity, as opposed to the persistence of the notion that Planning prevents the apparent chaos of unplanned urban growth. How, then, do we manage change

and evolution while also investigating the design implications of the greater cultural, social, economic, and environmental endurance of cities and buildings? Cities can endure for great intervals, but how does history explain their fragility and unpredictability? Cities are complex entities that are never entirely stable, always in a state of flux, growing, decaying, or dying. The paradigm of the city as a machine is increasingly being rejected in favor of biodynamic analogies." (Verebes, 2014, p. 22)¹²

A complexidade é uma característica inerente dos sistemas naturais e artificiais. As cidades, em particular, são exemplos da forma como a ordem pode ser criada a partir de processos verticais ascendentes (*bottom-up*) complexos. Um resultado inesperado na adopção da complexidade no projecto é que ela é essencial para a sua integração na ciência de sistemas complexos. Há cinquenta anos, as cidades eram consideradas sistemas cujo funcionamento se baseava na interacção de diversas partes, cuja forma se manifestava numa hierarquia relativamente harmoniosa dessas partes (ou subsistemas). No entanto, os sistemas, nesses termos, estavam concebidos para serem controlados centralmente. À medida que o paradigma se desenvolveu, ocorreu uma subtil mudança à noção de que a ordem em muitos sistemas e as suas hierarquias resultantes emergiram da forma como as suas partes ou elementos interagiram de forma ascendente (*bottom-up*) e não por imposição descendente (*top-down*) de um plano. As ciências da complexidade desenvolveram-se para actualizar este paradigma de sistemas, com enfoque na mudança de uma analogia entre as cidades como máquinas para uma baseada em biológicas de evolução, cuja forma é a resultante de mudanças subtis e contínuas na sua composição genética, ao nível das suas componentes mais básicas. Essa mudança de raciocínio é mais vasta do que as cidades em si. É a transição do pensar o mundo em termos das suas características físicas para o pensar baseado na sua biologia, desde uma perspectiva descendente (*top-down*) para uma ascendente (*bottom-up*), de uma acção centralizada para uma descentralizada, e de formas planeadas a formas que evoluem organicamente. (Alexiou *et al.*, 2010)

Como exemplo, podemos descrever aqui o caso apresentado por Greenberg e por Jeronimidis, no seu artigo Variation

and Distribution: Forest Patterns as a Model for Urban Morphologies presente na revista *Architectural Design – System city*, que coloca em prática uma grande parte destes conceitos aplicados ao planeamento urbano. Foi tomado como ponto de partida, para os princípios generativos da cidade, o modelo da floresta amazónica. Balizou-se assim um ecossistema nos seus princípios materiais e energéticos. Os seres vivos com mais enfoque foram algumas espécies arbóreas.

A partir do estudo da evolução de populações de árvores, é possível relacionar padrões matemáticos e funcionais da floresta para o desenho das cidades e das suas redes. Através da compreensão da regra genética do conjunto inicial de árvores específicas, e das relações entre as hierarquias em que estas existem na floresta, a inteligência pode ser projectada em edifícios e na sua disposição na cidade gerando organizações urbanas altamente performativas capazes de negociar as condições ambientais, a gestão de fluxos de energia, a distribuição de redes de infra-estrutura e a criação de ambientes espaciais e micro-climáticos complexos. A competição não só afecta a morfo-génese do organismo individual, mas também de toda a floresta. A negociação ambiental tem, portanto, um efeito directo sobre a morfologia e a criação de microclimas produtivos. Esta forma urbana pode surgir diferenciada dos padrões de distribuição dos blocos da cidade baseada na lógica de conjuntos estruturais da floresta tropical. Embora estes processos não sejam aleatórios, também não são parte integrante dos padrões observados dos conjuntos estruturais, uma vez que cada camada densa de floresta tropical contém numerosas espécies diferentes actuando dentro do seu estrato. Os efeitos emergentes da floresta não são, portanto, dependentes da sua posição planar na floresta, mas sim directamente ligados aos seus estratos, geridos pela sua energia incorporada e estratégias de crescimento passadas, presentes e futuras. A diferenciação seccional de altura como motor de projecto não só dita a variação formal, mas também os efeitos organizacionais específicos, que podem acomodar microclimas, programas e, em última análise, fluxos de infra-estrutura variados, em toda a cidade. Gradientes diversos de densidade, produto de distribuição variada dentro dos estratos, criam novas e inesperadas associações entre redes, nós e indivíduos. O tecido urbano é

