

MESTRADO INTEGRADO
ARQUITETURA

Fachadas Interativas para uma Arquitetura Sustentável

Do estudo geral, ao caso particular das
Al Bahr Towers

Mariana Inácio Candeias

M
2025



Fachadas Interativas para uma *Arquitetura Sustentável*
Do estudo geral, ao caso particular das *Al Bahr Towers*
Mariana Inácio Candeias



Fachadas Interativas para uma
Arquitetura Sustentável

Do estudo geral, ao caso particular das
Al Bahr Towers

Mariana Inácio Candeias



Fachadas Interativas para uma Arquitetura Sustentável

Do estudo geral, ao caso particular das *Al Bahr Towers*

Dissertação Mestrado Integrado em Arquitetura

Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto

Mariana Inácio Candeias

Orientação | Prof. Doutor Arquitecto José Pedro Ovelheiro Marques de Sousa

Co-orientação | Prof. Doutor Arquitecto Antonino Saggio

Porto, 2024/2025

Nota Prévia

A presente dissertação foi redigida em português (pt), ao abrigo do Novo Acordo Ortográfico.

Usou-se o tipo de letra *Avenir Next LT Pro Light* na dissertação. O corpo de texto está em tamanho 11 e com espaçamento 1,5.

Foi usado o sistema de referência APA.

No decorrer do texto, palavras em língua estrangeira, títulos de obras literárias e conceitos relevantes, são destacados em *itálico*.

Todas as citações transcritas encontram-se '*entre aspas simples e em itálico*', de modo a realçar expressões de outros autores e instituições. Por fluidez de leitura, estas foram livremente traduzidas pela autora para a língua portuguesa, encontrando-se a versão original nas notas de rodapé. As conferências e entrevistas em formato vídeo relativas ao edifício *Al Bahr Towers*, quando incluídas na dissertação, foram também livremente transcritas.

O destaque de citações, através de parágrafos identados com avanço à esquerda, admite leituras adicionais referentes a entrevistas conduzidas pela autora, que se encontram em Apêndice na presente dissertação. No formato digital, é possível consultar a citação original através de *hyperlinks* associados às mesmas.

Na procura por uma coesão gráfica, procedeu-se a um processo de livre redimensionamento, enquadramento ou tratamento cromático das imagens apresentadas relativamente às originais.

Para que visualmente seja clara a distinção entre o corpo de texto e os Apêndices e Anexos foi conferida uma coloração distinta às respetivas páginas.

O documento, em formato digital, apresenta um sumário interativo que facilita a navegação entre os diferentes capítulos, através de *hyperlinks*. Para regressar à página do sumário, clicar no título de cada capítulo ou subtítulo. De igual modo, o documento inclui *hyperlinks* vinculados a todos os Apêndices e Anexos mencionados no corpo de texto, bem como nas fontes *online* consultadas e referenciadas.

[CAPA] *Al Bahr Towers*. (Richters, s.d.)

A prova pública de defesa da presente dissertação decorreu no dia 26 de junho de 2025, no Auditório da Biblioteca da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto.

Presidente: Prof.^a Doutora Maria Clara de Carvalho Pimenta do Vale

Arguente: Prof.^a Doutora Maria Alexandra Correia de Castro

Orientador: Prof. Doutor José Pedro Ovelheiro Marques de Sousa

(Coorientação: *Prof. Doutor Antonino Saggio*)

O júri atribuiu a classificação final de 20 (vinte) valores.

Aos meus pais, Ida & Luís,
e à minha irmã, Catarina.

AGRADECIMENTOS

Ao completar esta etapa, resta-me agradecer a todos os que contribuíram para este trabalho e para o meu percurso académico.

Agradeço,

Aos meus orientadores, os professores José Pedro Sousa e Antonino Saggio, pelos conselhos e desafios e pela partilha do seu tão vasto e valioso conhecimento.

A todos os arquitetos, por quem tenho uma grande admiração, Abdilmajid Karanouh, Mike Oades, Rafail Bakolas, Michael Miscamble, Bob Gysin, Tom Geister e Gonçalo Henriques, que dispenderam do seu tempo para responder às minhas inquietações, e ao artista Ned Kahn por me mostrar uma perspetiva romantizada.

À minha família, do fundo do coração, por me criarem num mundo de amor e entreajuda. Aos meus pais, Ida & Luís, por serem uma referência de perseverança e superação, por me apoiarem e amparem em todos os momentos, por nunca me deixarem desistir e por todo o carinho e amor incondicional. À minha irmã, Catarina, por ser a companheira e compincha de todas as horas, por me conhecer como mais ninguém e me amar com todos os meus defeitos. Aos meus tios e avós, que mesmo perante todas as dificuldades da vida são um exemplo de garra e dedicação. Por fim, aos meus primos, que me lembram de levar a vida com leveza.

Às minhas amigas. Rita, Vera e Bia, por serem o calor do regresso a casa. Mel e B, pelas conversas nos momentos de dúvida e solidão.

À 18ª Fornada, por todas as peripécias e amizades, por me aceitarem e apoiarem sempre que precisei. Em especial, ao Tavares e à Erika, por estarem sempre presentes, ao Pardal, pela diversão constante, e ao Chico, pelo companheirismo e horas de trabalho.

À Casa de Arquitectura e à Tuna Feminina da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, pelas memórias imortais que tornaram o Porto casa e coloriram a minha vida académica, praxista e tunae.

A todos os que falta agradecer, que de alguma forma me acompanharam ao longo deste percurso e fizeram de mim o que sou hoje.

ABSTRACT

Sustainability is a theme that is increasingly present in architecture today. Therefore, the development of methods to improve the energy efficiency of buildings has become essential to combat the impact of unregulated and environmentally harmful construction. Since physical interactivity is also a growing theme in architecture, it has become clear that smart adaptability is one of the possible strategies for designing more energy-efficient buildings.

The main objective of this work was to study how the application of interactive systems on facades can be an answer to sustainable architecture. To do this, we divided it into three stages: bibliographical research and consultation; surveying and analysing examples of buildings, creating a database; and the detailed study of a building belonging to it, the *Al Bahr Towers*, through a literature review and interviews with those involved in the project.

The construction of the database of 39 buildings and its analysis made it possible to affirm the preponderant role of interactive facades as a strategy for more sustainable architecture, while also reflecting on the inherent characteristics of these systems that make them more efficient. The *Al Bahr Towers* made it possible to investigate in detail the conditions in which these facades are integrated, their functioning and benefits, exemplifying how it is possible to improve the well-being of users and the efficiency of buildings in the most adverse conditions.

The work carried out highlighted the crucial role of architecture in mitigating the climate crisis, emphasising the need for sustainable solutions both in the construction phase and in the operation of buildings. The move towards interactive facades represents a significant advance, combining technology and design to improve environmental performance. However, the implementation of these solutions requires a balance between technological innovation and operational simplicity, ensuring viable maintenance and reduced environmental impact.

KEY WORDS

Facade | Sustainability | Interactivity | Technology | Al Bahr Towers

A sustentabilidade é um tema cada vez mais presente na arquitetura e na atualidade. Deste modo, o desenvolvimento de métodos que melhorem a eficiência energética dos edifícios tornou-se primordial para combater o impacto da construção desregrada e nociva para o ambiente. Sendo a interatividade física também um tema crescente na arquitetura, tornou-se evidente que a adaptabilidade é uma das estratégias possíveis para projetar edifícios mais eficientes do ponto de vista energético.

O objetivo principal deste trabalho foi estudar como a aplicação de sistemas interativos nas fachadas pode ser uma resposta para uma arquitetura sustentável. Para isso, dividimo-lo em três momentos: a pesquisa e consulta bibliográfica; o levantamento e análise de exemplos de edifícios, criando uma base de dados; e o estudo pormenorizado de um edifício pertencente à mesma, as *Al Bahr Towers*, através de revisão bibliográfica e de entrevistas aos intervenientes do projeto.

A construção da base de dados composta por 39 edifícios e a sua análise permitiu afirmar o papel preponderante das fachadas interativas como estratégia para uma arquitetura mais sustentável, refletindo, também, sobre as características inerentes a estes sistemas, que os tornam mais eficientes. As *Al Bahr Towers* permitiram investigar pormenorizadamente as condições em que estas fachadas são integradas, o seu funcionamento e benefícios, exemplificando como é possível melhorar o bem-estar dos utilizadores e a eficiência dos edifícios nas condições mais adversas.

O trabalho desenvolvido evidenciou o papel crucial da arquitetura na mitigação da crise climática, sublinhando a necessidade de soluções sustentáveis tanto na fase de construção quanto na operação dos edifícios. A evolução para fachadas interativas representa um avanço significativo, combinando tecnologia e *design* para melhorar o desempenho ambiental. Contudo, a implementação destas soluções exige um equilíbrio entre inovação tecnológica e simplicidade operacional, garantindo manutenção viável e impacto ambiental reduzido.

PALAVRAS-CHAVE

Fachada | Sustentabilidade | Interatividade | Tecnologia | *Al Bahr Towers*

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

F. - Figura

TI - Tecnologia da Informação

CAD - Desenho Assistido por Computador

BIM - *Building Information Modeling*

IA - Inteligência Artificial

ABI - *Adaptive Building Initiative*

MIT - *Massachusetts Institute of Technology*

IoT - *Internet of Things* (Internet das Coisas)

BMS - *Building Management Systems*

BAS - *Building Automation Systems*

CEE - Casos de Estudo Elegíveis

N/S/E/O - Norte, Sul, Este, Oeste

NO/NE/SO/SE - Noroeste, Nordeste, Sudoeste, Sudeste

ZCTN - Zona Climática Temperada Norte

ZCT - Zona Climática Tropical

ZCTS - Zona Climática Temperada Sul

UE - União Europeia

EUA - Estados Unidos

EAU - Emirados Árabes Unidos

CEMS - *Global Alliance in Management Education*

ESG - *Environmental, Social and Governance* (Ambiente, Social e Governança)

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

CIAD - Conselho de Investimento de Abu Dhabi

ZHA - *Zaha Hadid Architects*

CTBUH - *Council on Tall Buildings and Urban Habitat*

MEP - *Mechanical, Electrical and Plumbing* (Mecânica, Eletricidade e Canalização)

CO₂ - Dióxido de Carbono

M - Milhões

m - Metros

m² - Metros Quadrados

W - Watt (J/s) (unidade de potência do SI)

Kwh - Unidade de consumo de energia

kwh/m².a - Quilowatt-hora, por metro quadrado, por ano

EP - Energia Primária

EF - Energia Final

Ntc - Necessidades nominais anuais de energia primária

SCE - Sistema de Certificação Energética de Edifícios

PDEE - Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios

ZEB - *Zero emission building* (edifícios com necessidades nulas de energia)

NZEB - *Nearly zero energy building* (edifícios com necessidades quase nulas de energia)

EPBD - *Energy Performance of Buildings Directive* (Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios)

