

Contribuições da fachada cinética com tecnologia responsiva para qualidade do ambiente construído

Contribuciones de fachada cinética con tecnología receptiva a la calidad del entorno construido

Sessão Temática: ST04. Ambiente construído, tecnologia e sustentabilidade

MUZI, Isabel de Oliveira Nogueira; Arquiteta e Urbanista; Discente do Mestrado Acadêmico do PROARQ/UFRJ - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro

isabel.muzi.arq@gmail.com

ROLA, Sylvia Meimaridou; D.Sc, Arquiteta e Urbanista; Docente DTC e PROARQ/ UFRJ - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro

sylviarola@fau.ufrj.br

BRASIL, Paula de Castro; D.Sc, Arquiteta e Urbanista; Docente UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro e UNILASALLE-RJ - Centro Universitário La Salle do Rio de Janeiro

paula.brasil@lasalle.org

Resumo

A arquitetura tem incorporado novas soluções tecnológicas integradas às fachadas, permitindo a exploração de novas linguagens, conceitos e funções, em detrimento do conforto humano e da eficiência energética. A fachada cinética com tecnologia responsiva (FCTR) é o aprimoramento da envoltória objetivando atender eficazmente as necessidades do usuário e da edificação. O objetivo do presente trabalho é gerar uma reflexão a respeito deste conceito, tendo como foco a qualidade do ambiente construído através da cinemática das fachadas. O método aplicado foi uma busca estruturada utilizando os termos indutores: “fachada cinética”, “fachada cinética com tecnologia responsiva”, “fachada adaptativa” e “fachada responsiva”. Segundo a literatura, as FCTRs são capazes de otimizar os processos que englobam as condicionantes climáticas, aliando a estética à funcionalidade, sendo capazes de manter o ambiente construído equilibrado, concentrado no conforto humano, sendo uma alternativa viável para uma edificação de baixo consumo energético com alta qualidade ambiental.

Palavras-chave: ambiente construído, conforto humano e fachada cinética com tecnologia responsiva.

Abstract

The architecture has incorporated new technological solutions integrated into the facades, allowing the exploration of new languages, concepts, and functions, to the detriment of human comfort and energy efficiency. The Kinetic Facade with Responsive Technology (FCTR) is the improvement of the envelope to effectively meet the needs of the user and the building. The objective of the present work is to generate a reflection about this concept, focusing on the quality of the built environment through the kinematics of the facades. The applied method was a structured search using the inducing terms: “kinetic facade”, kinetic facade with responsive technology”, “adaptive facade” and “responsive facade”. According to the literature, FCTRs can optimize the processes that encompass climatic conditions, combining aesthetics with functionality, being able to keep the built environment balanced, focused on human comfort, being a viable alternative for a low-energy building with high environmental quality.

Keywords: kinetic façade with responsive technology, kinetic façade, human comfort.

1. Introdução

Sabe-se que a história da arquitetura é a história da interação humana com os elementos naturais, onde a interface com o sol e o meio ambiente demonstra o valor social inerente a cada momento histórico, revela o estágio de desenvolvimento tecnológico e os ideais dos antepassados (BOUBEKRI, 2008, p. 88, tradução). Sendo assim, as fachadas surgiram ao longo da história com várias tipologias distintas, cada uma com seu próprio nicho ambiental, contexto cultural, virtudes e vícios, histórias e narrativas em evolução dinâmica, tornando-se o elemento mais investido de sentido político e cultural da arquitetura (ZAERA-POLO; TRÜBY; KOOLHAAS, 2014, tradução).

As fachadas representam um dos pontos críticos no projeto arquitetônico. Um projeto adequado, pode se traduzir em economia significativa de energia e melhoria do conforto do ocupante (ACOSTA; LESLIE; FIGUEIRO, 2017, tradução). No entanto, se não forem devidamente concebidas, podem gerar um impacto negativo, como elevar os níveis de radiação solar, levando ao desconforto térmico e visual (CALAMA-GONZÁLEZ; LEÓN-RODRÍGUEZ; SUÁREZ, 2019, tradução). Em muitos casos, são elevações erguidas apenas com aberturas necessárias para resolver as necessidades básicas de iluminação (LOONEN et al., 2013, tradução).

Edifícios contemporâneos apresentam, em sua maioria, fachadas envidraçadas que são predominantemente herméticas, isolando o interior das condicionantes bioclimáticas do entorno e, desta forma, isolando o usuário do mundo natural. Loonen et al (2013, tradução) afirmam que os invólucros de construções convencionais têm propriedades estáticas e nenhuma capacidade de se comportar em resposta a essas mudanças externas.

A consequência inconveniente é a instalação de consideráveis sistemas mecânicos e elétricos de aquecimento, ventilação, ar-condicionado e iluminação artificial, de forma a satisfazer os

requisitos de conforto, em detrimento do consumo de energia e da utilização de outros recursos naturais. O emprego dos sistemas que permitem controle do clima interno de uma edificação para possibilitar o conforto de seus ocupantes, elevam, consideravelmente, o consumo de energia, como também a emissão de dióxido de carbono (CO₂), além de acrescer o custo operacional de uma edificação.

O dimensionamento e distribuição das aberturas nas fachadas, dos elementos de sombreamento e a escolha dos materiais devem ser bem planejados, de modo a captar quantidade de luz diurna suficiente para auxiliar no desempenho das atividades desenvolvidas nos ambientes internos e evitar a má distribuição luminosa, ofuscamentos e excessivos contrastes (SILVA et al., 2019).

