

## **A natureza como mentora: design de edificações eficientes inspiradas nos mecanismos termo regulatórios do cupinzeiro**

### *Nature as a mentor: efficient building design inspired by termite-regulating mechanisms of termite mounds*

**Anna Clara Franzen De Nardin, Engenheira Civil, Universidade Federal de Santa Maria**

annadenardin@gmail.com

**Marcos Alberto Oss Vaghetti, Professor Doutor, Departamento de Estruturas, Universidade Federal de Santa Maria**

marcos.vaghetti@ufsm.br

#### **Resumo**

A biomimética é um ramo da ciência que usa a natureza como mentora. Através do método de pensamento biomimético pode-se encontrar inúmeras soluções naturais de termo regulação com o potencial de inspirar projetos arquitetônicos mais eficientes e que demandam um menor consumo energético, devido a diminuição da necessidade do uso de aparelhos de ar condicionado. Esta pesquisa tem como objetivo analisar as estratégias passivas de condicionamento térmico do cupinzeiro, o qual é um bem sucedido exemplo de estrutura natural que consegue promover conforto térmico de maneira passiva. Os resultados indicam que o direcionamento do vento, o uso de resfriamento evaporativo, a formação de correntes convectivas e a conexão entre os ambientes internos são importantes estratégias usadas pelos cupins para ventilação natural de seus ninhos, e que podem ser facilmente adaptadas para concepção de edificações mais dinâmicas, eficientes e sustentáveis.

**Palavras-chave:** Conforto Térmico; Biomimética; Ventilação Natural; Sustentabilidade; Arquitetura Passiva

#### **Abstract**

*Biomimicry is a branch of science that uses nature as a mentor. Through the method of biomimicry thinking one can find innumerable natural solutions of thermo regulation with the potential to inspire more efficient architectural projects that demand less energy consumption, due to the reduced need of air conditioning devices. This research aims to analyze the passive thermal conditioning strategies of the termite mound, which is a successful example of a natural structure that manages to passively promote thermal comfort. The results indicate that the direction of the wind, the use of evaporative cooling, the formation of convective currents and the connection between internal environments are important strategies used by termites for natural ventilation of their nests, and can be easily adapted for designing more dynamic, efficient and sustainable buildings.*

**Keywords:** *Thermal comfort; Biomimicry; Natural ventilation; Sustainability; Passive Architecture*

## 1. Introdução

Na grande maioria dos projetos de construção, a fachada é concebida como uma barreira: um plano vertical estático que tem como objetivo proteger o espaço interno da hostilidade do ambiente externo. Porém, esse isolamento do exterior por vezes torna a ocupação dos espaços desagradável, e resolver esse paradoxo é o que leva a inclusão de elementos de infraestrutura: janelas, ventiladores, ar-condicionado, aquecimento, etc, essencialmente para desfazer o que a construção das paredes fez em primeiro lugar (TURNER; SOAR, 2018, p.12).

Devido a isso, surge o questionamento de como se pode proteger as edificações das intempéries sem perder a conexão com o mundo externo, de uma forma mais inteligente e prática. A natureza já tem a resposta: os sistemas vivos resolvem esse paradoxo construindo paredes que não são barreiras, mas interfaces adaptativas que permitem e gerenciam os fluxos de matéria e energia através delas. Isso pode ser observado de forma clara na complexa e eficiente arquitetura construída pelos cupins para gerenciar seu espaço coletivamente construído.

A biomimética surge nesse contexto para contrapor a ideia de que cada elemento da edificação deva ser observado e projetado de forma isolada. Como um ramo da ciência que busca a observação dos mecanismos da natureza, a biomimética visa entender seus princípios de funcionamento e usá-los como inspiração para criação de tecnologias que solucionem problemas de projeto de forma sistêmica. De acordo com Fechey-Lippens e Bhiwapurkar (2017), a capacidade de se adaptar às condições externas é algo relativamente novo no campo da arquitetura, mas é um fenômeno tão antigo quanto a própria vida. Os organismos vivos são capazes de se adaptar as condições climáticas porque implementam meios fisiológicos, morfológicos e / ou comportamentais para termo regulação.