GBC - *Green Building Councils*

WorldGBC - *World Green Building Councils*

GBCA - *Green Building Council Australia*

USGBC - *U. S. Green Building Council*

SGBC - *Sweden Green Building Council*

DGNB - *German Sustainable Building Council*

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

EEWH - *Ecology, Energy Saving, Waste Reduction, and Health*

PRS - *Pearl Rating System*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ix
ABSTRACT	x
RESUMO	xi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS	xii
SUMÁRIO	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
Objeto	4
Objetivo	4
Metodologia	5
2 ARQUITETURA SUSTENTÁVEL	7
2.1 CRISE CLIMÁTICA	9
2.2 O PAPEL DA ARQUITETURA	11
3 INTERATIVIDADE EM ARQUITETURA	15
3.1 ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL	23
3.2 APLICAÇÕES PRÁTICAS	29
3.2.1 PROJETO	30
3.2.2 EDIFÍCIO	31
3.2.3 FACHADA	32
4 ESTRATÉGIA PARA UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL	37
4.1 BASE DE DADOS	40
4.2 ANÁLISE DE DADOS	41
Amostra	42
4.2.1 CONTEXTO	44
Cronologia	44

4.2.2 PROJETO	46
Localização	46
Programa	50
4.2.3 FACHADA	52
Orientação	52
Tipologia de Fachada	54
Dimensionalidade	56
Inputs	58
Tipo de Movimento	61
Tempo de Reação	63
Materiais	65
4.2.4 SUSTENTABILIDADE	67
Certificados de Sustentabilidade	69
4.3 RESULTADOS	74
5 CASO DE ESTUDO - AL BAHR TOWERS	77
5.1 CONTEXTO	80
5.2 PROJETO	84
5.3 FACHADA	91
5.4 SUSTENTABILIDADE	99
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
REFERÊNCIAS	111
Bibliografia	111
Webgrafia	115
LISTA E REFERÊNCIAS ICONOGRÁFICAS	120
APÊNDICES	125
ANEXOS	175

«How can we shade a building in an interesting way? How can we reduce the energy consumption of a building in a way that doesn't feel like a compromise? Make it beautiful! Make it interesting! Make it something that people have a good vibe about.» - Ned Kahn (Apêndice I.b)

1 | INTRODUÇÃO



A arquitetura tem sido, ao longo da história, moldada pelos contextos sociais, culturais e tecnológicos em que se insere. Com a chegada da era da Tecnologia da Informação (TI), caracterizada pelo uso intensivo das tecnologias digitais, a disciplina sofreu uma transformação profunda, marcada pela incorporação de ferramentas como o desenho assistido por computador (CAD), o *Building Information Modelling* (BIM), a Inteligência Artificial (IA), a robótica e a produção avançada de materiais. Estas inovações não só modificaram os métodos de conceção e representação, como também alargaram as possibilidades de interação entre o edifício, os seus utilizadores e o meio envolvente.

Neste novo paradigma, surgem as fachadas interativas, sistemas arquitetónicos que integram sensores, algoritmos e materiais responsivos, capazes de adaptar o edifício em tempo real às condições ambientais. Estas fachadas deixam de ser elementos estáticos ou meramente estéticos para se assumirem como dispositivos dinâmicos de mediação entre interior e exterior, entre utilizador e ambiente.

A capacidade de transformar automaticamente formas construtivas com base em dados externos e em tempo real trouxe à arquitetura uma dimensão anteriormente restrita ao campo da teoria ou da fase projetual. O edifício, agora sensível ao seu contexto, transforma-se num organismo que reage, responde e se adapta. Esta abordagem também promove uma reconciliação entre o construído e o natural, incentivando novas formas de conceber e habitar os espaços urbanos.

A presente dissertação propõe estudar o papel das fachadas interativas como estratégia para uma arquitetura mais sustentável, explorando o potencial destes sistemas na mitigação do impacto ambiental da construção e na promoção do bem-estar dos seus utilizadores. A investigação assenta numa análise estruturada: revisão bibliográfica, levantamento de casos de estudo e análise aprofundada de um exemplo paradigmático – as Al Bahr Towers, em Abu Dhabi – cuja fachada, inspirada na geometria islâmica e dotada de um sistema de resposta mecânica à radiação solar, representa uma síntese entre tradição, inovação tecnológica e responsabilidade ambiental.

Esta investigação procura, assim, contribuir para uma reflexão crítica sobre o papel da arquitetura na transição ecológica e no seu potencial transformador num mundo em constante mudança, onde a interatividade deixa de ser apenas uma possibilidade para se afirmar como uma necessidade urgente.

Objeto

Para estudar o impacto das fachadas interativas na criação de edifícios mais sustentáveis, a investigação dividiu-se em três partes. Numa primeira fase, prima pela contextualização arquitetónica dos temas: sustentabilidade, tendo em conta a crise climática atual, e interatividade, como surgiu, principais marcos e conceitos. Numa segunda fase, será realizado um levantamento de casos de estudo em que estas fachadas são aplicadas no sentido de melhorar o desempenho do edifício, para que, selecionando uma amostra de 39 casos elegíveis, realizemos uma análise compartimentalizada dos dados, dentro de várias categorias. Por fim, aprofundar-se-á a análise contextual, projetual, construtiva e operacional de um caso de estudo, pertencente à base de dados, que prima pela inovação e eficiência, as *Al Bahr Towers*.

Objetivo

A presente dissertação tem como objetivo central, estudar o papel dos sistemas de fachadas interativos enquanto estratégia para uma arquitetura mais sustentável e investigar o que já existe neste contexto.

A investigação desta questão recorre à construção de uma base de dados, com o intuito de reunir informação dos mesmos, de forma a ser analisada e, consequentemente, serem retiradas possíveis conclusões. A base de dados tem como finalidade disponibilizar, a arquitetos e outros profissionais intervenientes na conceção de novos projetos, referências arquitetónicas para a criação e reinvenção, indo além do que já foi construído e do *design* tradicional e explorando novas possibilidades e abordagens que podem transformar o ambiente construído de maneira significativa e sustentável.

Para aprofundar este estudo, seleciona-se as *Al Bahr Towers* como caso de estudo, com o propósito de evidenciar todos os aspetos envolventes ao projeto e construção de um edifício onde é aplicado um sistema interativo na fachada, percebendo como este dialoga com o meio envolvente e os benefícios do ponto de vista energético.

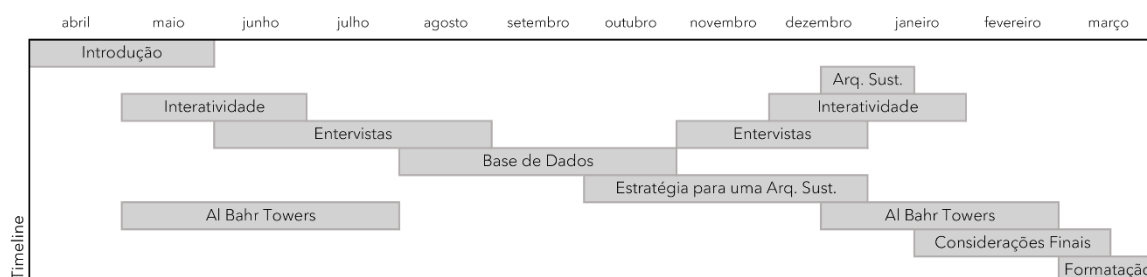
A análise da base de dados e o aprofundamento do projeto das *Al Bahr Towers* pretendem fornecer os alicerces para uma reflexão crítica sobre o potencial transformador destas estratégias.

Metodologia

A metodologia adotada para este estudo será faseada, de modo a utilizar um leque amplo de ferramentas de aquisição de informação e a desenrolar uma pesquisa crítica:

- **Revisão bibliográfica e de conteúdo audiovisual**, visando o enquadramento ao tema da interatividade e da sustentabilidade na arquitetura.
- **Elaboração de uma base de dados**, realizando o levantamento de exemplos que se enquadrem no tema e sejam modelos da aplicação de sistemas interativos em fachadas como estratégia para edifícios mais sustentáveis, para posterior categorização e análise.
- **Entrevistas a arquitetos, artistas e teóricos** que estejam envolvidos no tema.
- **Aprofundamento de um caso de estudo**, as *Al Bahar Towers*, referindo da forma mais completa possível, os vários aspetos deste edifício, nomeadamente, do seu contexto, projeto, construção e operacionalização, mas principalmente da sua fachada.
- **Entrevista aos intervenientes do projeto** do caso de estudo eleito, de modo a aprofundar a informação sobre ele e perceber, após a construção, a sua eficácia e durabilidade.
- **Elaboração de considerações finais**, através da reflexão crítica acerca da análise e do estudo aprofundado da aplicação dos sistemas de fachada interativos para uma arquitetura mais sustentável, bem como das entrevistas realizadas, visando concluir a relevância e condições da aplicação da estratégia estudada.

Timeline

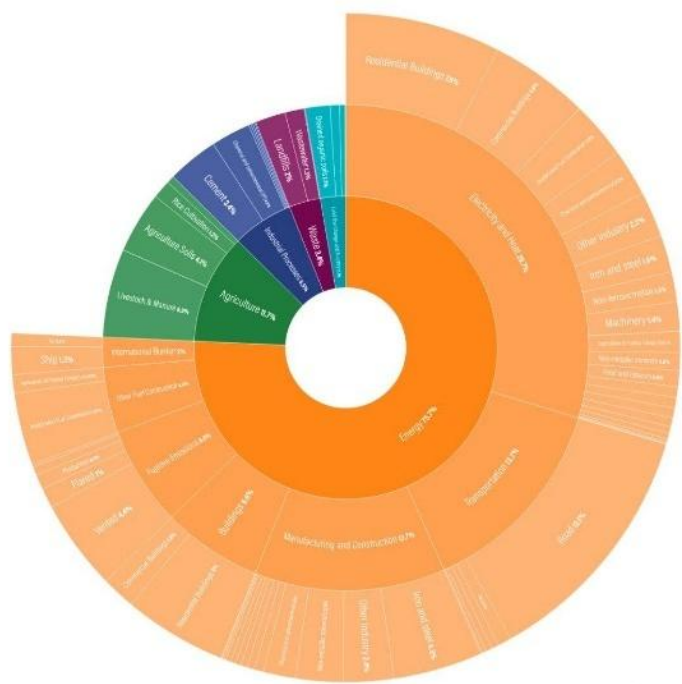


[F.02] Timeline da realização da dissertação de mestrado. Autora, 2024.

2 | ARQUITETURA SUSTENTÁVEL

Global Greenhouse Gas Emissions

By sector and end use, 2021

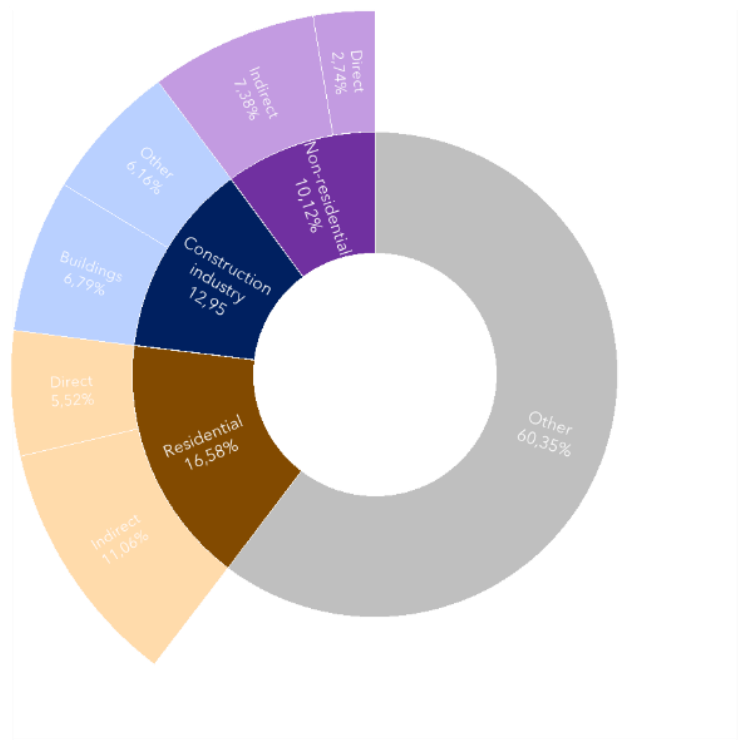


Source: Climate Watch.