O projeto arquitetônico, focado em gerar ambientes com valores humanísticos, deve incorporar os recursos naturais e bioclimáticos (TOLEDO, 2020). Tais diretrizes projetuais devem contemplar o desenho do espaço com elementos funcionais e estéticos, materiais de acabamento, tratamento paisagístico, emprego de cores nos ambientes, iluminação elétrica e principalmente a utilização de recursos como a luz do dia e a ventilação natural, pois são fundamentais para a humanização do espaço (BITENCOURT, 2014).

Uma edificação pode afetar os resultados relacionados à saúde negativamente, acarretando ou agravando enfermidades para seus ocupantes. Segundo Boubekri (2008, tradução), a Síndrome do Edifício Doente é uma expressão definida pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que pode ocorrer tanto em edificações não residenciais e residenciais. É um termo usado para descrever situações em que os ocupantes do prédio experimentam desconforto e até mesmo problemas de saúde agudos que parecem estar relacionados ao tempo gasto no espaço construído, mesmo quando nenhuma doença ou causa específica pode ser identificada.

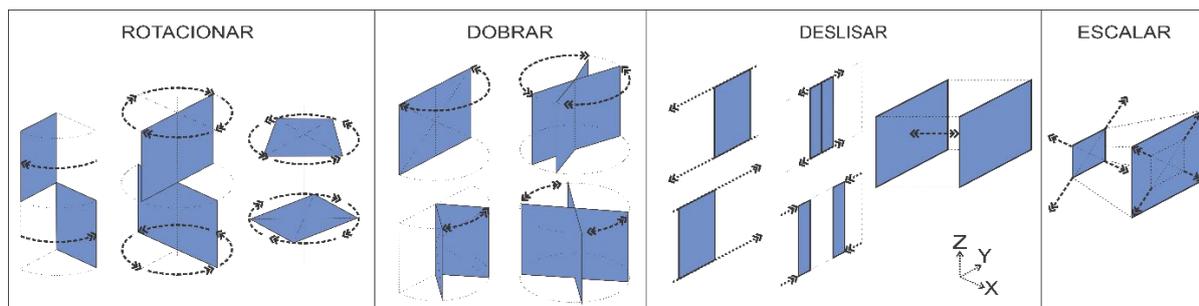
O objetivo do presente trabalho é gerar uma reflexão a respeito das fachadas cinéticas com tecnologia responsiva, tendo como foco a qualidade do ambiente construído. Assim, foi feita uma revisão bibliográfica que aborda o respectivo conceito, considerando marcos na história da arquitetura e como os elementos cinéticos podem contribuir para o ambiente construído.

O método aplicado foi uma busca estruturada nas bases de dados *SCOPUS* e *GOOGLE SCOLAR* cujos termos indutores nas línguas portuguesa e inglesa para as buscas foram: “fachada cinética”, fachada cinética com tecnologia responsiva”, “fachada adaptativa” e “fachada responsiva”.

2. Evolução dos conceitos de fachadas cinéticas

As fachadas cinéticas são definidas como sistemas mecânicos complexos, nos quais um determinado tipo de movimento como deslocar, deslizar, expandir, dobrar ou escalar (Figura 1), garantem geometrias variáveis e mobilidade do sistema (TABADKANI et al., 2020, tradução).

Figura 1 – Exemplos de movimentos de elementos cinéticos



Fonte: Autoras (2022)

O conceito de fachada cinética deve ser traduzido como fachadas que se movem ou elementos de fachadas formadas por elementos que se movimentam.

Na arquitetura bioclimática e vernacular podem ser identificadas fachadas cinéticas, que proporcionam o controle da luz do dia, radiação solar e ventilação, além de propiciarem privacidade e segurança. Neste contexto, estão os muxarabis e as venezianas em madeira, amplamente construídas na arquitetura colonial brasileira.

A exemplo, tem-se a Casa da Chica da Silva, atual Escritório Técnico do IPHAN, em Diamantina/MG, que possui uma varanda lateral inteiramente composta por painéis treliçados, almofadados e com balaústres, demonstrando a influência mourisca na arquitetura brasileira do século XVIII (Figura 2). Outro exemplar é a porta de correr “shoji” (Figura 3), pertencente à arquitetura vernacular japonesa, composta por telas translúcidas combinadas com pesados painéis de madeira que deslizam. Segundo Hosseini et al. (2019, tradução), permitem alta flexibilidade nas funções do espaço construído, pois aumentam a sensação de amplitude e proporcionam a luz do dia em qualquer ambiente.

Figura 2 -Casa da Chica da Silva - Escritório Técnico
Iphan em Diamantina / MG



Fonte: Acervo Iphan Disponível em:
<<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1278>>Acesso
em:14.jul.2021)

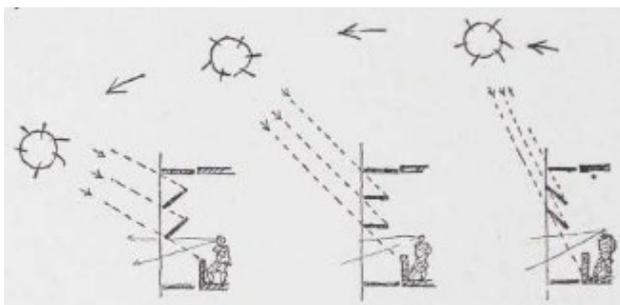
Figura 3 - Exemplar da porta de correr “shoji”



Fonte: Conhecer (1973, p. 1796)

Com o modernismo, o *Brise Soleil* surge como um elemento de quebra-luzes móveis (Figura 4), e sua aplicação pode ser vista no edifício Gustavo Capanema (Figura 5), antigo Ministério da Educação e Saúde do Governo Vargas no Rio de Janeiro - 1936, projetado por Lúcio Costa, Oscar Niemeyer e Afonso Heidy (GOODWIN, 1943).