rico e diversificado, e torna-se, assim, um ambiente heterogéneo de interações emergentes dentro de um ambiente homeostático. Tal como a floresta tropical, o ambiente urbano pode beneficiar da diferenciação estruturada na tipologia e forma; cidades dotadas de micro-climas variados permitem diferentes actividades com uso eficaz de energia e fluxos de informação. Desta forma, a cidade torna-se um agente na sua própria produtividade, com a troca de energia e informação que conduz ao crescimento dinâmico do espaço urbano e da cultura. [Greenberg *et al.*, 2013]

Outro exemplo é o “Urban Reef” [Recife Urbano], uma proposta urbana da “Team Shampoo”, desenvolvida no Design Research Laboratory da Architectural Association que tem conduzido uma série de propostas de investigação com grande enfoque nesta abordagem emergente da cidade gerada a partir de princípios biológicos. Esta proposta assenta na investigação de sistemas naturais, mais especificamente, no modelo do recife de coral como exemplo de uma ecologia adaptativa, que é definida pelas relações locais. O princípio de crescimento do coral, de aumento da taxa de crescimento em áreas de elevado grau de curvatura, é usado para organizar a distribuição e posicionamento das unidades habitacionais dentro da rede proposta. Entretanto é investigado e aplicado o princípio de fusão para diferenciar a tipologia da construção de acordo com os parâmetros de altura, orientação e posição no local.

Dentro do mesmo programa a “Team Chimera” desenvolveu a Mangal City [Cidade Mangal] cujo objectivo foi a definição de um ecossistema urbano que suporta programas culturais e habitacionais, com capacidade de adaptação, transformação, mutação e ajuste de acordo com o carácter urbano e social específico do local. Este sistema ecológico urbano teve, como modelo, um organismo na natureza, especificamente a planta de mangue. Esta planta e seu colectivo, o Mangal, fornecem exemplos de princípios sociais associativos, bem como as capacidades estruturais e respostas híbridas às condições ambientais e contextuais. A solução assenta nos princípios generativos da filotaxia e ramificação da espécie em questão pela sua elevada capacidade de resposta ao meio envolvente, resultando na geração de uma ecologia urbana responsiva.

"In effect it is a biological problem... Not only has biology become indispensable for building but building for biology." (Otto, 1971, pp.7–8)¹³

7. CONCLUSÃO

O ambiente construído é cada vez mais responsável por problemas ambientais e sociais globais, representando uma vasta proporção dos resíduos, matéria e energia utilizados à escala do planeta, a par das emissões de gases de efeito estufa atribuídos aos habitats artificiais criados pelo ser humano (Mazria, 2003; Doughty and Hammond, 2004). É cada vez mais claro que a forma como o ambiente construído é criado e mantido necessita de um novo paradigma que garanta a manutenção e integração dos ecossistemas. Um dos caminhos possíveis é a utilização de princípios naturais na geração do ambiente construído. A utilização de sistemas de optimização de recursos materiais e energéticos em todo o ciclo de vida garante uma abordagem ecossistémica integrada.

O arquitecto tem agora, ao seu dispor, ferramentas que lhe permitem uma nova abordagem à metodologia de projecto que possibilitam a aplicação da informação recolhida no campo da biologia, ao acto de projectar. O objecto arquitectónico assume uma dimensão diferenciada, criada a partir de sistemas que regulam o desenvolvimento de seres vivos.

Ao mimetizar a vida, incluindo as complexas interacções entre os organismos vivos que compõem os ecossistemas é, simultaneamente, um exemplo e uma perspectiva animadora para futuros habitats humanos com capacidade de articulação com ecossistemas e habitats de outras espécies numa solução mutuamente benéfica.