WORLD RESOURCES INSTITUTE

Global CO2 emissions from buildings

including embodied emissions from new construction, 2022



2.1 | CRISE CLIMÁTICA

A crise climática constitui uma das maiores ameaças enfrentadas pela humanidade, representando desafios significativos em diversas esferas: ambiental, económica e social. Este fenómeno, impulsionado pela exploração excessiva de recursos naturais e pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa desde a Revolução Industrial, tem sido agravado pelo consumo desmedido de combustíveis fósseis e pela rápida urbanização. As consequências manifestam-se em eventos climáticos extremos, perda de biodiversidade e degradação ambiental irreversível, exigindo respostas integradas e urgentes. (Bienvenido-Huertas et al., 2021:1-2)

«o setor da construção contribui com cerca de 11% das emissões globais anuais de CO₂, no entanto, soma mais 28% através das operações de construção. Os arquitetos desempenham um papel fundamental na conceção de edifícios para reduzir as emissões de CO₂, tanto de construção como de funcionamento.»
- Michael Miscamble (Anexo I.e)

O setor da construção (F.04) emerge como um dos principais responsáveis por este cenário crítico, representando aproximadamente 40% do consumo global de energia e 38% das emissões de carbono (Bienvenido-Huertas et al., 2021:3). Estas emissões incluem não apenas o consumo energético durante a operação dos edifícios, como aquecimento, refrigeração e iluminação, mas também os impactos ambientais relacionados com a produção e transporte de materiais, construção e demolição. (Butera, 2014:4)

Em 2024, a emissão global de gases de efeito estufa (GEE) atingiu níveis sem precedentes (F.03 e F.05), intensificando as preocupações com as mudanças climáticas. As emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas a combustíveis fósseis e cimento aumentaram aproximadamente 0,8% em relação a 2023, totalizando um recorde de 37,4 bilhões de toneladas métricas. Ao incluir as emissões das mudanças no uso da terra, as emissões totais de CO₂ para 2024 foram projetadas em 41,6 bilhões de toneladas métricas, marcando um aumento de 2% em relação a 2023 (CarbonBrief, 2024). Os maiores contribuintes para essas emissões foram a China, os Estados Unidos, a Índia, a União Europeia (UE27), a Rússia e o Brasil, representando coletivamente 62,7% das emissões globais de GEE. (European Commission, 2024)

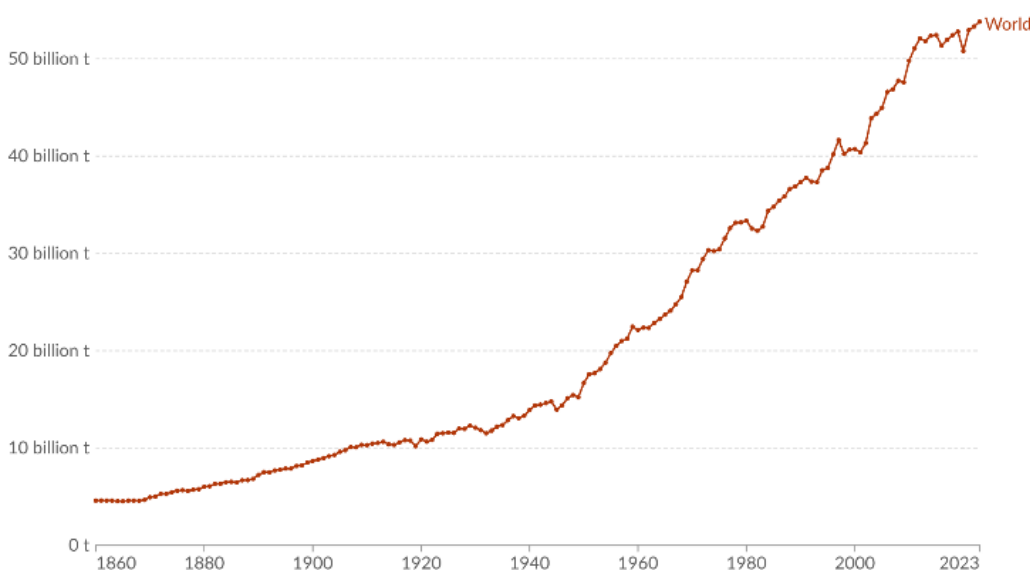
(pág. anterior)
[F.03] Emissões globais de gases com efeito estufa por setor e utilização final, 2021. Ge et al., 2024.
[F.04] Emissões globais de CO₂ dos edifícios. Autora, 2024.

Neste contexto, o desenvolvimento sustentável¹ da arquitetura assume um papel central na mitigação dos impactos ambientais. Para o conseguir, a conjugação de inovações tecnológicas, soluções tradicionais e políticas globais são essenciais para enfrentar a crise climática de forma eficaz e abrangente.

Greenhouse gas emissions

Greenhouse gas emissions¹ include carbon dioxide, methane and nitrous oxide from all sources, including land-use change. They are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents² over a 100-year timescale.

Our World
in Data



Data source: Jones et al. (2024)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Note: Land-use change emissions can be negative.

1. Greenhouse gas emissions: A greenhouse gas (GHG) is a gas that causes the atmosphere to warm by absorbing and emitting radiant energy. Greenhouse gases absorb radiation that is radiated by Earth, preventing this heat from escaping to space. Carbon dioxide (CO₂) is the most well-known greenhouse gas, but there are others including methane, nitrous oxide, and in fact, water vapor. Human-made emissions of greenhouse gases from fossil fuels, industry, and agriculture are the leading cause of global climate change. Greenhouse gas emissions measure the total amount of all greenhouse gases that are emitted. These are often quantified in carbon dioxide equivalents (CO₂eq) which take account of the amount of warming that each molecule of different gases creates.

2. Carbon dioxide equivalents (CO₂eq): Carbon dioxide is the most important greenhouse gas, but not the only one. To capture all greenhouse gas emissions, researchers express them in "carbon dioxide equivalents" (CO₂eq). This takes all greenhouse gases into account, not just CO₂. To express all greenhouse gases in carbon dioxide equivalents (CO₂eq), each one is weighted by its global warming potential (GWP) value. GWP measures the amount of warming a gas creates compared to CO₂. CO₂ is given a GWP value of one. If a gas had a GWP of 10 then one kilogram of that gas would generate ten times the warming effect as one kilogram of CO₂. Carbon dioxide equivalents are calculated for each gas by multiplying the mass of emissions of a specific greenhouse gas by its GWP factor. This warming can be stated over different timescales. To calculate CO₂eq over 100 years, we'd multiply each gas by its GWP over a 100-year timescale (GWP100). Total greenhouse gas emissions - measured in CO₂eq - are then calculated by summing each gas' CO₂eq value.

[F.05] Emissões de gases com efeito de estufa. Ritchie et al., 2020.

¹ "é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades" (Pohl et al., 2015:182)

2.2 | O PAPEL DA ARQUITETURA

Segundo Fox e Kemp (2009) '*A intensificação das mudanças sociais e urbanas de hoje, associada à necessidade de uma responsabilidade sustentável, amplia a procura de novas soluções arquitetônicas*'.² Como disciplina que molda o ambiente construído, a arquitetura não reflete apenas as necessidades funcionais e estéticas de uma época, mas também carrega a responsabilidade de enfrentar as questões ambientais e climáticas que desafiam o futuro da humanidade.

«Os arquitetos e a arquitetura têm vários papéis cruciais a desempenhar no combate às alterações climáticas. [...] Em primeiro lugar, através de uma conceção que visa a eficiência energética e a redução do carbono operacional. Isto inclui estratégias de conceção passiva, como a otimização da orientação dos edifícios, a ventilação natural, a iluminação natural e a massa térmica. Em segundo lugar, abordando o carbono incorporado através de escolhas de materiais e métodos de construção. Em terceiro lugar, os arquitetos podem conceber a resiliência climática. [...] os edifícios têm de resistir a temperaturas mais elevadas, tempestades mais intensas, inundações e outros impactos climáticos.» - Bob Gysin Partner (Apêndice I.d)

Soluções como o *design* sustentável³ e a economia circular permitem reduzir o consumo de energia e recursos através do reaproveitamento de materiais, da redução de resíduos e da utilização de fontes renováveis, como energia solar e eólica (Bauer et al., 2010:140). Barnabas Calder, em *Architecture*, salienta que o setor deve romper com paradigmas modernos que priorizam materiais intensivos em carbono, como betão e aço, em favor de práticas que valorizem a durabilidade, a eficiência energética e a reutilização de recursos. Ele aponta que o reaproveitamento de edifícios existentes, combinado com intervenções leves e criativas, pode reduzir significativamente as emissões associadas ao setor da construção (Calder, 2021).

Por outro lado, Daniel Barber, em *Modern Architecture and Climate*, introduz o conceito de '*interior planetário*', sugerindo que a arquitetura deve mediar de maneira harmoniosa as necessidades humanas e o ambiente externo. Ele exemplifica como práticas modernistas, o *brise soleil* de Le Corbusier e as fachadas otimizadas de MMM

² "Today's intensification of social and urban change, coupled with the need for sustainable responsibility, amplifies the demand for novel architectural solutions." (Fox et al., 2009:29)

³ "O *design* sustentável, também chamado de *design* ecológico, *design* para a sustentabilidade, *design* para o desenvolvimento sustentável ou ecodesign, entre outros nomes, é a filosofia de projetar objetos físicos, o ambiente construído, e serviços em conformidade com os princípios da sustentabilidade nas suas dimensões: social, econômica e ambiental." (McLennan, 2004)

Roberto no Brasil, utilizavam tecnologias passivas para regular temperatura, iluminação e ventilação, diminuindo a dependência de sistemas mecânicos (Barber, 2020). Estas soluções, muitas vezes negligenciadas, representam um ponto de partida crucial para repensar a arquitetura contemporânea.