Os cupinzeiros são exemplos de estruturas naturais extremamente adaptáveis, que conseguem preservar a temperatura agradável em seu interior ao longo de diferentes estações, com o mínimo consumo de energia apenas por conta do seu bom projeto arquitetônico. A estrutura dos cupinzeiros de fluxo induzido age como um "pulmão", aproveitando a mudança de temperatura à medida que o dia se torna noite para impulsionar a ventilação. O entendimento desse processo pode inspirar novas soluções na arquitetura passiva, que procura eliminar a necessidade de sistemas ativos de aquecimento e refrigeração em edifícios, utilizando estratégias como ventilação natural e isolamento eficiente para promover conforto térmico.

As estratégias de adaptação são consideradas essenciais no design de envelopes capazes de mediar os agentes externos para se atingir o conforto térmico com menor consumo de energia. Esta pesquisa visa investigar os mecanismos termo regulatórios do cupinzeiro de fluxo induzido em busca de inspiração para concepção de construções adaptativas, que abordem o desafio do design sustentável e energeticamente eficiente, retomando os conceitos da arquitetura bioclimática. Através do uso do método de pensamento biomimético busca-se não mais perguntar “o que se quer projetar?”, mas sim

“o que se deseja que o design alcance?” Com o uso desse pensamento busca-se obter edifícios adaptáveis que não são simplesmente inspirados pela vida, mas que são, de certo modo, tão vivos quanto seus habitantes e a natureza ao seu redor.

## 2. Revisão Bibliográfica

De acordo com a definição da bióloga Janine Benyus, a biomimética (2016, p. 1-2, tradução da autora): “[...] é aprender a cultivar alimentos como uma pradaria, aderir como uma lagartixa, confiscar carbono como um molusco, criar cores como um pavão e administrar um negócio como uma floresta de sequoias”. Segundo ela, após 3,8 bilhões de anos de evolução a natureza sabe o que funciona, o que é mais apropriado e o que perdura, criando oportunidades em vez de desperdício. De acordo com esse método de pensamento, a natureza já resolveu muitos dos problemas com os quais estamos lidando, inclusive os que envolvem conforto térmico e eficiência energética. Por isso, faz sentido que se utilize a biomimética como processo metodológico na arquitetura para elaboração de projetos energeticamente mais eficientes e que resgatem conceitos da arquitetura bioclimática.

A arquitetura bioclimática é aquela que usa elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas para se adequar ao clima e aos condicionantes naturais, e que começou a ser deixada de lado a partir da revolução industrial. Nessa época, de acordo com Lima (2010), se deu início às chamadas “soluções arquitetônicas internacionalizadas”: soluções generalizadas para poderem ser aplicadas em diferentes tipos de edifícios em diversas partes do mundo. “Uma mesma tipologia de projeto [...] é adotada em cidades com características muito distintas, sendo desconsiderada a grande diversidade [...] entre as diferentes regiões do Brasil” (ROTTA, 2009, p. 21). Deixando-se de levar em conta as características climáticas do local de implantação começou-se a buscar alternativas artificiais para resfriamento e aquecimento de ambientes para se conseguir atingir um nível satisfatório de conforto, requerendo um alto consumo energético.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2018), no mundo, o consumo energético para climatização em edifícios cresce mais rápido que qualquer outro uso final, mais que triplicando entre 1990 e 2016, sendo que o Brasil se apresenta como um dos países com maior perspectiva de crescimento da demanda energética para conforto térmico e com uma das maiores contribuições ao crescimento da demanda elétrica mundial. Estima-se que o estoque global de condicionadores de ar em edifícios crescerá para 5,6 bilhões até 2050, o que equivale a 10 novos aparelhos de ar condicionado vendidos a cada segundo pelos próximos 30 anos. Fica claro que é necessário se pensar em soluções para minimizar a demanda energética requerida por condicionadores de ar em edificações, e nesse sentido não há melhores soluções do que aquelas encontradas na natureza.