Figura 4 - Quebra-luzes móveis - Le Corbusier 1933



Fonte: Goodwin (1943, p. 85)

Figura 5 - Edifício Gustavo Capanema - 1936



Fonte: Disponível em: <www.archdaily.com.br>
Acesso em: 14 jul. 2021

Com a adaptação dos elementos de proteção estáticos para móveis, a fachada deixou de ser estática (convencional) para tornar-se um elemento cinético e responsivo. Conforme descrito no Dicionário Oxford (2021), o adjetivo 'responsivo' é aplicado para algo que reage de forma rápida e positiva. No caso da fachada, este termo é frequentemente usado para definir sua capacidade de interagir e adaptar os sistemas (naturais ou artificiais) às necessidades das pessoas (HOSSEINI et al., 2019; TABADKANI et al., 2021a, tradução).

Conseqüentemente, uma superfície de uma edificação, que se movimenta ajustando-se de forma eficaz em resposta às condições climáticas externas, com o intuito de garantir a qualidade do ambiente construído, é admitida como uma fachada cinética responsiva (FCR).

Segundo Zaera-Polo; Trüby; Koolhaas (2014, tradução), surgidas na década de 1930, as fachadas cinéticas foram ganhando pequenos motores nas residências norte americanas, mecanizando janelas e portas de garagem.

Para Queiroz (2018), a utilização da energia elétrica na fachada, proporcionou uma abordagem de inovação, baseada na tecnologia. Sendo assim, a incorporação da energia elétrica e sistemas inteligentes, é possível conseguir um controle automático do sistema.

O principal objetivo de um sistema de controle automático de uma fachada cinética é o de gerenciar as variáveis do sistema como: temperatura, pressão, força, deslocamento, fazendo com que se cumpra um valor de referência desejado (BEDON et al., 2019, tradução). Desta forma, a incorporação da automação no sistema cinético das fachadas tornou-as mais resilientes e adaptativas.

O projeto baseado no desempenho de uma edificação, que permite a integração dos processos computacionais e dispositivos mecânicos no mesmo sistema, tem como resultado a Arquitetura com Tecnologia Responsiva (MUZI, 2020).

Segundo Pinto et al. (2015) e Vaz et al. (2016), inúmeros projetistas aplicam princípios de automação com o objetivo de criar edifícios que respondam a diferentes estímulos ambientais. Para eles, este conceito tem origem no trabalho de Negroponte (1975, tradução), que descreve a arquitetura responsiva como sendo o produto natural da integração da computação com a arquitetura, para a produção de espaços ou estruturas otimizadas.

Quando uma fachada adapta o seu comportamento, em resposta às mudanças das condições ambientais, e melhoram os requisitos de desempenho da edificação, tornam-se fachadas responsivas (MOLONEY, 2011, tradução).

Com a integração da automação na superfície cinética de uma edificação, para responder de forma responsiva e adaptativa às condições climáticas externas, melhorando seu desempenho e atendendo aos requisitos dos ocupantes, será considerado neste estudo como Fachada Cinética com Tecnologia Responsiva (FCTR).

3. Fachada Cinética com Tecnologia Responsiva

Moloney (2011, tradução), Sharaidin (2014, tradução), Hosseini et al. (2019, tradução) e Tabadkani et al.(2021a, tradução), definem fachadas cinéticas inteligentes, responsivas ou adaptativas como aquelas que têm a capacidade de se adaptar às condições do ambiente, graças a um sistema que integra dados sobre a performance do edifício. Trata-se de uma modelagem ou avaliação de desempenho integrada aos sistemas de controle permanentes para corrigir e adequar o ambiente construído ao clima e uso.

A Fachada Cinética com Tecnologia Responsiva (FCTR) é composta por elementos de proteção cinéticos, que estão integrados à sistemas automatizados. Este tipo de fachada tem como objetivo fim responder às variações ambientais externas e internas, com o intuito de garantir o conforto ambiental dos ocupantes e eficiência energética para a edificação. Segundo Tabadkani et al. (2019, tradução), as FCTRs apresentam um potencial de economia de energia que resulta em muitas aplicações capazes de se adaptarem às mudanças na variabilidade climática (diária, sazonal ou anual).

A implantação das FCTRs deve ser definida no início do processo de projeto tendo como objetivo a definição da direção dos elementos cinéticos, a modulação, a morfologia e o mecanismo da cinemática das fachadas. Como as funções são baseadas no desempenho, a sua adaptabilidade permite potencialmente empregar inovações (por exemplo, configurações diferentes), mudanças com base nas necessidades dos usuários (TABADKANI et al., 2019, tradução), além de novos mecanismos.

Segundo Hosseini et al. (2019, tradução), os mecanismos dizem respeito à cinemática e a tecnologia, com o objetivo de criar movimentos que são derivados do controle intrínseco (geometria e propriedades dos materiais) e do controle extrínseco (sensores e atuadores). Deste modo, o mecanismo inovador FCTR é realizado por uma combinação de morfologia e sistema de controle.