Complementando esta visão, Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006), destacam que a construção sustentável deve seguir um conjunto de princípios fundamentais para equilibrar as dimensões económica, social e ambiental. Estes princípios incluem:

1. **Economizar energia e água:** Os edifícios devem ser projetados para minimizar o consumo energético durante todas as fases do seu ciclo de vida. Isto inclui o uso de fontes renováveis, a otimização de ventilação e iluminação natural e a implementação de tecnologias de reaproveitamento de água.
2. **Maximizar a durabilidade:** A escolha de materiais duráveis e flexíveis aumenta a vida útil das construções e reduz o impacto ambiental associado a reparos e substituições. Edifícios bem projetados podem ser adaptados para diferentes usos ao longo do tempo, diminuindo a necessidade de novas construções.
3. **Utilizar materiais ecoeficientes:** A preferência por materiais reciclados, locais e de baixa energia incorporada, como madeira e pedra, contribui para reduzir a pegada de carbono e mitiga os impactos da extração de recursos naturais.
4. **Reduzir resíduos:** O planeamento cuidadoso, aliado ao uso de tecnologias pré-fabricadas, pode minimizar a produção de resíduos durante a construção, manutenção e demolição.
5. **Planear a manutenção:** Manter os edifícios em bom estado prolonga a sua vida útil e garante que eles continuam a desempenhar as funções de forma eficiente e segura.

Além desses pilares, a arquitetura deve explorar novas tecnologias que integrem funcionalidade, estética e eficiência ambiental. Calder e Barber apontam para o potencial de tecnologias digitais, como o BIM, que permitem prever o desempenho energético de um edifício antes da sua construção. Estas ferramentas ajudam a reduzir desperdícios e a integrar soluções de *design* sustentável desde a fase de projeto (Calder, 2021; Barber, 2020). Em grandes edifícios ou espaços de escritório podem também ser aplicadas tecnologias como sistemas de *automação predial*, ou BEMS⁴, que permitem medir e otimizar a gestão destes.

⁴ Gerir a energia e outras necessidades dos edifícios de forma eficiente e inteligente pode trazer benefícios consideráveis. Um sistema de gestão da energia de um edifício (BEMS) é um método sofisticado para monitorizar e controlar as necessidades energéticas do edifício. Para além da gestão da energia, o sistema pode controlar e monitorizar uma grande variedade de outros aspectos do edifício, independentemente de este ser residencial ou comercial. Exemplos destas

Por fim, a arquitetura deve adaptar-se às particularidades climáticas e culturais de cada região. Em áreas como o Mediterrâneo, por exemplo, o *design* deve aproveitar ao máximo a luz solar disponível, enquanto protege os utilizadores de calor excessivo, encontrando um equilíbrio. Soluções como telhados verdes, fachadas ventiladas e sistemas de sombreamento são exemplos de como a arquitetura pode responder às especificidades regionais, integrando tradição e inovação (Calder, 2021; Mateus et al., 2006).

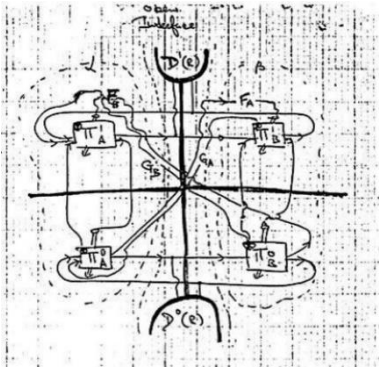
Em concordância com a responsabilidade que a arquitetura e a construção representam, foram delimitadas metas que visam melhorar o impacto ambiental deste setor. Até 2030, todos os novos edifícios, infraestruturas e projetos de renovação deverão reduzir, no mínimo, 40% do carbono incorporado, incluindo uma diminuição expressiva do carbono inicial, enquanto os novos edifícios terão de alcançar zero carbono operacional líquido. Até 2050, espera-se que todos os edifícios novos e renovados atinjam zero carbono incorporado líquido e que o parque edificado existente alcance igualmente zero carbono operacional líquido, contribuindo assim para um ambiente construído mais resiliente e sustentável (WorldGBC, 2019). Para alcançar a meta de zero carbono até 2050, a arquitetura precisa liderar uma revolução sustentável, promovendo a reutilização de edifícios existentes, a adoção de materiais ecoeficientes e a aplicação de normas rigorosas de desempenho energético. Este é um desafio coletivo, que exige o envolvimento de arquitetos, governos e cidadãos, comprometidos em construir um futuro que respeite os limites do planeta e assegure a qualidade de vida das gerações futuras.

«Todas as decisões desempenham um papel importante e o sentido de responsabilidade deve orientar todas as nossas escolhas no que respeita à conceção, construção, funcionamento e, em última análise, reutilização ou eliminação de edifícios.» - Rafail Bakolas (Apêndice VI)

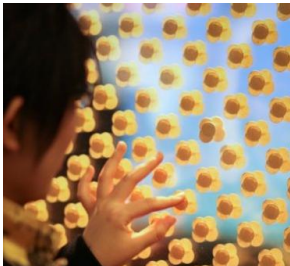
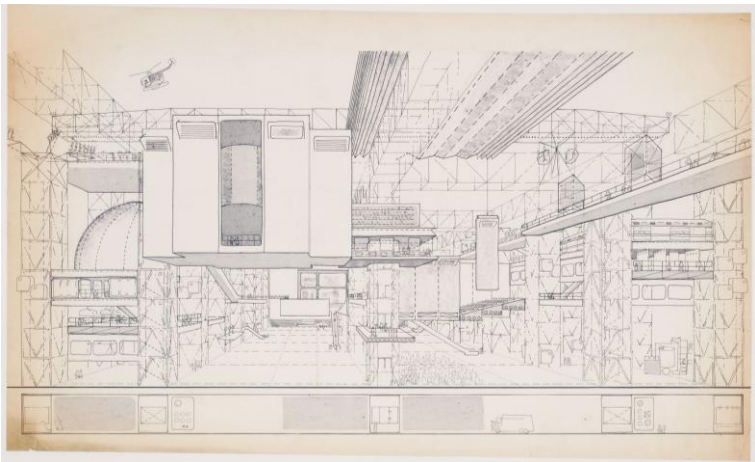
Assim, equilibrar inovação tecnológica, eficiência energética e respeito pelo meio ambiente será essencial para criar espaços que promovam a neutralidade climática sem sacrificar a qualidade de vida. A arquitetura sustentável, transcende o ato de construir e torna-se uma disciplina capaz de moldar comportamentos e culturas, liderando o caminho para um futuro mais consciente e equilibrado.

funções são o aquecimento, a ventilação e o ar condicionado (AVAC), a iluminação ou as medidas de segurança. (CTCN, s.d.)

3 | INTERATIVIDADE EM ARQUITETURA



Soft	Architecture	Machines	Nicholas Negroponte



THE LINE
REVOLUTIONARY URBANISM

THE LINE IS COMPRISED OF A SERIES OF INTERCONNECTED MODULES, REACHING 500M HIGH.

THE CORE ELEMENTS OF EVERY MODULE ARE STANDARDIZED TO MAXIMIZE COMPATIBILITY AND DRIVE DOWN CONSTRUCTION COSTS.

170 KM
LENGTH OF THE LINE

500 M ABOVE SEA-LEVEL
HEIGHT OF THE LINE

200 M
WIDTH OF THE LINE

34 SQ. KM
FOOTPRINT OF THE LINE
2% OF CONVENTIONAL CITIES

NEOM.COM

A adaptabilidade é um conceito fundamental que reflete a essência da natureza e a sua capacidade de transformação contínua. Esta, como característica intrínseca dos seres vivos, permite-lhes ajustar a mudanças no ambiente, garantindo a sobrevivência e a evolução. Já a interatividade sublinha as relações dinâmicas e interdependentes entre os elementos de um ecossistema, promovendo a harmonia e o equilíbrio natural. Estas capacidades não só representam a complexidade dos sistemas vivos, mas também demonstram como a adaptação é um processo essencial para sustentar a vida e manter a resiliência perante os desafios do meio ambiente.

Na arquitetura, esses mesmos princípios encontram ressonância, especialmente no contexto de uma abordagem mais sustentável e sensível às mudanças. A adaptabilidade traduz-se na capacidade de espaços e estruturas se ajustarem às necessidades mutáveis dos seus utilizadores e ao contexto ambiental, assegurando a sua relevância e funcionalidade ao longo do tempo. Introduce-se, assim, a biomimética derivada do grego *bio*, que significa vida, e *mimesis*, que significa imitação, ou seja, imitação da vida. Definida por Otto Schmitt, como uma '*abordagem científica dos sistemas, processos e modelos da natureza, imitando-os para resolver problemas humanos*'⁵ (Fox, 2016:148), a biomimética, quando aplicada à arquitetura, dá origem a conceitos como arquitetura bioinspirada ou bioarquitetura⁶. Assim, a arquitetura contemporânea, ao incorporar estes princípios, aproxima-se cada vez mais do funcionamento de um ecossistema natural, evidenciando a sua capacidade de se adaptar e evoluir em harmonia com o mundo que a rodeia.

Historicamente, quando se fala de adaptabilidade, reação e interatividade destacam-se nomes de cibernéticos e teóricos como Norbert Wiener e Gordon Pask. Wiener⁷ é considerado o fundador da cibernética, tendo-a definido em 1948, no seu livro *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, como a '*ciência que estuda os mecanismos de comunicação e de controlo nas máquinas e nos seres vivos*'⁸ (Wiener, 1965). Foi ainda um dos primeiros a teorizar que todo o comportamento inteligente resulta de mecanismos de *feedback*, que podiam ser simulados por máquinas, representando um importante passo inicial para o

(pág. anterior)

[F.06] *Diagrama da Conversation Theory de Pask*. Haque, 2007.

[F.07] *Soft Architecture Machine*. Negroponte, 1975.

[F.08] *Fun Palace*, Price (1961-1974). CAA, s.d.

[F.09] *Adaptive Building Initiative*, 2022.

[F.10] *Adaptive Fritting™* (Harvard GSD). ABI, 2009.

[F.11] *The Line*. Neom, 2022.

⁵ "Norbert Wiener characterized cybernetics back in 1948 as the scientific study of 'control and communication in the animal and the machine.' As a secondary matter of clarification, biomimetics was created by Otto Schmitt in 1969 as a scientific approach to systems, processes, and models in nature, imitating them in order to solve human problems."

⁶ "Bioarchitecture is a blending of art/architecture and biomimetics/bioinspiration, and incorporates a bioinspired design from the outset in all parts of the work at all scales." (Ripley et al., 2016)

⁷ Norbert Wiener (26 de novembro de 1894, Columbia - 18 de março de 1964, Estocolmo) foi um cientista informático, matemático e filósofo americano. Foi professor de matemática no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Wiener, um dos primeiros investigadores em processos estocásticos e matemáticos de ruído, é considerado o pai da cibernética, uma formalização da noção de *feedback*, com implicações para a engenharia, o controlo de sistemas, a informática, a biologia, a filosofia e a organização da sociedade. (Monoshop, 2019)

⁸ ("cibernética", in [Priberam, 2008-2025] <https://dicionario.priberam.org/cibern%C3%A9tica>, consultado a 11/12/2024)

desenvolvimento da inteligência artificial moderna. Também a *Conversation Theory* de Pask⁹ (F.06) ‘esteve na origem de grande parte do desenvolvimento da arquitetura interativa, estabelecendo um modelo pelo qual os arquitetos interpretavam espaços e utilizadores como sistemas de feedback completos’¹⁰ (Fox, 2016). Esta, enquanto teoria abrangente da interação, revela-se especialmente pertinente, dado o crescente esforço em estabelecer relações construtivas entre humanos, máquinas e ambiente, como é o caso da arquitetura interativa. (Kolarevic, 2007). A teoria cibernética ‘continuou a ser desenvolvida no final dos anos sessenta e início dos anos setenta por pessoas como Warren Brody, Nicholas Negroponte, Charles Eastman, Andrew Rabeneck e outros [Cedric Price], que expandiram as teorias anteriores de Wiener e Pask’¹¹ (Fox, 2016) e lançaram as primeiras ideias de arquitetura adaptativa e responsiva em resposta à rigidez e inflexibilidade da arquitetura tradicional. Mais tarde, estes temas foram ainda aprofundados em Teses de Doutorado e Dissertações de Mestrado, de autores como Gonçalo Furtado Lopes (2007), Cristina Ferreira (2009), Gonçalo Castro Henriques (2013), Renata Moreira (2013) e Catarina Brites (2018).