Embora este conceito tenha, actualmente, uma tendência teórica, com muitas ideias relacionadas com biomimetismo baseado em ecossistemas e biomimetismo arquitectónico em geral a serem ainda testadas na sua forma construída, o projecto que imita a forma como a maioria dos ecossistemas são capazes de funcionar de forma sustentável e até mesmo regenerativa, tem o potencial de transformar positivamente o desempenho ambiental do ambiente construído. Isto pode ser potenciado se um sistema de base biomi-

mética, que replica o funcionamento do grau de maturidade dos ecossistemas, for incluído nos parâmetros iniciais do projecto e usado como uma referência de avaliação em todo o seu processo.

O ciclo tecnológico, num contexto temporal, permite ao arquitecto aproximar-se do seu habitat original, a natureza.

BIBLIOGRAFIA

- Ábalos, I. e Herreros, J.** (2003). nature [advanced] [Technology and nature. Technonature]. In: Gausa, M. et al. *The metapolis dictionary of advanced architecture*. Barcelona, Actar, p. 449.
- Alexiou, K., Johnson, J. e Zamenopoulos, T.** (2010). *Embracing complexity in design*. Nova Iorque, Routledge.
- Doughty, M. e Hammond, G.** (2004). Sustainability and the Built Environment at and Beyond the City Scale. In: *Building and Environment*, 39, pp. 1223–1233.
- Gausa, M. et al.** (2003). *The metapolis dictionary of advanced architecture*. Barcelona, Actar.
- Greenberg, E. e Jeronimidis, G.** (2013). Variation and Distribution: Forest Patterns as a Model for Urban Morphologies. In: Castle, H. e Weinstock, M. *System City: Infrastructure and the space of flows*. Londres, John Wiley & Sons, pp. 24–31.
- Hensel, M.** (2012). *Design Innovation for the built environment – research by design and the renovation of practice*. New York, Routledge.
- Hensel, M., Menges, A. e Weinstock, M.** (2010). *Emergent technologies and design, towards a biological paradigm for architecture*. Nova Iorque, Routledge.
- Mazria, E.** (2003). It's the Architecture, Stupid! [Em linha]. Disponível em <http://www.mazria.com/ItsTheArchitectureStupid.pdf>.

Neutra, R. (1969). *Survival Through Design*. Nova Iorque, Oxford University Press.

Olguy, V. (1998). *Arquitectura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S.A.

Otto, F. (1971). *Biology and Building Part 1*. Stuttgart, University of Stuttgart.

Russell, P., Hertz, P. e McMillan, B. (2011). *Biology: The Dynamic Science*. Belmont USA, Brooks/Cole – Cengage Learning.

Verebes, T. (2014). *Masterplanning the adaptive city*. Nova Iorque, Routledge.

Vincent, J. (2012). How can biology inform architects? In: Hensel, M. (Ed.). *Design Innovation for the built environment – research by design and the renovation of practice*. Nova Iorque, Routledge, pp. 161–170.

Weinstock, M. (2010). *The architecture of emergence*. West Sussex, John Wiley and Sons, Ltd.