A adaptabilidade da fachada pode ser obtida também através da utilização de materiais convencionais da construção civil com aplicações inusitadas (BEDON et al., 2019, tradução). Como exemplo, HOSSEINI et al.(2020, tradução) exploraram a possibilidade de acoplar em uma FCTR vidros coloridos, encontrados na arquitetura vernacular islâmica, para melhorar o desempenho à luz solar e sua contribuição com o desempenho da edificação.

Também é possível empregar materiais inovadores e não convencionais que podem ter inspiração biológica (BEDON et al., 2019, tradução; TABADKANI et al., 2021b, tradução). Materiais responsivos a estímulos são aplicáveis como sensores e atuadores para ler os sinais de entrada, como calor, tensão, umidade ou luz e reagir física ou quimicamente devido às suas propriedades intrínsecas.

Para uma FCTR ser viabilizada, devem-se averiguar os requisitos fundamentais relacionados com a segurança, facilidade de manutenção, durabilidade, robustez, desempenho sob o fogo, entre outros. Esse sistema inteligente também deve atender aos requisitos necessários para a concepção da estrutura. As fachadas adaptativas podem ser favoráveis sobre o comportamento estrutural do edifício. Inclusive, a estrutura de suporte de carga da própria fachada pode também consistir em uma estrutura adaptável (BEDON et al., 2019, tradução).

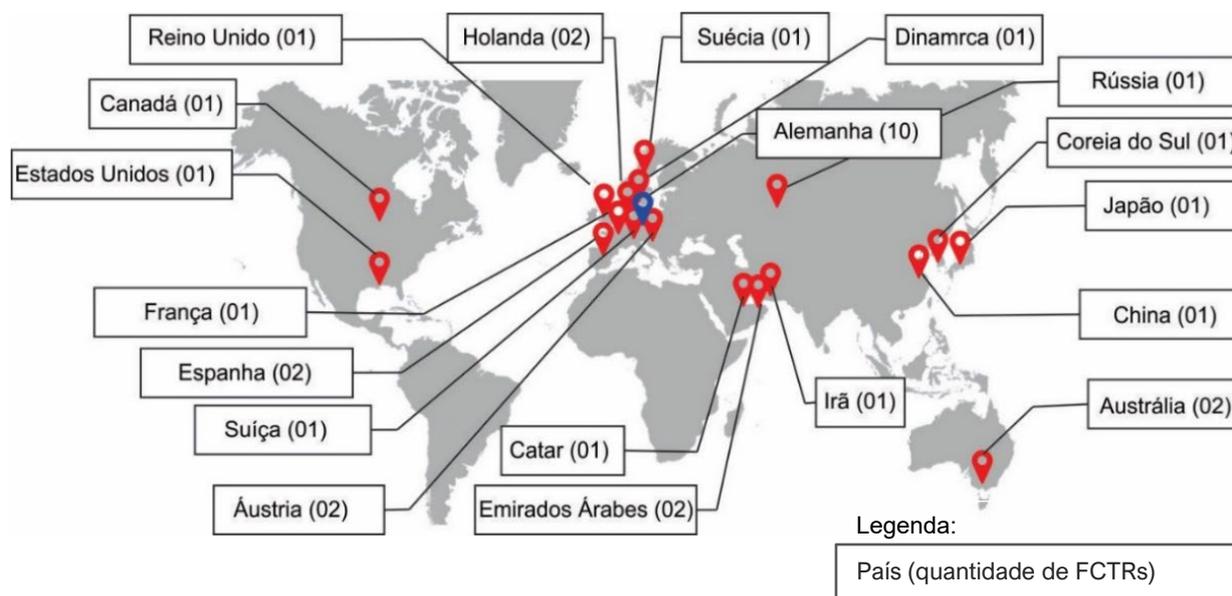
O processo de avaliação do desempenho das fachadas deve ser realizado com base no que foi proposto no projeto inicial, além de indicadores e métricas específicos. HOSSEINI et al. (2019, tradução) esclarecem que existem indicadores próprios para diversas funções de uma FCTR, capazes de apontar sua performance, como avaliar o desempenho da radiação solar

para conforto visual, além de avaliar a temperatura de operação interna e umidade relativa para conforto térmico em duas fases: estática e dinâmica. Sendo assim, a escolha de métricas adequadas para avaliar o conforto dos ocupantes pode afetar consideravelmente as transformações da forma da fachada.

A Função Responsiva está relacionada com a capacidade da FCTR de interagir e adaptar os sistemas naturais ou artificiais às necessidades das pessoas. Hosseini et al (2019) classificam as funções responsivas como: (i) interativo para a luz do dia dinâmica, (ii) interativo para o movimento humano, (iii) interativo para o vento, (iv) gerando energia na fachada, (v) interativo para a mudança das estações e (vi) cenários funcionais interativos.

A literatura apresenta várias tipologias de FCTRs, levando em consideração: as funções responsivas, cinemática, geometria, tecnologia, desempenho, materiais, natureza do sistema em termos de adaptabilidade, critérios de controle tecnológico, entre outros (HOSSEINI et al., 2019, tradução; LOONEN et al., 2015, tradução; TABADKANI et al., 2021a, tradução). Até o presente momento foram identificadas 32 FCTRs pelo mundo, localizadas em 19 países (Figura 6), conforme representado abaixo:

Figura 6: Localização dos países com FCTRs



Fonte: AUTORAS, 2021

A Europa e a Ásia são os continentes com maiores números de FCTRs, indicando que, em sua maioria, foram construídas na região de clima temperado. É na Alemanha em que a maioria das FCTRs foram identificadas, somando 10 no total.