Cedric Price¹² foi o primeiro a adotar conceitos da cibernética e a utilizá-los para desenvolver a ideia de uma *Arquitetura Antecipatória*, exemplificada nos seus projetos *Fun Palace* (1961-1974) (F.08) e *Generator* (1976-1980), o primeiro projeto de um edifício cibernético (CAA, s.d.). Nicholas Negroponte¹³, por sua vez, propôs integrar computação aos edifícios para melhorar o desempenho arquitetónico. No seu livro *Soft Architecture Machines* (1975) (F.07), Negroponte sugeriu que os edifícios poderiam evoluir e se adaptar como mecanismos dinâmicos, antecipando um futuro onde se ‘viveria dentro de máquinas arquitetónicas’ (Negroponte, 1975:132). Simultaneamente,

⁹ “Andrew Gordon Speedie Pask (1928-1996) foi um inglês ciberneticista, psicólogo e teórico da educação [...] Nos seus contributos para a cibernética, a psicologia da educação, a teoria da aprendizagem e a teoria dos sistemas, Pask enfatizou a natureza pessoal da realidade e descreveu os processos de aprendizagem como o resultado de um acordo consensual entre actores que interagem num determinado ambiente (‘conversação’).” (ZKM, s.d.); “Começando na década de 1950 com a experimentação com máquinas e computadores adaptativos, Pask desenvolveu nas décadas de 1960 e 1970 abordagens teóricas altamente inovadoras que poderiam ser aplicadas a uma variedade de campos, incluindo ciências sociais e naturais, bem como humanidades e artes.” (Furtado et al., 2009:2)

¹⁰ “Pask’s conversation theory informed much of the original development in interactive architecture, basically establishing a model by which architects interpreted spaces and users as complete feedback systems.”

¹¹ “Cybernetic theory continued to be developed into the late sixties and early seventies by the likes of Warren Brody, Nicholas Negroponte, Charles Eastman, Andrew Rabeneck, and others, who expanded upon the earlier ideas of Pask and Wiener.”

¹² “Cedric Price (1934-2003) foi um arquiteto, professor e escritor inglês cuja obra, embora maioritariamente não construída, teve uma influência marcante na arquitetura contemporânea. Como colaborador do Magazine Archigram, em 1962, participou do segundo número da revista com um artigo intitulado *Activity and Change*, em que defendia uma disciplina de desenho que não fosse obstáculo às transformações no uso.” (Spatial Agency, 2010)

¹³ Nicholas Negroponte (Nova Iorque, 1 dez 1943), filho de gregos, é um cientista americano formado em Arquitetura. Co-fundou o MIT *Media Lab* com Jerome B. Wiesner em 1985 e foi o seu primeiro diretor. Formado pelo MIT, Negroponte juntou-se ao corpo docente em 1966 e foi pioneiro no domínio do *design* assistido por computador. Em 2005, Negroponte fundou a organização sem fins lucrativos OLPC (*One Laptop per Child*), que distribuiu mil milhões de dólares em computadores portáteis para o ensino primário no mundo em desenvolvimento. No setor privado, fez parte do conselho de administração da Motorola durante 15 anos e foi sócio geral de uma empresa de capital de risco especializada em tecnologias digitais para informação e entretenimento. Forneceu pessoalmente fundos para o arranque de mais de 40 empresas, incluindo a Zagats e a revista WIRED. (MIT, s.d.)

Charles Eastman introduziu a ideia de *Arquitetura Adaptativa-condicional* (1972), que se ajusta com base no *feedback* dos utilizadores e do ambiente. Este autor definiu os elementos essenciais de sistemas reativos, como sensores, algoritmos de controlo, atuadores e interfaces para personalização. (Kolarevic, 2007) O *Fresh Water Pavilion* de 1997 (Lars Spuybroek, NOX Architecture), representa uma das primeiras manifestações da arquitetura interativa, explorando a dissolução das fronteiras entre o físico e o virtual. O pavilhão é um organismo dinâmico e responsivo, incorporando sensores, luzes e som. No mesmo contexto, o *Salt Water Pavilion* (Kas Oosterhuis), enfatiza a fusão entre tecnologia e arquitetura através de sistemas interativos e computação ubíqua. (Görgül, 2016:2836).

A par de perceber os autores e arquitetos que tiveram um papel fundamental nos conceitos que iremos abordar a seguir, especialmente no tema da interatividade, é essencial enquadrar a evolução da sociedade e o seu impacto na arquitetura e no *design*. Alvin Toffler, em 1970, escreveu o livro *The Third Wave*, onde desenvolveu a teoria *three-wave* sobre o desenvolvimento da sociedade que, por sua vez, influenciou significativamente a evolução do *design* como um todo (Shakirova, 2020). Com base nesta teoria e nas conexões estabelecidas por diversos estudiosos entre o *design* e a arquitetura, percebemos como a evolução se direcionou no sentido da interatividade.

A teoria *three-wave*, como o nome indica, divide-se em três momentos/ondas. Na primeira onda (*First Wave*), corresponde ao Renascimento (2000 a.c. a 1789), um período ligado à agricultura e à terra, onde a arquitetura era celebrativa, ornamentada e ambicionava expansão. A construção fazia uso de materiais maciços, caracterizando-se continuidade, sem quebras. Com um carácter aparentemente figurativo, permitia a identificação clara de todos os seus elementos e formas, seguindo um desenho bem definido e uma tipologia funcional de organização espacial, ou seja, um desenho pré-concebido. – ‘*Eu existo como eu represento*’. Nesta onda, os edifícios fechavam-se em si mesmos e para a cidade, respeitando as regra e desenho urbano, existindo como um todo coeso. Na área da estética, encontra-se o grande *catalisador*¹⁴ desta era, a *perspetiva*, que influenciou e permitiu agrupar todas estas características, classificando-as como uma onda. Esta nova visão do mundo, desconhecida pela arquitetura gótica, quebra a ligação com o sentimento característico desta época.

A segunda onda (*Second Wave*) está associada à era industrial (1789 a 1956), inerentemente ligada às máquinas e ao funcionalismo – ‘*Eu existo como eu funciono*’.

¹⁴ Por catalisador entende-se um agente que permite a ocorrência de uma reação. “Catalyst: 1. by catalyst we mean an agent that allows a reaction to occur; 2. acts in the combination, direction, and meaning assumed by many substances placed in its presence.”; “Substance: The tension toward the transformation of the world through the critical awareness of one’s own time and its crises.” (Saggio, 2022:189,301)

A transição entre a primeira e a segunda onda de Toffler é, por vezes, reconhecida como a passagem da Idade do Ferro para a Idade do Aço. Esta segunda onda vem contrariar praticamente todas as características da primeira, com a arquitetura da era industrial a focar-se na produtividade, em que a forma segue a função, resultando numa arquitetura funcionalista, sem tipologias ou programas pré-concebidos, o que implica formas fragmentadas e uma construção punctiforme. Transforma-se numa arquitetura abstrata, onde deixa de ser possível identificar todos os seus elementos. Os edifícios abrem-se para a cidade, como se fizessem parte dela. Estas características constituem uma onda impulsionada pelo catalisador da *transparência* – que altera para sempre a ideia de espaço e quebra o foco na perspetiva. Importa referir que vidro e transparência não significam a mesma coisa, o vidro já era utilizado muito antes.

Por fim, a terceira onda (*Third Wave*), que estamos a viver atualmente, está associada à era da informação (1957 até hoje), impulsionada pela informática – ‘*Eu existo como eu informo*’. Ainda não existe uma definição clara para esta transição, embora, por vezes, se utilize o termo *sociedade pós-industrial*, originário do sociólogo Daniel Bell, para além da terminologia *sociedade da Terceira Vaga* de Toffler. Nesta onda, a natureza da sociedade (relações entre as pessoas e estruturas políticas e económicas) é significativamente alterada pelo impacto das novas tecnologias e as vidas das pessoas são modificadas para servir a tecnologia (Toffler, 1980). Por outro lado, a tecnologia também se adapta aos desejos das pessoas, oferecendo opção de escolha, em contraste com a generalização em massa baseada em preferências médias, potenciando, assim, a individualização. Desta forma, a *interação* é o catalisador desta época da informação tecnológica, alterando o paradigma da arquitetura e transformando-a profundamente. O sujeito é colocado no centro, permitindo variabilidade e personalização, em vez da anterior serialidade e padronização, incorporando a possibilidade de criar modelos de informação interconectados e mutáveis, que podem ser continuamente reconfigurados. (Saggio, 2022:193)

Colmatando com o ponto de vista de Saggio, ‘*assim como a arquitetura renascentista foi transformada para se tornar humanizável, e a arquitetura funcionalista foi completamente reestruturada para ser industrializável (ou seja, não "apenas" produzida em série, mas também se tornando objetiva, serial, abstrata e mecânica), a arquitetura de hoje luta para se tornar informatizável, para absorver a essência dinâmica, interconectada e, acima de tudo, interativa do paradigma da TI. Neste contexto, a interatividade significa que a arquitetura deve tender a ser continuamente modificável, à semelhança e imagem da própria tecnologia da informação, e tornar-se um ambiente sensível em constante transformação; um ambiente capaz de reagir e adaptar-se,*