Estudos recentes estão sendo conduzidos no exterior a respeito do uso da biomimética como método de projeto para fachadas, a exemplo das pesquisas de López et al. (2015), em que são investigados diferentes tipos de materiais ativos como resultado da aplicação de princípios biomiméticos de plantas na arquitetura, e Fecheyrlippens e Bhiwapurkar (2017), em que um projeto de fachada biomimética é proposto inspirado pelas estratégias adaptativas do sapo africano e do besouro Hércules. Apesar de ter o potencial de transformar grandes fatias da economia (Segundo dados do Fermanian Business & Economic Institute, até 2030 a bioinspiração poderia gerar US \$ 1,6 trilhão do

produto interno bruto global), a biomimética ainda é uma ciência pouco discutida e implementada no mercado construtivo brasileiro, sendo necessárias novas pesquisas que fomentem o incentivo nessa área. Além disso, embora o controle térmico dos cupinzeiros tenha sido alvo de várias pesquisas no campo da biologia, esses estudos carecem da perspectiva arquitetônica necessária para se descobrir os princípios específicos de termo regulação possíveis de servirem como inspiração para construções mais eficientes e sustentáveis.

### 3. Metodologia

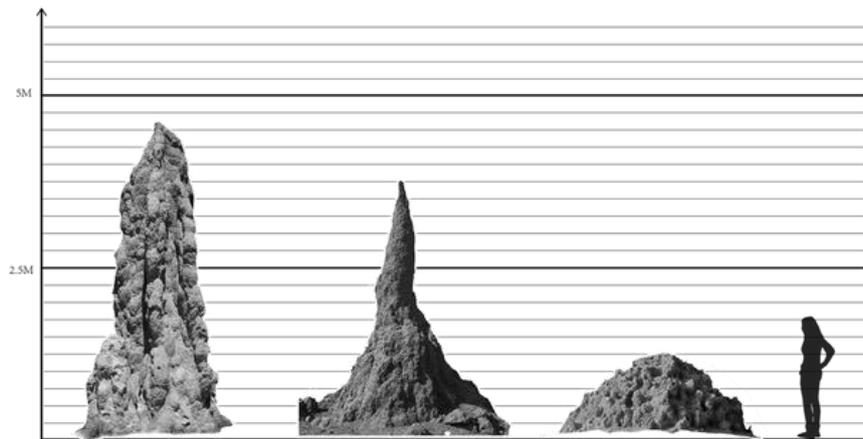
O processo de pesquisa será baseado no Método de Pensamento Biomimético (Biomimicry Thinking), que auxilia a delinear um caminho metodológico para se encontrar soluções de projeto inspiradas na natureza com maior rapidez, eficácia e probabilidade de sucesso. O processo adotado será dividido em quatro fases principais: primeiramente foi realizada a fase de escopo, em que se define o contexto e a problemática da pesquisa, através da revisão bibliográfica sobre biomimética, sustentabilidade e conforto térmico em fachadas. Num segundo momento, será feita a etapa de descoberta, em que se observa o modelo natural escolhido, no caso o cupinzeiro, e se identifica as estratégias biológicas relevantes para aplicação potencial em fachadas. Após, será realizada a etapa de criação, em que se define e se enquadra as estratégias naturais de termo regulação na geração de conceitos para fachadas visando a melhoria do conforto térmico. Por fim, se procede com a etapa de avaliação, em que se elaboram algumas conclusões a cerca da eficiência das soluções encontradas.

### 4. Resultados

#### 4.1 Termo regulação no cupinzeiro

A natureza possui estratégias únicas que lhe permite se adaptar às mudanças ambientais através da termo regulação. Segundo Kadri (2012), a termo regulação é a ação de manter os níveis de temperatura interna de um organismo dentro de certos limites (equilíbrio entre ganhos e perdas de calor), apesar das mudanças de temperatura no ambiente circundante. Os organismos fazem isso através da condução, convecção, radiação ou evaporação. Esses processos são realizados por organismos e / ou empregados em suas estruturas para obter, reter, dissipar ou impedir o calor (BADARNAH, 2017).