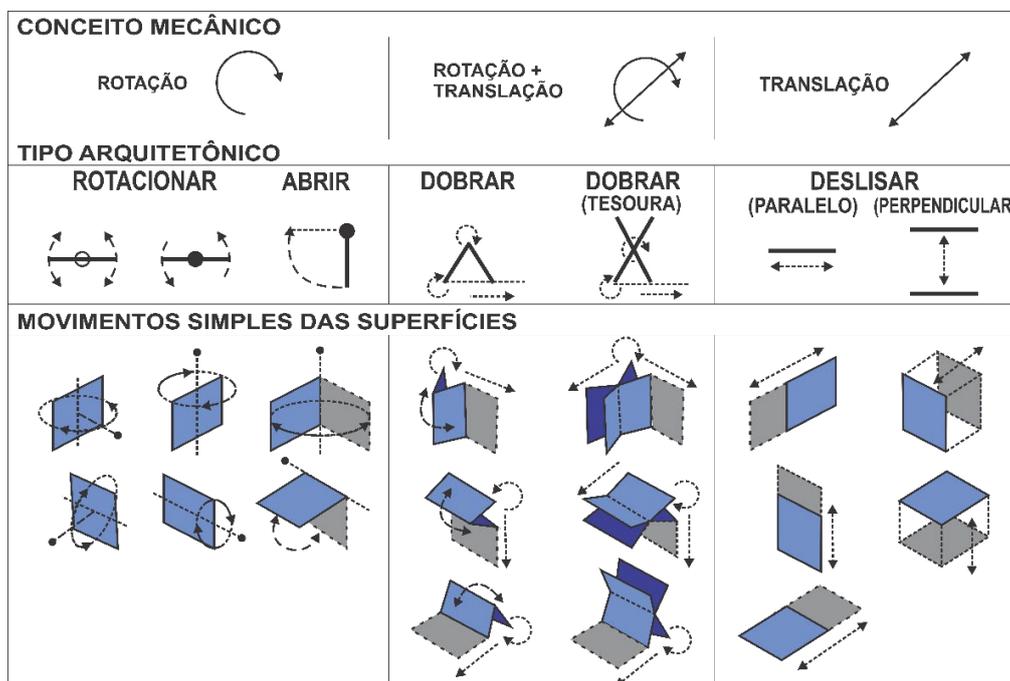
4. Cinemática de uma FCTR

A cinemática está relacionada a mudança de estado (movimento e tridimensionalidade) do elemento cinético na fachada onde o dispositivo cinemático pode ser adaptado através de uma única ou múltiplas tipologias de movimentos básicos ou altamente complexas. Assim, podem ser classificadas em quatro tipos de cinemática: (i) movimentos simples das superfícies, (ii) movimentos de dobraduras rígidas como *origamis*; (iii) dobradura de linha curva (deformação dos materiais); e (iv) movimentos biomiméticos.

4.1. Movimentos simples das superfícies

Segundo Tabadkani et al. (2021a, tradução), as transformações básicas ou os movimentos simples das superfícies, são caracterizadas por três tipologias principais dos movimentos dos elementos adaptativos: (i) Rotação, (ii) Translação e (iii) a combinação dos movimentos anteriores. Acrescentam que tais movimentos, quando analisados na forma tridimensional, produzem outras tipologias de movimento e assim criam variações, conforme demonstrado na Figura 7:

Figura 7: Movimentos simples das superfícies



Fonte: Adaptado de (TABADKANI et al., 2021a)

Para exemplificar estes movimentos no contexto Internacional, o Quadro 1 contempla alguns exemplares, sistematizados com diferentes dispositivos de sombreamento cinéticos, cujas imagens representam respectivamente: (i) fachada; (ii) elementos cinéticos das fachadas; (iii) detalhe do movimento do dispositivo cinético.

Quadro 1 - Exemplos de edificações com dispositivos cinéticos de movimentos simplificados

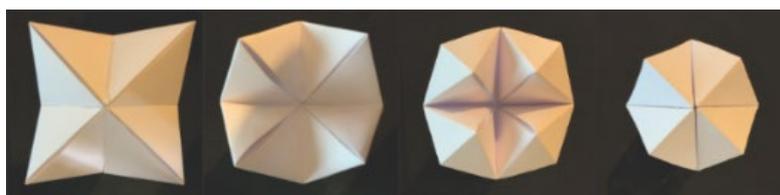
<p>1986, Instituto do Mundo Árabe, Jean Nouvell, Paris, França - Painéis metálicos reticulados; - Rotacionam como obturador;</p> 	<p>1999, Embaixada dos Países Nórdicos, Berger e Parkkinen Architekten, Berlim, Alemanha - Painéis metálicos de Cobre esverdeado; - Abrir e fechar como brises na horizontal.</p> 
<p>2007, Kiefer Technic Showroom Ernst Giselbrecht & Partner ZT GmbH, Estria, Áustria - Painéis horizontais de alumínio perfurado; - Deslizar na vertical e dobrar na horizontal.</p> 	<p>2012, RMIT Design Hub Sean Godsell Architects, Melbourne, Australia - Painéis de aço com vidro jateado; - Girar num eixo pivotante.</p> 
<p>2014; SDU Kolding Campus Henning Larsen Architects, Kolding, Dinamarca - Painéis de metal perfurado; - Abrir e fechar como asas em um eixo.</p> 	<p>2017, Fundação Fosun Foster + Partners & Heatherwick Studio, Xangai, China - Tubos de bronze pendurados em três camadas; - Deslizar em direções opostas.</p> 

Fonte: Autoras, 2021

4.2. Dobraduras rígidas como origamis

Para criar movimentos mais complexos, os movimentos básicos podem ser combinados à técnica de dobragem tradicional do Japão chamada *origami*. O uso de técnicas de dobradura é aplicável tanto para executar geometrias adaptativas complexas, como para executar movimentos reversíveis, e assim implementar mudanças tridimensionais na fachada (Figura 8).