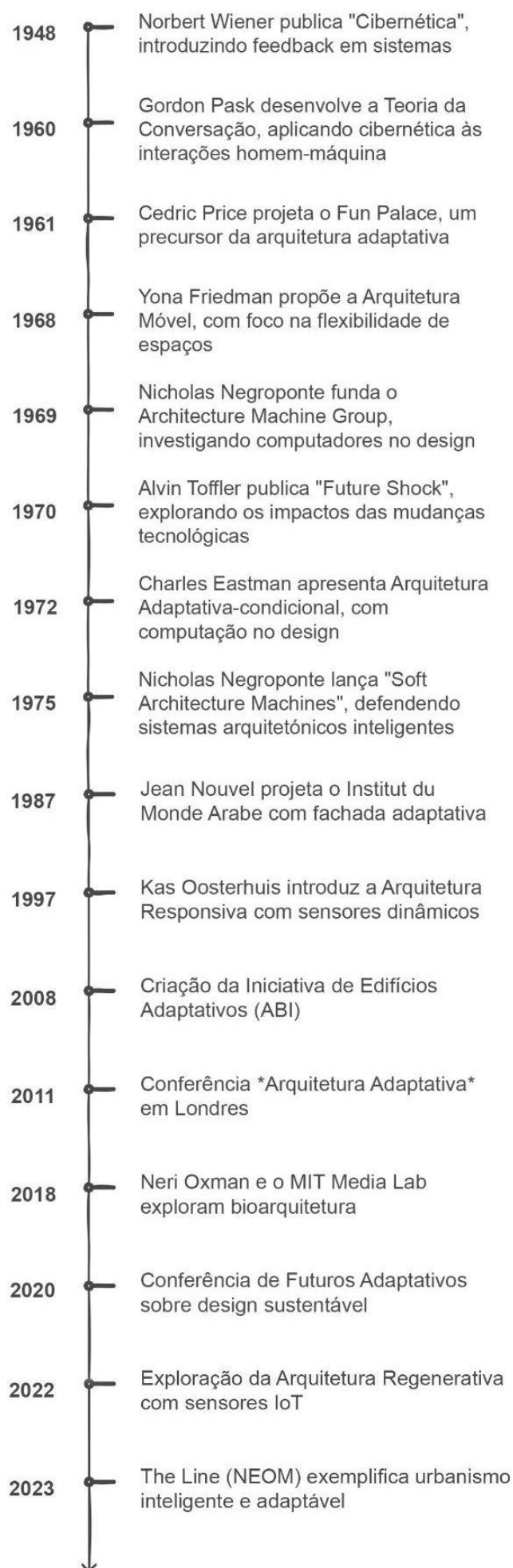
mesmo mudando, para se adequar aos desejos dos utilizadores [...]”¹⁵. (Saggio, 2022:197)

Nesse sentido, em 2008, nasceu a *Adaptive Building Initiative* (ABI) (F.09 e F.10), criada por Hoberman e Schwitter (Buro Happold) com o intuito de desenvolver edifícios capazes de otimizar configurações em tempo real em resposta ao ambiente, com foco inicial em fachadas ambientalmente responsivas (Drozdowski, 2011). Em 2011, decorreu a conferência *Adaptive Architecture*, em Londres, organizada por Michael Stacey, que abordou temas como Fachadas Dinâmicas, Estruturas Transformáveis, Materiais Bioinspirados e Inteligência, representando uma taxonomia da pesquisa atual. (Kolarevic, 2007) Michael Fox foi coautor, em 2009, e autor, em 2016, de dois livros intitulados *Interactive Architecture*, que também marcam o tema da interatividade na arquitetura.

Entre 2018 e 2023, a arquitetura adaptativa e sustentável deu passos significativos, integrando tecnologias avançadas e conceitos ecológicos inovadores. Em 2018, Neri Oxman, juntamente com o *MIT Media Lab*, destacou-se ao explorar a bioarquitetura, utilizando materiais vivos e sustentáveis, como bactérias e fungos, para desenvolver estruturas regenerativas com o objetivo de responder aos desafios climáticos (Oxman, 2018). Em 2020, a *Adaptive Futures Conference* (2020) reuniu especialistas de várias áreas para discutir abordagens inovadoras no *design* adaptativo, com foco em sustentabilidade e na utilização de tecnologias emergentes como a IA e os materiais inteligentes (IISD, 2020). Em 2022, os conceitos de *Arquitetura Regenerativa* ganharam força, com a integração de sensores IoT (Internet das Coisas) para monitorizar e otimizar edifícios em tempo real, promovendo uma gestão energética mais eficiente e uma resposta dinâmica às condições ambientais (Alcatel-Lucent Enterprise, 2024). Finalmente, em 2023, o projeto *The Line* (F.11), parte de NEOM¹⁶, na Arábia Saudita, propôs o urbanismo inteligente e adaptável em grande escala. Este empreendimento ambiciona redefinir o planeamento urbano, criando uma cidade linear de alta densidade, que utiliza tecnologias de ponta para eliminar emissões de CO₂, reduzir o uso de recursos naturais e melhorar a qualidade de vida dos seus habitantes.

¹⁵ “Just as Renaissance architecture was transformed to become humanizable, and Functionalist architecture was completely restructured to be industrializable (meaning not “only” produced in series but also becoming objective, serial, abstract, and mechanical), so today’s architecture struggles to become informatizable, to absorb the dynamic, interconnected, and above all interactive essence of the IT paradigm. In this context, interactivity means architecture must tend to-ward being continuously modifiable, in the likeness and image of information technology itself, and become a sensitive environment in constant transformation; an environment able to react and adapt even in changing to fit the desires of users through the creation of scenarios as feasible as if they were hypertexts.”

¹⁶ “NEOM é uma área urbana de 26 500 km², que está a ser construída pela Arábia Saudita em Tabuk. Estão planeadas várias regiões, incluindo um complexo industrial flutuante, um centro de comércio global, estâncias turísticas e uma cidade linear alimentada por fontes de energia renováveis. As três primeiras letras provêm do prefixo grego antigo ‘neo-’, que significa ‘novo’, o ‘M’ é a primeira letra de ‘Mustaqbal’, uma palavra árabe que significa ‘futuro’.” (NEOM, 2022)

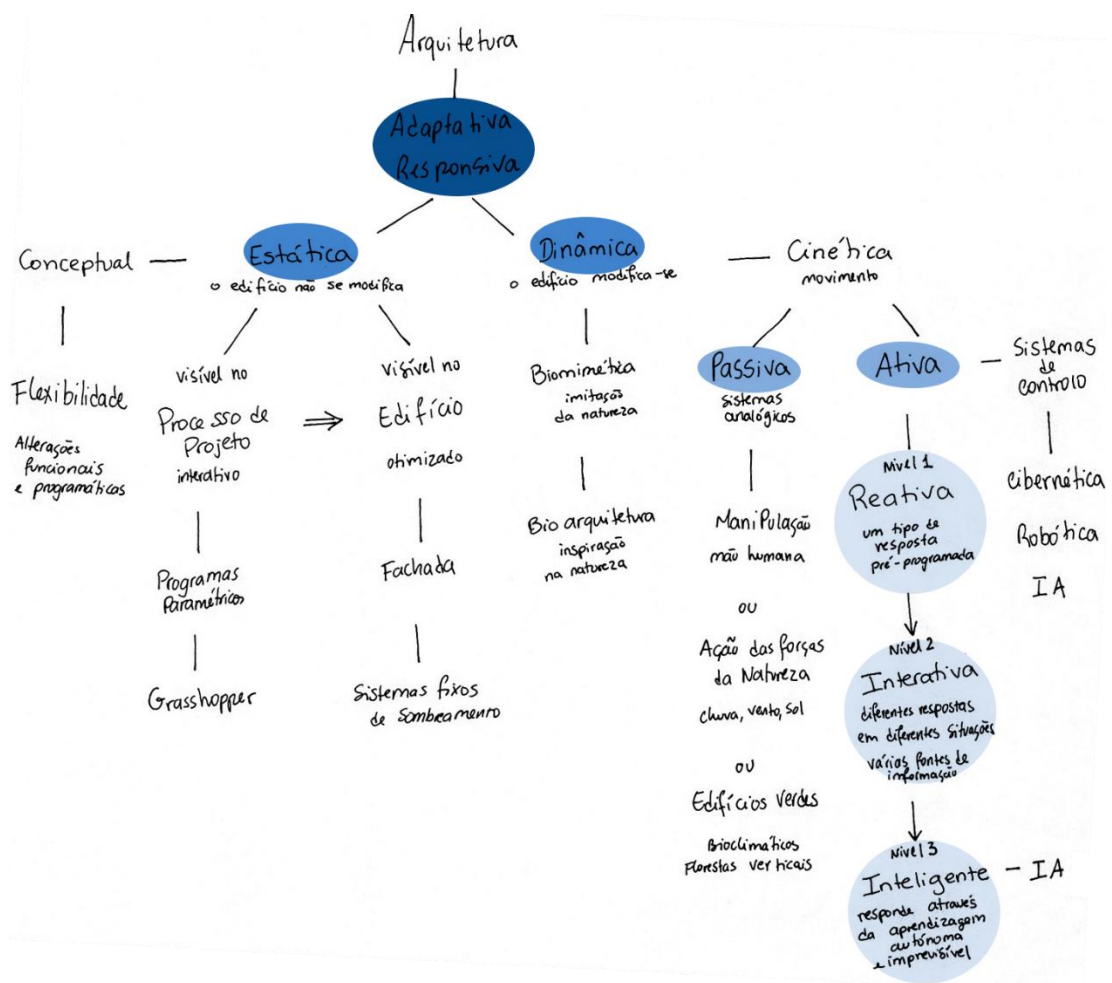


[F12] Evolução histórica do tema da interatividade em arquitetura. Autora (2025).

3.1 | ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

Ao estudar o significado de interatividade e como este surgiu e evoluiu, cruzámo-nos com outros conceitos que consideramos fundamentais para a compreensão deste termo. Estes conceitos permitem balizar as características da interatividade na arquitetura e reforçar a escolha da palavra *interatividade* para definir o estudo deste trabalho.

A *Arquitetura Responsiva* representa a possibilidade de adaptar, em diferentes níveis, o meio construído às vontades do utilizador ou segundo um input exterior, ou seja, criar uma arquitetura passível de ser alterada, seja de forma estática, através da função do espaço, ou dinâmica, através do movimento¹⁷ de partes ou do todo. Os edifícios e/ou os seus componentes tornaram-se adaptativos/responsivos, flexíveis, manipuláveis, reativos, interativos ou inteligentes.



[F.13] Esquema de conceitos. Autora, 2025.

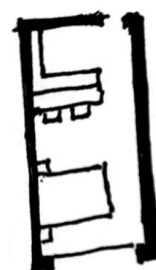
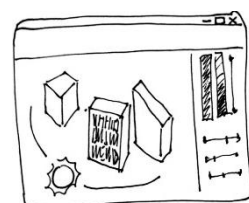
¹⁷ 1. Ato ou efeito de mover ou de mover-se; 2. Deslocação; 3. Mudança de lugar ou de posição. ("movimento", in [Priberam, 2008-2025] <https://dicionario.priberam.org/movimento>, consultado a 12/12/2024)

Como vimos anteriormente, as primeiras definições de uma arquitetura responsiva surgiram no final da década de 60 e início da década de 70, como resultado de desenvolvimentos paralelos na cibernética, na robótica¹⁸, na IA e nas tecnologias da informação, em resposta à articulação rígida e inflexível do espaço e da sua configuração. Nicholas Negroponte foi um dos pioneiros a sugerir a integração de tecnologias computacionais na arquitetura para responder a estímulos externos, conceito que inspirou abordagens posteriores, as quais incorporaram as tecnologias já mencionadas, para ajustar as características físicas dos edifícios em função do clima, do uso do espaço e do comportamento dos utilizadores. (Henriques, 2015:203)

Entre os teóricos que influenciaram o desenvolvimento da arquitetura responsiva, destaca-se Gordon Pask, que introduziu conceitos da cibernética na arquitetura ao sugerir sistemas de controlo baseados em *feedback*. Christopher Alexander, por sua vez, enfatizou a importância dos sistemas gerativos, nos quais os elementos arquitetónicos são organizados de maneira holística para garantir a adaptação ao meio. Mais recentemente, Tristen Sterk expandiu essas ideias ao propor um modelo híbrido de controlo, combinando automação e manipulação direta para tornar os edifícios responsivos, tanto a nível estrutural quanto funcional. Esse modelo sugere que a arquitetura responsiva deve operar em múltiplas escalas, desde pequenos ajustes em elementos construtivos até transformações significativas na forma e função dos edifícios (Sterk, 2005:226).