NOTAS

1. O título pode ser entendido como – sobrevivência pelo desenho – neste contexto como acto de projectar.
2. Projectar com o clima.
3. “A interacção entre biologia e desenho – especialmente na arquitectura – tem uma longa história. A maior parte do desenho foi decorativa e foi intitulada biomórfica ou zoomórfica. Essas formas podem ser extremamente atraentes, mas raramente conferem uma vantagem funcional.” (Vincent, 2012, p. 161). Tradução livre do autor.
4. “O esquema conceptual da arquitectura sempre deu um papel central às relações entre humanidade e natureza. O corpo humano tem sido uma fonte de proporções harmoniosas e as formas de muitos organismos vivos têm sido adaptadas para utilização pela arquitectura. O actual fascínio generalizado com a natureza é um reflexo da disponibilidade de novos modos de visualização das estruturas interiores de plantas e animais, de microscopia electrónica do complexo e muito pequeno, em conjunto com a matemática de processos biológicos.” (Hensel, *et al.*, 2010, p. 26). Tradução livre do autor.
5. “A célula é a organização de vida mais simples, mas todas as células vivas têm sistemas internos complexos separados em áreas funcionais semi-autónomas. Cada célula é fechada e separada do seu ambiente por uma membrana de superfície, e é capaz de se manter de forma dinâmica, através da troca de energia e matéria por essa mesma superfície. Cada célula tem também dentro de si o genoma, um conjunto de informações ou programa de construção precisa de descendentes idênticos a si mesma. A complexa arquitectura de formas de vida exige mais do que a simples coexistência de várias células em estreita proximidade, a organização espacial de muitas células tem de permitir as interacções de cada célula para com os seus vizinhos imediatos, e é a interacção que inicia os processos que produzem ordem hierárquica e complexidade morfológica.” (Weinstock, 2010, p. 95). Tradução livre do autor.
6. “Definitivamente, a natureza não existe. Nós digitalizámos recentemente o último metro do planeta e já o temos no nosso bolso artificializante. (...) Seria útil colocar em crise as ideias mais ingénuas que assumiram forma através do crescente interesse na natureza. Apenas um maior desenvolvimento tecnológico e atenção cultural crítica pode acabar com a dinâmica predatória que a tecnologia moderna tem desencadeado no território. Neste contexto, o trabalho do arquitecto deve explorar formas mais intensas de descrever a ideia contemporânea de natureza, entendendo-a como uma construção essencialmente cultural. Se preferirem, fabricar uma cosmogonia e dar-lhe forma física. Como um recurso de trabalho, a consciência ambiental é útil quando cruzamos com o seu aparente oposto: a artificialidade de uma experiência física real, como um tema para criar novos paradoxos e novas questões.” (Ábalos e Herreros, 2003, p. 449). Tradução livre do autor.

7. BIM sigla para Building Information Modeling, ou Model, que pode ser traduzido como modelo, ou modelação, de informação do edifício. Programas de arquitectura e engenharia que permitem gerar e gerir modelos digitais com as características reais do edifício antes de construído.
8. Encontrar a forma, sistema generativo de forma, a partir de dados, algoritmos e sistemas evolutivos.
9. "O projecto orientado organicamente poderia, esperamos, combater o carácter aleatório da envolvente. A Fisiologia deve direccionar e verificar o avanço técnico no ambiente construído. Esta nossa definição é onnipotente, compreende tudo o que foi feito para fornecer o homem, desde o armazém até à nossa escova de dentes, até à iluminação de um nó rodoviário, ou o infantário do bairro." (Neutra, 1969, p. 4) Tradução livre do autor.
10. "A arquitectura atravessa uma mudança sistémica, impulsionada pelas mudanças na cultura, ciência, indústria e comércio que estão rapidamente a esbater as antigas fronteiras entre o natural e o artificial." (Hensel *et al.*, 2010, p. 26) Tradução livre do autor.
11. Aqui entendida como pressão e tensão provocada pelo meio e pela competição entre espécies e indivíduos.
12. "Apesar de uma convicção latente e persistente na utopia, a cidade já não pode ser concebida ou mantida como uma construção ideal. As complexidades da mudança urbana devem ser facilitadas em vez de constringidas pelos mecanismos de projecto. Entendemos agora a cidade como complexa, dinâmica e inerentemente difícil de gerir e controlar. Com efeito, as cidades do século XXI irão beneficiar da integração da complexidade, em oposição à persistência da noção de que o planeamento evita o aparente caos do crescimento urbano não planeado. Como podemos, então, gerir a mudança e evolução ao mesmo tempo que investigamos as implicações do projecto na crescente resistência cultural, social, económica e ambiental das cidades e edifícios? As cidades podem resistir por grandes intervalos de tempo, mas como explica a história a sua fragilidade e imprevisibilidade? As cidades são entidades complexas que nunca estão totalmente estáveis, sempre num estado de fluxo, crescente, decadente, ou moribundo. O paradigma da cidade como uma máquina é cada vez mais afastado a favor das analogias biodinâmicas." (Verebes, 2014, p. 22) Tradução livre do autor.
13. "Com efeito, é um problema biológico... Não só a biologia se tornou indispensável para a construção, mas a construção para a biologia." (Otto, 1971, pp. 7-8) Tradução livre do autor.