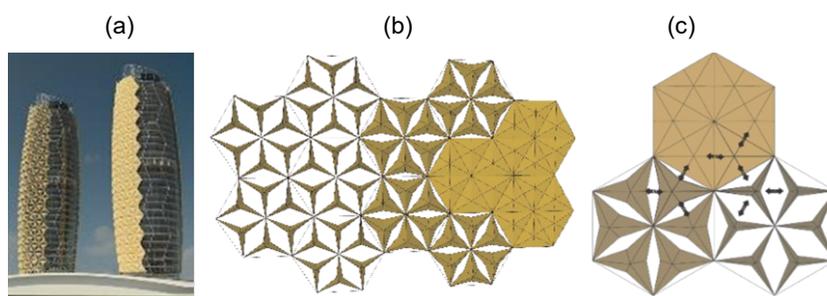
Figura 8 - Exemplo de dobradura com origamis rígidos



Fonte: Autoras, 2021

Esta técnica auxilia particularmente em contrabalançar a radiação solar, a luz do dia e a vista externa. Normalmente, a abertura do módulo é igual em todos os lados e não podem ter muitas configurações diferentes (LE-THANH et al., 2021, tradução). Um exemplo são as fachadas da sede do Conselho de Investimentos de Abu Dhabi nos Emirados Árabes, as Torres de Al Bahar (Al Bahar Towers), que foram projetadas pelo escritório Aedas Architects e concluídas em 2012. O edifício de 29 andares (Figura 9), apresenta um sistema de sombreamento que consiste na aplicação de uma membrana translúcida de Poli Tetra Flúor Etileno (PTFE) nos elementos cinéticos da fachada que movimentam-se com um padrão hexagonal inspiradas no muxarabi Islâmico (BAROZZI et al., 2016, tradução; LE-THANH et al., 2021, tradução; TABADKANI et al., 2021a, tradução).

Figura 9: Torres Al-Bahar: a) fachadas; b) elementos cinéticos das fachadas; c) ampliação com a indicação do movimento do dispositivo cinético.



Fontes: (a) disponível em <<https://www.skyscrapercenter.com/building/al-bahar-tower-1/9129>> Acesso em: 06 set. 2020; (b & c) - Autoras, 2021

4.3. Dobradura de linha curva

São baseadas nas deformações plásticas e elásticas, e referem-se à dobra, flexão e deformação dos materiais. A energia elástica armazenada é usada para tornar a deformação reversível ao estado inicial (TABADKANI et al., 2021a, tradução). Como exemplo, o pavilhão temático "One Ocean" (Figura 10) projetado pela *SOMA Architecture* de Viena, foi construído para a Expo 2012 em Yeosu, Coreia. Sua lateral era caracterizada por uma fachada de mídia móvel em forma de brânquia, composta por plásticos reforçados com fibra de vidro que aceitava grandes deformações elásticas e permitia que o sistema operasse abrindo e fechando com uma completa ausência de dobradiças, dependendo unicamente da deformação do material (KNIPPERS et al., 2013, tradução).

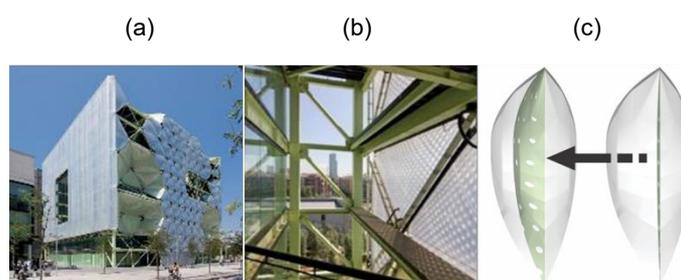
Figura 10: Pavilhão One Ocean: (a) fachada; b) indicação do movimento do dispositivo cinético.



Fontes: Knippers et al. (2013).

Outro exemplo é o Edifício Media-TIC, projetado pelo arquiteto espanhol Enric Ruiz Geli que foi construído em Barcelona, Espanha em 2011 (Figura 11). Possui um sistema de FCTR composto por “almofadas” do material ETFE (Etileno Tetra Fluoro Etileno) inflável, disponível em três câmaras de ar, que se contraem e expandem para controlar a incidência da radiação solar através de uma expansão pneumática (ROS; HERNANDEZ; BAAN, 2012) permitindo o controle da luz do dia.

Figura 11: Edifício Media-TIC: (a) fachadas; b) vista do interior; c) ampliação com a indicação do movimento do dispositivo cinético.



Fontes: (a & b) disponível em: <<https://ruiz-geli.com/projects/built/media-tic.php>> Acesso em: 06 set. 2020;
(c) Autoras (2022)

4.4. Movimentos Biomiméticos

São movimentos orgânicos, inspirados na natureza como imitar as propriedades do todo ou de partes de um organismo, como: aparência, materiais, componentes, princípios morfológicos, forma visual e comportamento humano (TABADKANI et al., 2021a, tradução).