Os ninhos de algumas espécies de cupins podem ter de 3 a 4 metros de altura e abrigar cerca de dois milhões de cupins que vivem, trabalham e respiram dentro dessa estrutura (Figura 1). Por isso, os cupins precisam construir seus montes de modo que a temperatura, a umidade e os níveis de dióxido de carbono sejam controláveis. Isso é alcançado principalmente pelas características passivas da arquitetura do ninho e da sua ventilação natural, que cumpre duas funções principais: fazer a troca gasosa e a troca térmica entre o interior e exterior da estrutura (ABAEIAN; MADANI; BAHRAMIAN, 2017).



**Figura 1: Tamanho de diferentes tipos de cupinzeiro em escala humana. Fonte: Xue (2018).**

O processo de ventilação natural dos cupinzeiros de fluxo induzido é realizado através de quatro etapas: sucção do ar fresco do exterior, realização de resfriamento evaporativo, passagem de ar pelos espaços internos e exaustão do calor pela chaminé. Cada uma dessas etapas é explicada de forma detalhada nos itens a seguir:

#### **4.1.1 Trazer o ar fresco do exterior para o interior da estrutura**

A entrada de ar fresco no cupinzeiro é amplamente facilitada pela presença de pequenos poros nas suas paredes, que criam um fluxo de ar através da diferença de pressão. Conforme o princípio de Bernoulli, uma diminuição na área da seção transversal de um tubo resulta em um aumento da velocidade média do fluido e uma diminuição da pressão. Nos cupinzeiros, esse efeito é usado nos diversos canais que compõem a estrutura para facilitar o fluxo de ar. O ar fresco rico em oxigênio passa primeiramente pela parte subterrânea da estrutura, que se encontra em temperaturas mais amenas, e ajuda a resfriar o ar que entra no caso da temperatura exterior ser muito alta. O processo de captação de ar pelo princípio de Bernoulli é reforçado pelo aumento da diferença de altura entre os pontos de entrada e saída de ar. Isso é interessante, pois se sabe que a velocidade do vento normalmente aumenta com a altura. O mesmo efeito também pode ser usado propositalmente e com muito mais eficiência em arranha-céus, pois enquanto os cupinzeiros raramente atingem mais de 2-3 metros, os arranha-céus atingem alturas muito maiores (ABAEIAN; MADANI; BAHRAMIAN, 2017).

#### **4.1.2 Realização de resfriamento evaporativo**

Em épocas de calor extremo, os cupins movem os solos umedecidos pela proximidade de águas subterrâneas até a boca das entradas de ar, criando um resfriamento evaporativo de maneira que as flutuações de temperatura dentro de seus ninhos nunca excedem 1 °C. Assim, o contato do fluxo de ar com a umidade nos canais subterrâneos esfria e umedece o ar que perpassa todo o ninho.

### 4.1.3 Passagem de ar pelos espaços interiores

Quando o ar flui para o monte, a interconexão de seus canais permite que o fluxo de ar circule por toda sua extensão. Em termos de morfologia e tamanho, os canais dentro do cupinzeiro podem geralmente ser categorizados em três redes: a rede de túneis de grande diâmetro que estão em torno do ninho principal e são conectados a ele através de uma série de subcanais, a rede de túneis superiores que conectam a seção inferior à chaminé superior e a rede de túneis superficiais ao redor do monte, que estão conectados a ambas as redes mencionadas.

### 4.1.4 Exaustão do calor pela chaminé

A diferença de temperatura no interior do cupinzeiro é a razão por trás das variações da densidade do ar que aumentam a transferência de calor natural na estrutura. Em um cupinzeiro de fluxo induzido típico, há grandes chaminés verticais que sobem até a abertura na parte superior da estrutura e criam uma pressão negativa na boca desses eixos. Com a ação do vento, que causa uma diferença de pressão entre a superfície do monte e o topo, uma força de sucção é induzida e ocorre o fluxo de ar ascendente em direção à chaminé. Como resultado, o fluxo de Venturi induz ar fresco no monte, que atravessa o ninho e retira o calor por essa abertura superior. Resumidamente, nas estruturas subterrâneas predomina o processo de convecção natural, e nas partes superiores e espaços aéreos periféricos do monte predomina a convecção forçada movida pelo vento. Esse processo como um todo é resumido de forma esquemática na Figura 2:

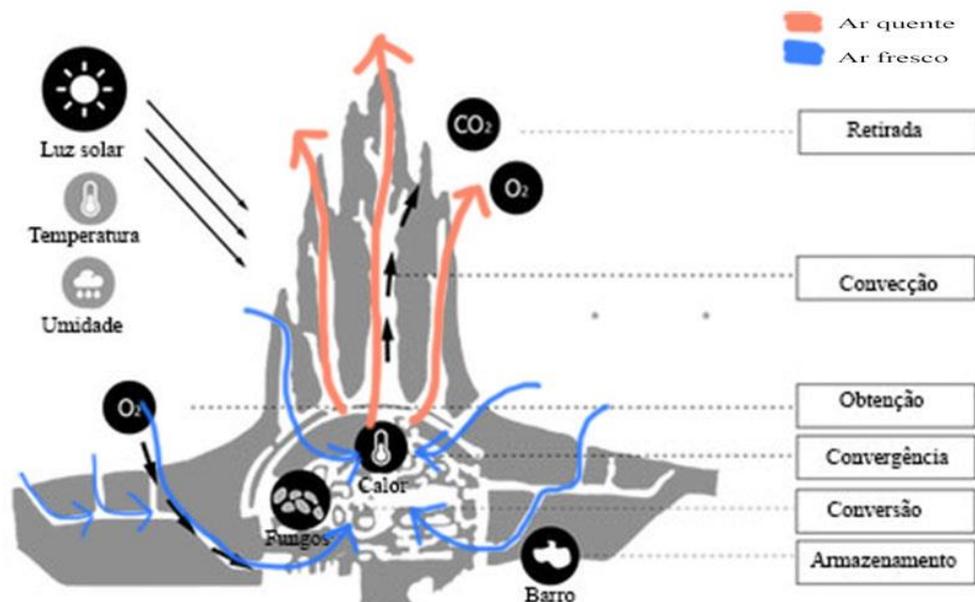


Figura 2: Princípios termo regulatórios de um cupinzeiro de fluxo induzido. Fonte: Traduzido e adaptado de Xue (2018).

## 4.2 Design Bioinspirado

Após o entendimento de como ocorre o mecanismo termo regulatório dos cupinzeiros de fluxo induzido, buscou-se esquematizar cada etapa desse processo de forma gráfica para facilitar sua visualização e a inserção dos seus princípios de funcionamento na criação de soluções arquitetônicas bioinspiradas. Para isso, se elaborou um resumo esquemático que pode ser observado na Figura 3:

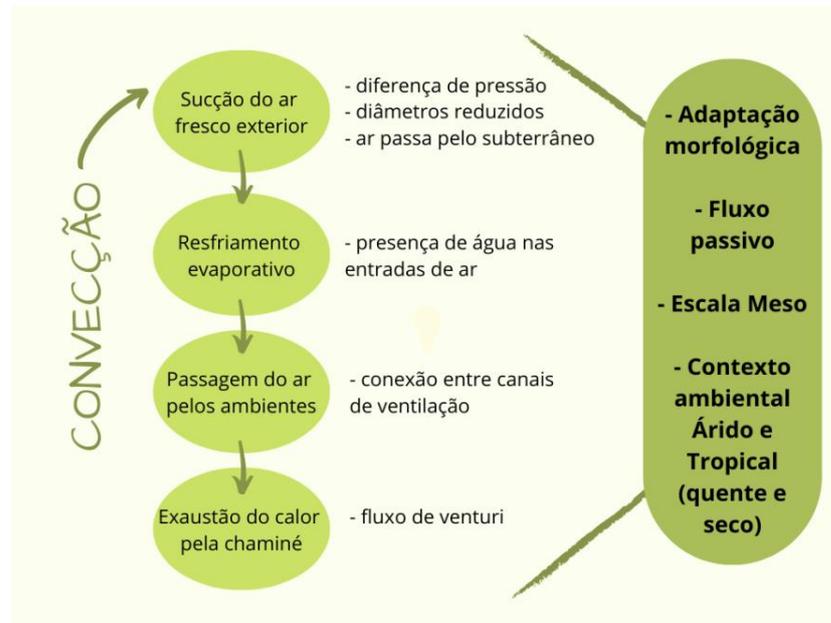


Figura 3: O processo termoregulatório do cupinzeiro de fluxo induzido. Fonte: A autora (2020).