Assim, a arquitetura adaptativa ou responsiva representa a capacidade da arquitetura se adaptar e responder a estímulos: de forma estática e não visível na estrutura do edifício – de forma conceptual, no espaço, ou no processo de projeto, refletindo-se apenas nesta fase ou também posteriormente, com edifícios e fachadas estáticos mais otimizados (F.14) –, ou de forma dinâmica, onde a estrutura ou partes dela se modificam – seja por ação passiva, através da manipulação, da ação de forças da natureza, ou do ciclo natural de edifícios ajardinados¹⁹, seja por ação ativa, através de sistemas de controlo com diferentes graus cognitivos.

O primeiro conceito que iremos definir representa uma adaptação estática, na qual o edifício não se modifica, mas pode alterar-se conceptualmente. Introduz-se assim a *Arquitetura Flexível*, uma filosofia de conceção centrada na criação de edifícios que se adaptam à evolução das circunstâncias ao longo da sua vida útil (F.15). Dá ênfase à multifuncionalidade, à interação com o utilizador e à sustentabilidade, integrando



¹⁸ “agente mecânico guiado por um programa”. “Last, it seems necessary to define robotics, which is here interpreted as a mechanical agent guided by a program.” (Fox, 2016:148)

¹⁹ Os edifícios ou fachadas ajardinados(as) são dinâmicos tanto através da ação das forças da natureza, como o vento que move vegetação, como pelo crescimento e sazonalidade dos elementos naturais.

[F.14] Edifícios estáticos otimizados. Autora, 2025.

[F.15] Arquitetura Flexível. Autora, 2025.

elementos adaptáveis em espaços que apoiam a evolução tecnológica, social e ambiental. Estas concepções promovem a longevidade, a relevância cultural e a viabilidade económica, acomodando as necessidades em constante mudança dos utilizadores e alinhando-as com as prioridades ecológicas e sociais. (Kronenburg, 2005)

Negroponte (1975), previu o que seria a evolução: *'o conceito de um ambiente fisicamente reativo está a passar de sonho a realidade pela força, apropriadamente, das próprias circunstâncias ambientais. Estamos a tornar os edifícios mais sensíveis ao contexto e, ao fazê-lo, não devemos esquecer que o contexto final de resposta de um edifício são as necessidades e os sentidos dos seus habitantes'*²⁰.

Quando entramos no mundo da adaptabilidade dinâmica, emergem vários conceitos, destacando-se a *Arquitetura Cinética*. Todos estes incorporam movimento no edifício, permitindo que a estrutura se modifique, dando origem aos chamados sistemas dinâmicos ou, como referido, estruturas cinéticas. Michael Fox e Miles Kemp (2009) definem, no livro *Interactive Architecture*, o conceito de cinética como *'objetos transformáveis que ocupam dinamicamente um espaço físico predefinido, ou objetos físicos móveis que podem partilhar um espaço físico comum para criar configurações espaciais adaptáveis.'* Acrescentam ainda que *'As implicações da arquitetura cinética tocam o desempenho dos edifícios, por um lado, e a fenomenologia estética, por outro'*²¹. (Fox et al., 2009:27,30)

Em complemento à definição de cinética, é importante destacar que estes sistemas podem estar associados a diferentes graus cognitivos ou de controlo artificial, podendo estes ser passivos ou ativos. Uma adaptação dinâmica passiva utiliza sistemas autónomos analógicos, sem a necessidade de recorrer a uma fonte energética, ou sistemas naturais. Nestes sistemas, o movimento pode ser provocado de uma forma mais direta, através da mão humana - designada por Negroponte como *manipulação*²²-, ou pela ação das forças da natureza, como o vento ou a chuva. Pode também ocorrer de forma menos direta, como no caso da alteração sazonal e crescimento de fachadas ajardinadas (F.16). Por outro lado, a adaptação dinâmica ativa utiliza sistemas complexos computadorizados com sensores, sendo, por isso, dependentes de tecnologia e de equipamentos especializados. Como refere Luísa

²⁰ "the concept of a physically responsive environment is being turned from dream to reality by the force, appropriately enough, of environmental circumstances themselves. We are making buildings more context responsive, and in doing so we should not forget that a building's final context of response is the needs and senses of its inhabitants." (Negroponte, 1975)

²¹ "Kinetics, [...] transformable objects that dynamically occupy predefined physical space, or moving physical objects that can share a common physical space to create adaptable spatial configurations."; "The implications of kinetic architecture touch upon building performance on the one hand and aesthetic phenomenology on the other."

²² Manipulação é uma ação aberta dirigida pelo(s) utilizador(es). O ambiente manipulador é um ambiente passivo, um ambiente que é movido e não um ambiente que se move; "is an overt action directed by the user(s). The manipulative environment is a passive one, one that is moved as opposed to one that moves." (Negroponte, 1975:132)

Almeida, *'São aspetos que, a nível técnico escapam às competências do utilizador e a nível económico e ambiental pesam mais no consumo de recursos do que os sistemas manuais.'* (Almeida, 2014:43) A par destes vários níveis de controlo e focando-nos nos sistemas responsivos dinâmicos ativos, enunciámos três conceitos que representam diferentes graus de capacidade cognitiva, do menor para o maior, respetivamente: *Reativo, Interativo e Inteligente*.

Com a integração da tecnologia de sensores, a resposta de um sistema *Reativo* é pré-programada, permitindo apenas um tipo de resposta. Assim, todos os elementos que compõem o espaço arquitetónico, como forma, cores e espaços, podem adaptar-se a condições pré-definidas ou desejáveis de modo responsivo.

Apesar de os sistemas reativos possuírem um nível de controlo artificial, continuam a ser bastante limitados, pois *'não podem satisfazer as exigências imediatas dos utilizadores ou responder a alterações súbitas que invalidam o modelo'*²³ (Negroponte, 1975:132). Assim, segundo Negroponte, *'O modelo simples de computação de deteção-efeito, que vê um processador a receber sinais dos seus sensores e a emitir respostas com os seus atuadores, não é adequado para criar uma arquitetura responsiva'*²⁴ (Negroponte, 1975:135)

Por conseguinte, evoluindo em relação ao grau de capacidade cognitiva atribuído ao sistema de controlo, surge a *Interatividade*, definida pelo *Dicionário de Oxford* (s.d.) como uma *'atividade que envolve interação'* ou como a *'propriedade de ser interativo'*. A distinção entre interação e reação é crucial: enquanto a reação é uma resposta unilateral, a interação exige uma troca contínua de informação entre os sistemas e os seus utilizadores, criando uma relação bidirecional que vai além de respostas pré-programadas (Steenon, 2014:V1,7-11).

Nicholas Negroponte (1975) também destaca que os sistemas interativos não se limitam a comportamentos reativos simples, mas integram processos de aprendizagem e adaptação. Ele observa que o comportamento destes sistemas é *'propositado, se não inteligente'*²⁵, e que *'um ambiente equipado com sensores e atuadores, dotado de uma imagem funcional de si mesmo, pode monitorizar e regular condições ambientais, bem como mediar padrões de atividade para criar espaços mais*

²³ "it cannot satisfy the immediate demands of the users or respond to sudden changes that invalidate the model"

²⁴ "The simple sensing-effecting model of computation that views a processor receiving signals from its sensors and emitting responses with its actuators is not appropriate to making responsive architecture"

²⁵ "Its response is nontrivial in that some "learning" is involved and the form of the response is not predetermined. Its behavior is purposeful if not intelligent." (Negroponte, 1975:127)

*eficientes e graciosos*²⁶ (Negroponte, 1975:127). Este tipo de interação avançada reflete uma capacidade cognitiva capaz de gerar respostas contextuais e adaptativas, manifestando uma verdadeira compreensão.

Marcos Novak amplia esta visão com o conceito de *'transactive intelligence'*, descrevendo uma inteligência que não apenas interage, mas transforma simultaneamente o utilizador e a si mesma (Silva, 2005). Esta abordagem introduz a possibilidade de os sistemas arquitetónicos evoluírem continuamente e se reinventarem, adaptando-se ao longo do tempo com base em mudanças nas necessidades dos utilizadores e nas condições ambientais, gerando respostas imprevisíveis e otimizadas. Os edifícios adaptativos *Inteligentes* exemplificam esta ideia ao ajustarem-se a condições climáticas variáveis, utilizando sensores e algoritmos para otimizar a sua eficiência e funcionalidade (Knaack et al., 2007:85)²⁷. Estes edifícios atuam como interfaces entre os utilizadores e o meio envolvente, aprendendo constantemente e mediando as suas exigências e interações de forma eficaz, através da introdução de uma *'memória'*²⁸ (van Hinte, 2003:9).

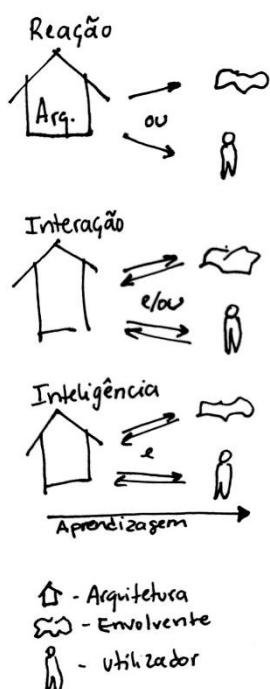
Consideramos imprescindível esclarecer que a terminologia *grau cognitivo* de um sistema é sinónima de *nível de inteligência* desse sistema de controlo. Esta terminologia é correspondente com os termos *smart* ou *smartness* em inglês, que equivalem, de forma literal, a *esperteza* em português. A característica *smart* envolve a capacidade de pensar rapidamente, tomar decisões práticas e resolver problemas de forma eficaz, distinguindo-se de inteligência, que normalmente é vista como a capacidade de aprender, compreender e aplicar conhecimentos (Brodowicz, 2024).

Em suma, a distinção entre os conceitos reativo, interativo e inteligente reflete uma progressão nos graus de complexidade, decisão e autonomia dos sistemas de controlo, ou seja, uma progressão do *grau cognitivo* (F.17). Um sistema reativo é caracterizado por respostas pré-programadas a estímulos específicos, limitando-se a uma ação unilateral e previsível. Já a interatividade vai além, estabelecendo uma troca de informações entre o edifício, o ambiente e os utilizadores, permitindo adaptações em tempo real baseadas em inputs contextuais. Por sua vez, um sistema inteligente incorpora capacidades de aprendizagem, adaptação contínua e evolutiva, utilizando

²⁶ "(...) if, in addition to sensors and actuators our environment had a functional image of itself upon which it was able to map actual occupant activity, it would not only be able to monitor and regulate environmental conditions but also to mediate the activity patterns through the allocation of functional spaces. In short, it would know what was going on inside itself and could manage things so as to[...] provide a more efficient and gracious environment." (Negroponte, 1975:127)

²⁷ "Buildings able to adapt to changing climatic conditions are called intelligent buildings. Since the term intelligent can be misleading when used in the context of buildings or façades, we will use the term adaptive façade instead. Adaptation generally means that buildings and façades adapt to current weather conditions."