Normalmente são associados a soluções tecnológicas inovadoras relacionadas aos materiais. Entretanto, é possível identificar superfícies construídas com elementos como sensores e microprocessadores com sistemas de gerenciamento automático. Para exemplificar, foram destacadas 02 superfícies: (i) Pavilhão *MegaFon* (Figura 12), projetado por Asif Khan, foi construído nos Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de Inverno de Sochi, Rússia, em 2014, com atuadores que se projetavam para uma distância específica, e assim permitia aos participantes exibirem suas expressões faciais em 3D com 3500% de ampliação (SEGD, 2014, tradução); (ii); e *Dragspelhuset* (Figura 13), significa casa de acordeão, foi projetado pelo escritório *24H Architecture*, margens do lago *Övre Gla*, na Suécia, O edifício extensível pode ser adaptado ao número de ocupantes e às diferentes condições climáticas por meio de alterações sazonais que foram inspiradas da transformação do casulo de uma borboleta (HOSSEINI et al., 2019, tradução).

Figura 12: Pavilhão *MegaFon*



Fonte: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jeTtE9_y8Ow>
Acesso em: 08 set 2020.

Figura 13: *Dragspelhuset*



Fonte: Hosseini et a (2019)

Os materiais com inspiração biológica, são considerados inteligentes ou responsivos a estímulos, pois processam as informações como organismos vivos. Alguns são capazes de responder a um estímulo externo e interno, sem exigir energia (estratégia passiva ou sem tecnologia) ou com a menor demanda de energia (estratégia ativa ou de baixa tecnologia) (TABADKANI et al., 2021a, tradução).

5. Discussão e Conclusão

A fachada cinética pode ser inserida na história da arquitetura quando seus elementos cinéticos ganham uma proporção na sua dimensão em que são confundidos com a própria fachada. Tendo em vista que a fachada cinética passou por diferentes estágios desde o início do Século XX, é possível observar que, nas últimas décadas, as fachadas dos edifícios contemporâneos são predominantemente em vidro e sua baixa resistência térmica significa um retrocesso quando se trata do desempenho energético da envoltória para a edificação.

Em função disto, o número de pesquisas tem aumentado a fim de repensar a utilização de fachadas com pano de vidro na busca por fachadas energeticamente eficientes. Assim, a arquitetura tem incorporado novas soluções tecnológicas integradas às fachadas, permitindo a exploração de novas linguagens, conceitos e funções, em detrimento do conforto humano. Como uma evolução natural, as fachadas cinéticas com tecnologia responsiva têm sido aprimoradas na arquitetura contemporânea do século XXI, na busca por sistemas que atendam, de forma mais eficaz, às necessidades do usuário independente das condições climáticas e que sejam cada vez mais eficientes energeticamente.

A cinemática de uma FCTR está diretamente relacionada à morfologia e à tecnologia que será aplicada. Para esta tecnologia trabalhar em seu potencial máximo, deve possuir um sistema de controle, com o objetivo de criar movimentos de forma eficiente aos parâmetros estabelecidos. É necessário reforçar que as mudanças tridimensionais da forma, a materialidade e a independência dos elementos cinéticos deste tipo de tecnologia interferem diretamente nos parâmetros de conforto ambiental e na estética da fachada. E se não planejados nas fases iniciais do processo de projeto, podem não gerar os resultados esperados.

Diante dos levantamentos realizados foi possível averiguar que a concepção de envoltórias dinâmicas com capacidade cinética explora novas linguagens para a arquitetura contemporânea, inserindo a prática de projeto, modelagem, análises paramétricas e novos métodos construtivos em função da tecnologia, empregando princípios fundamentais de conforto ambiental e eficiência energética, abrindo um novo leque para a arquitetura latino-americana.

Alcançar os objetivos estabelecidos para este sistema, implica no desenvolvimento do projeto arquitetônico, somado a projetos de outras áreas de conhecimento científico, com natureza multidisciplinar. A adaptabilidade pode ser interpretada como o potencial do sistema para fornecer critérios de conforto com múltiplos objetivos, além de estarem sob condições ambientais incertas, alterando suas características físicas dentro de uma curta escala de tempo.

Apesar do cenário favorável de pesquisa sobre fachada cinética, geralmente essas soluções são vistas como onerosas e de pouca acessibilidade técnica e por várias razões, ainda estão pouco exploradas e com difícil replicabilidade. Questões como a integração de profissionais especializados, manutenção; os materiais empregados para melhor adaptar-se ao clima e

estrutura de carga diferenciada, são alguns dos fatores que podem contribuir para o aumento elevado dos custos. Entretanto, diante das potencialidades oferecidas pelas FCTRs, torna-se necessário ampliar os estudos na área a fim de viabilizar a sua utilização e melhorar a qualidade do produto final edificado.

Embora existam poucos exemplares construídos no contexto mundial, este tipo de envoltória é favorável para ser aplicada em qualquer clima, visto que, não existe uma solução única, nem um único tipo de material que pode ser aplicado à fachada, adaptando-se aos diferentes lugares. Além de permitir que geometrias diferenciadas possam interagir entre si, o que contribui para a concepção da forma da fachada e para sua qualidade estética. Inclusive, a arquitetura vernacular latino-americana pode servir de inspiração para a criação de novos tipos de FCTRs.