Através da compreensão dessas estratégias, pôde-se observar algumas semelhanças entre as funções dos elementos construtivos do cupinzeiro e das envoltórias de edifícios, conforme Figura 4:



Figura 4: Semelhanças funcionais entre a estrutura do cupinzeiro e a fachada de uma edificação. Fonte: A autora (2020).

Através dessas semelhanças e a partir do entendimento dos mecanismos encontrados no cupinzeiro para ventilação natural e termo regulação, chegou-se a algumas soluções que fazem uso dessas estratégias, possíveis de serem implementadas no contexto da construção civil, sendo citadas a seguir:

- O melhor aproveitamento da ventilação natural pode ser obtido através do correto posicionamento das aberturas do edifício. Sabe-se que o vento traz pressão de ar positiva no lado de barlavento e pressão de ar negativa no lado de sotavento. Através da exploração do correto posicionamento das aberturas pode-se utilizar a

diferença de pressão para promover a ventilação natural e promover a retirada de calor, sendo esse fluxo ainda melhor aproveitado se as aberturas forem dispostas de modo que o ar seja captado em nível baixo e ventilado para o ponto mais alto do ambiente, otimizando a ventilação;

- O uso da forma e relevo da fachada para redirecionar ou guiar o ar para dentro dos edifícios, otimizando as taxas de fluxo de ar interno através do aumento ou diminuição do diferencial de pressão entre as entradas e saídas de ar. As “wing walls” ou os brises são exemplos de estruturas que atuam como os canais do cupinzeiro, que efetivamente “coletam” ventos distorcidos e os projetam para dentro do ambiente;
- Utilização de torres chaminé e aberturas nos pontos mais altos do telhado para favorecer a saída de calor da edificação através das correntes convectivas. Além disso, as aberturas superiores reduzem o calor irradiado do teto às partes internas da construção;
- O efeito de arrefecimento é potencializado se o ar fresco for conduzido primeiramente através de dutos subterrâneos existentes debaixo ou ao lado do prédio, permitindo com que o calor seja dissipado antes de entrar no edifício através da inércia térmica do subsolo;
- Uso de torres de resfriamento ou presença de fontes de água próximas das aberturas, para fornecer ar refrigerado e úmido para os espaços através do resfriamento evaporativo;
- Priorizar a concepção de edificações estreitas e altas, devido à dificuldade de se distribuir ar fresco a todas as partes de um edifício muito amplo usando apenas a ventilação natural. A largura máxima de uma edificação que se poderia esperar ventilar naturalmente é estimada em aproximadamente 14 metros (WALKER, 2016).
- Além da consideração do fluxo de ar entre o exterior e o interior do edifício, o fluxo de ar entre os ambientes internos também é importante. Quando possível, os ambientes devem ser conectados para incentivar a ventilação, seja através de espaços abertos ou da utilização de dutos de ventilação.

## 5. Considerações Finais

Como este artigo demonstrou, o mecanismo de ventilação no cupinzeiro é constituído por diversas etapas. No processo de ventilação, primeiramente a diferença de pressão nas partes superior e inferior da estrutura atrai o ar fresco para o monte. Em dias quentes, o ar fresco é resfriado pelas águas subterrâneas e depois passa através dos canais estendidos por toda a estrutura. Finalmente, o ar viciado é exaurido pela força de sucção criada pela torre chaminé devido à diferença de temperatura.