É notável como as FCTRs podem promover um adequado controle da insolação e permitir a otimização dos processos de ventilação, aliando a estética à funcionalidade. Assim, na busca por um ambiente construído equilibrado que se concentre no conforto humano as fachadas cinéticas com tecnologia responsiva podem ser uma alternativa viável para uma edificação de baixo consumo energético com alta qualidade ambiental.

Como desdobramento da pesquisa das FCTRs, é necessário aprofundar questões, de forma a analisar as características específicas das fachadas, como os materiais e os sistemas de controle, com a finalidade de contribuir para auxiliar na tomada de decisão, nas fases iniciais do processo de projeto.

Referências:

ACOSTA, I.; LESLIE, R.; FIGUEIRO, M. Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms. **Lighting Research & Technology**, v. 49, p. 49–61, 2017.

BAROZZI, M. et al. The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture. **Procedia Engineering**, v. 155, p. 275–284, 2016.

BEDON, C. et al. Structural characterisation of adaptive facades in Europe – Part I: Insight on classification rules, performance metrics and design methods. **Journal of Building Engineering**, v. 25, 2019.

BITENCOURT, F. Conforto e desconforto na arquitetura para ambientes de saúde: o componente humano e os aspectos ambientais. In: BITENCOURT, F.; COSTEIRA, E. (Eds.). **Arquitetura e Engenharia Hospitalar**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2014. p. 73–100.

BOUBEKRI, M. **Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies**. 1. ed. Burlington, MA 01803, EUA: Elsevier Ltd, 2008.

CALAMA-GONZÁLEZ, C. M.; LEÓN-RODRÍGUEZ, Á. L.; SUÁREZ, R. Daylighting performance of solar control films for hospital buildings in a Mediterranean climate. **Energies**, v. 12, n. 3, 2019.

GOODWIN, P. L. **Brazil builds : architecture new and old, 1652-1942**. New York: The Museum of Modern Art, 1943.

- HOSSEINI, S. M. et al. A morphological approach for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort: Review. **Building and Environment**, v. 153, n. Nov., p. 186–204, 2019.
- HOSSEINI, S. M. et al. Integrating interactive kinetic façade design with colored glass to improve daylight performance based on occupants' position. **Journal of Building Engineering**, v. 31, n. March, 2020.
- KNIPPERS, J. et al. Bio-inspirierte kinetische Fassade für den Themenpavillon "one Ocean" EXPO 2012 in Yeosu, Korea. **Bautechnik**, v. 90, n. 6, p. 341–347, 2013.
- LE-THANH, L. et al. Optimal design of an Origami-inspired kinetic façade by balancing composite motion optimization for improving daylight performance and energy efficiency. **Energy**, v. 219, n. Jan, p. 119557, 2021.
- LOONEN, R. et al. Design for façade adaptability: Towards a unified and systematic characterization. **10th Conference on Advanced Building Skins**, n. 2015, p. 1284–1294, 2015.
- LOONEN, R. C. G. M. et al. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 483–493, 2013.
- MOLONEY, J. **Designing kinetics for architectural facades : state change**. 1ª Edição ed. Abingdon: Routledge, 2011.
- MUZI, I. DE O. N. Fachada cinética com tecnologia responsiva : uma breve abordagem. **Anais do 11º Colóquio.s de Pesquisa do PROARQ DIÁLOGOS EM ESPAÇOS REMOTOS**, p. 287–290, 2020.
- NEGROPONTE, N. **Soft Architecture Machines**. London: Cambridge: MIT Press, 1975.
- OXFORD, U. P. **Responsiva [Responsive]**. Disponível em: <<https://www.lexico.com/definicion/responsive>>. Acesso em: 1 jun. 2021.
- PINTO, H. R. DE S. et al. O desenvolvimento de elementos de proteção de fachada responsivos: explorando o cobogó. **Blucher Design**, p. 519–527, 2015.
- QUEIROZ NOME, N. DE et al. Pared cinética: Una fachada humana y ambientalmente responsiva. Un enfoque de educación en arquitectura. **Arquitecturas del Sur**, v. 36, n. 54, p. 58–69, 2018.
- SEGD. **MegaFaces Pavilion**. Disponível em: <<https://segd.org/megafaces-pavilion-0>>. Acesso em: 6 set. 2020.
- SHARADIN, K. **Kinetic Facades: Towards design for Environmental Performance**. [s.l.]: RMIT University, 2014.
- SILVA, J. T. et al. A influência das orientações das aberturas e condições de céu nos níveis de iluminação natural em um ambiente hospitalar. **ANAIS XV ENCAC & XI ELACAC**, p. 2554–2563, 2019.
- TABADKANI, A. et al. Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. **Automation in Construction**, v. 106, n. August 2018, p. 102857, 2019.
- TABADKANI, A. et al. A review of automatic control strategies based on simulations for adaptive facades. **Building and Environment**, v. 175, p. 106801, 2020.
- TABADKANI, A. et al. A review of occupant-centric control strategies for adaptive facades.

Automation in Construction, v. 122, n. May 2020, p. 103464, 2021a.

TABADKANI, A. et al. Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. **Automation in Construction**, v. 121, n. October 2020, p. 103450, 2021b.

TOLEDO, L. C. **Feitos para curar**. 1a Edição ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2020.

VAZ, C. E. V. et al. O desenvolvimento de elementos de proteção de fachada responsivos – exploração e controle de um processo. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 11, n. 2, p. 73–87, 2016.

ZAERA-POLO, A.; TRÜBY, S.; KOOLHAAS, R. Elements of Architecture – Façade. **International Architecture Exhibition, la Biennale di Venezia**, p. 244–249, 2014.