Esse processo, apesar de simples, é muito eficiente. Provou-se que os princípios termo regulatórios do cupinzeiro de fluxo induzido podem oferecer vastas possibilidades de incorporação na concepção de edifícios mais confortáveis termicamente e com um menor gasto energético. Isso ocorre porque o cupinzeiro é por si só um organismo vivo, sustentado por um processo contínuo de construção que reflete os aspectos fisiológicos dos inúmeros agentes que o constroem e mantêm. Esse exemplo expande a ideia de que o projeto de uma edificação pode ir além da mera inspiração nas formas estéticas naturais, projetando-se edifícios que não imitam simplesmente a vida, mas são elas mesmas estruturas "vivas".

Como já dizia um dos maiores inventores da história, Leonardo Da Vinci: “Se você não acredita nas bases sólidas da natureza, você trabalhará com pouca honra e menos lucro. Aqueles que têm como referência qualquer coisa que não seja a natureza – a senhora de todos os mestres – se cansam em vão.”

## Referências

ABAEIAN, Hamid; MADANI, Ramin; BAHRAMIAN, Armin. Ventilation in Termite Mound: New Solution for Follow in Architecture. **International Journal Of Scientific Engineering And Technology**, [s.l.], v. 6, n. 7, p.250-254, 2017. Diva Enterprises Private Limited. <http://dx.doi.org/10.5958/2277-1581.2017.00031.6>.

ADDINGTON, M., SCHODEK, D. **Smart Materials and New Technologies**. Oxford: Architectural Press, 2005.

BADARNAH, Lidia. Form Follows Environment: Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation. **Buildings**, [s.l.], v. 7, n. 4, p.40-56, 12 maio 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings7020040>.

BENYUS, Janine. **A Biomimicry Primer**. 2016. Disponível em: <[https://biomimicry.net/b38files/A\\_Biomimicry\\_Primer\\_Janine\\_Benyus.pdf](https://biomimicry.net/b38files/A_Biomimicry_Primer_Janine_Benyus.pdf)>. Acesso em: 02 novembro 2019.

CAIRNS REGIONAL COUNCIL (Cairns). **Sustainable Tropical Building Design: Guidelines for Commercial Buildings**. Cairns, 2011. 48 p.

FECHEYR-LIPPENS, Daphne.; BHIWAPURKAR, Pravin. **Applying biomimicry to design building envelopes that lower energy consumption in a hot-humid climate**. **Architectural Science Review**, [s.l.], v. 60, n. 5, p.360-370, 22 ago. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2017.1359145>.

FERMANIAN BUSINESS & ECONOMIC INSTITUTE, San Diego Zoo Global. **BIOINSPIRATION: An Economic Progress Report**. San Diego: Point Loma Nazarene University, 2013. 45 p.

IEA [International Energy Agency]. **The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning**. OECD/IEA: Paris, 2018.

KADRI, Lidia Badarnah. **Towards the LIVING envelope: Biomimetics for building envelope adaptation.** 2012. 225 p. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Technische Universiteit Delft, Israel, 2012.

LIMA, R. G. **A influência do sombreamento e da absorvância da envoltória no desempenho termoenergético de edifícios na cidade de Maceió – AL.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2010.

LÓPEZ, Marlén et al. **Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles.** *Journal Of Facade Design And Engineering*, [s.l.], v. 3, n. 1, p.27-38, 23 maio 2015. IOS Press. <http://dx.doi.org/10.3233/fde-150026>.

OCKO, Samuel A. et al. Solar-powered ventilation of African termite mounds. *The Journal Of Experimental Biology*, [s.l.], v. 220, n. 18, p.3260-3269, 15 set. 2017. The Company of Biologists. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.160895>.

ROTTA, R. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria –RS.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

TURNER, J Scott; SOAR, Rupert C. Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. **First International Conference On Industrialized, Intelligent Construction (i3con)**, maio 2018

WALKER, Andy. **Natural Ventilation.** 2016. National Renewable Energy Laboratory. Disponível em: <<http://www.wbdg.org/resources/natural-ventilation>>. Acesso em: 06 jan. 2020.

XUE, Yujin. **From termite mound to architecture.** 2018. Disponível em: <<http://www.xueyujin.com/breathing-museum.html>>. Acesso em: 22 dez. 2019.