²⁸ "But there's more to smart architecture than that. It is interactive, a smart building presents itself as an interface between its users and the surroundings. It mediates between the demands and desires of users and environment. In doing so it is behaving intelligently; it uses its sensors to build up a 'memory' and to learn."



algoritmos avançados para prever necessidades e gerar respostas inovadoras e eficazes ao longo do tempo. Esses níveis crescentes de sofisticação não apenas ampliam as possibilidades do ambiente construído, mas também reconfiguram a relação entre arquitetura, ambiente, tecnologia e utilizadores, promovendo a eficiência e otimização.

3.2 | APLICAÇÕES PRÁTICAS

A evolução das tecnologias de modelação computacional transformou profundamente o universo da arquitetura, permitindo a conceção de formas outrora difíceis de representar. Estas ferramentas possibilitam a criação de soluções complexas em segundos, simplificando processos e ampliando a capacidade criativa. Esta transformação não só acelerou o desenvolvimento de projetos, como também trouxe uma versatilidade sem precedentes, permitindo alterações imediatas em resposta a variações de parâmetros e dados iniciais.

Historicamente, a interação entre o projeto arquitetónico e o meio envolvente limitava-se à fase inicial de conceção, onde o arquiteto procurava antecipar as respostas do edifício a fatores ambientais, culturais ou sociais. Com o avanço das tecnologias digitais, esta interação ultrapassou o campo teórico, podendo manifestar-se diretamente nas estruturas edificadas. Os edifícios deixaram de ser entidades estáticas e imutáveis para se tornarem organismos dinâmicos, capazes de responder, de se adaptar e de evoluir de acordo com as necessidades dos utilizadores e com as condições ambientais.

«A evolução tecnológica acelerada que atravessamos compreende sistemas cada vez mais avançados, baratos e práticos de implementar. Se somarmos a isto o advento da inteligência artificial cada vez mais acessível e ubíqua, o campo dos sistemas físicos interativos inteligentes aplicados à arquitetura será, certamente, uma realidade cada vez mais prática e viável.» - José Pedro Sousa (Apêndice I.c)

A inteligência artificial emerge, por isso, como uma adição a esta revolução, podendo integrar-se em todas as fases do processo arquitetónico. Desde a conceção até à execução, a IA pode redefinir o setor, introduzindo novas abordagens em busca de eficiência, sustentabilidade e/ou inovação.

«Atualmente, os avanços tecnológicos trouxeram-nos a Internet das Coisas (IoT), em que um conjunto de sistemas "inteligentes" interligados utiliza sensores para automatizar muitos destes serviços, respondendo em tempo real às diferentes condições ambientais ou aprendendo e adaptando-se às nossas rotinas e preferências pessoais. A dependência de sistemas altamente complexos introduz vulnerabilidades devido a um maior número de potenciais pontos de falha e a custos de manutenção mais elevados. No entanto, estes sistemas

também oferecem o potencial para otimizar o desempenho dos edifícios e reduzir significativamente o seu impacto ambiental.» - Rafail Bakolas (Apêndice VI)

Assim, a arquitetura transcende a sua definição tradicional e assume um papel interativo e participativo, refletindo-se no processo e na forma de projetar, na adaptabilidade dos edifícios como um todo ou em partes dele e na capacidade dinâmica das fachadas. Os espaços construídos interagem com os utilizadores e o meio envolvente, reforçando o vínculo entre o humano, o artificial e o natural. Em seguida, analisam-se três níveis de exploração da interatividade: no projeto, no edifício e na fachada.

3.2.1 | PROJETO

Como referido, a interatividade no processo de projeto foi significativamente potencializada pela integração de tecnologias computacionais e pela IA. Estas ferramentas permitem aos arquitetos criar soluções mais eficientes e adaptadas às necessidades dos utilizadores e ao contexto.

Simulações avançadas, por exemplo, possibilitam prever o comportamento dos edifícios antes da sua construção, otimizando recursos, reduzindo desperdícios e promovendo soluções mais sustentáveis (Hensen et al., 2011). Ferramentas como o *Rhinoceros* e o *Grasshopper* facilitam a exploração de *designs* paramétricos complexos, enquanto técnicas de *deep learning*²⁹ e análise de *big data*³⁰ oferecem novas perspetivas para conceções mais adaptáveis. Por sua vez no desenho generativo, algoritmos de IA geram múltiplas soluções baseadas em parâmetros como organização espacial, iluminação natural, desempenho térmico, utilização de materiais, eficiência energética, estética, etc., promovendo abordagens criativas e ambientalmente conscientes (Reiman, s.d.). Assim, a interatividade pode estar presente

²⁹ A aprendizagem profunda é um subconjunto da *machine learning* (aprendizagem automática) que utiliza *neural networks* multicamadas, designadas redes neuronais profundas, para simular o complexo poder de decisão do cérebro humano. Uma forma de aprendizagem profunda está na base da maioria das aplicações de inteligência artificial (IA) que utilizamos atualmente. (Holdsworth et al., 2024)

³⁰ A análise de grandes volumes de dados (*big data*) refere-se ao processamento e análise sistemáticos de grandes quantidades de dados e conjuntos de dados complexos, conhecidos como grandes volumes de dados, para extrair informações valiosas. A análise de megadados permite a descoberta de tendências, padrões e correlações em grandes quantidades de dados brutos para ajudar os analistas a tomar decisões baseadas em dados. Este processo permite que as organizações aproveitem os dados em crescimento exponencial gerados a partir de diversas fontes, incluindo sensores da *Internet of Things* (IoT), redes sociais, transações financeiras e dispositivos inteligentes, para obter informações acionáveis através de técnicas analíticas avançadas. (Mucci et al., 2024)

tanto em partes específicas do projeto, no cálculo de soluções mais otimizadas, como no próprio processo de *design* sugerindo soluções criativas.³¹ (Anwar et al., 2022)

Além disso, a adoção de metodologias como o BIM permite processos de projetos mais interativos, na modelação e na interação entre especialistas, promovendo uma colaboração interdisciplinar para maior precisão e controlo no desenvolvimento de projetos. Por sua vez, a visualização de modelos tridimensionais permite identificar problemas potenciais antes da execução, economizando tempo e custos.

3.2.2 | EDIFÍCIO

Com a evolução da tecnologia e o crescente desejo de responder às necessidades e vontades dos utilizadores, a possibilidade de interatividade, que outrora se limitava ao processo de projeto ou se encontrava descrita de forma teórica, transcende essa fase e integra-se na própria estrutura do *edifício*³², tornando-se visivelmente dinâmica e responsiva, rompendo com a arquitetura estática do passado.

Como ilustração, a Casa *Sharifi-ha* (2013) em Tehran, projetada por Alireza Taghaboni, do *Next Office* (F.18 e F.19), exemplifica a arquitetura dinâmica com módulos móveis, passíveis de alterar a disposição do edifício, adaptando-se ao clima e às necessidades dos utilizadores (Architizer, s.d.). De forma semelhante, mas mais profunda, a *Dynamic Tower* (2008), projetada por David Fisher para o Dubai (F.20), utiliza módulos rotativos para otimizar a relação com o sol, criando uma linguagem arquitetónica inovadora (Rios, 2008).

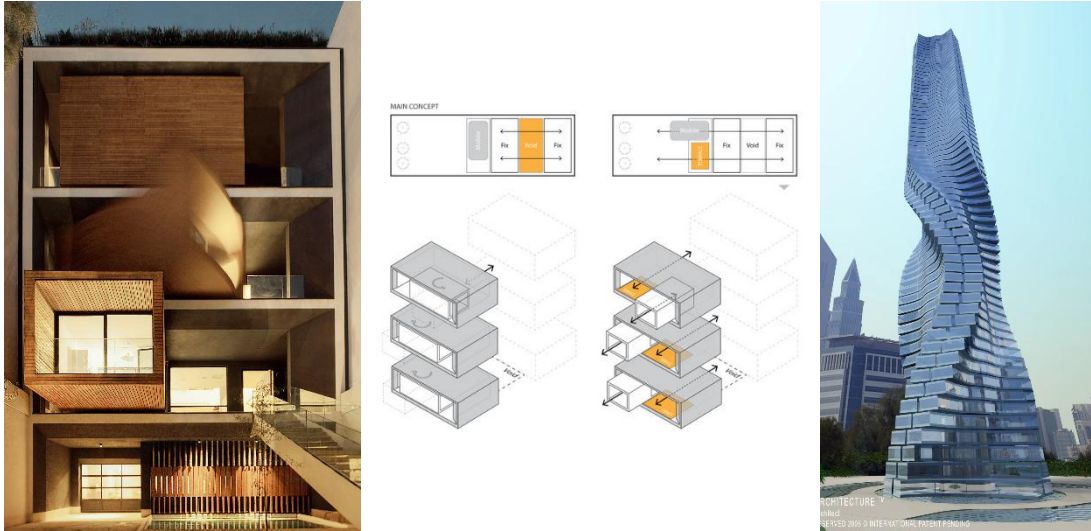
Existem ainda, de uma forma menos visível, outras aplicações da interatividade nos edifícios, como os sistemas de controlo automatizado (automação predial ou BMS³³) que monitorizam em tempo real os consumos energéticos, ajustando iluminação, ventilação e temperatura para minimizar o impacto ambiental. Estes edifícios *smart* representam uma nova era na conceção arquitetónica, em que a funcionalidade e a sustentabilidade se alinham harmoniosamente.

³¹ "Artificial intelligence can therefore be employed as a substitute solution to reach at a reasonable preliminary design using the data of previously designed structures."; "It is demonstrated that the suggested approach can offer a quick and reasonably accurate estimate of design output for new structures. The method is also useful for quickly cross-checking the outcomes of code-based design and performance-based evaluation of existing structures." (Anwar et al., 2022:15,18)

³² "Construção permanente com um ou mais pisos, em geral limitada por paredes e teto, que serve de habitação ou constitui um espaço comercial, industrial, administrativo, religioso, cultural, etc." (d.gTerritório, s.d.)

³³ Building Management System ou BAS - Building Automation Systems

Por fim, a interatividade, como vimos ilustrada, pode estar presente não só no edifício como um todo, mas também em componentes destes. Abrindo assim, a possibilidade de a interatividade estar presente apenas em partes específicas, como é o caso das fachadas.



3.2.3 | FACHADA

A fachada de um edifício *'separa o espaço interior utilizável do mundo exterior'*, podendo desempenhar diferentes funções: *'define a aparência arquitetônica do edifício, proporciona vistas para o interior e para o exterior, absorve as forças de compressão e tração das cargas de vento, [e] suporta o seu peso próprio e o de outros componentes do edifício'*³⁴ (Knaack et al., 2007:36).

No contexto da arquitetura adaptativa, as fachadas evoluíram de simples barreiras para sistemas otimizados estáticos ou dinâmicos, adaptando-se às condições da sua envolvimento. As fachadas estáticas otimizadas, onde a interatividade e a adaptação estão presentes no processo de projeto, são desenhadas com tecnologias que analisam o percurso solar, melhorando o conforto térmico e reduzindo custos energéticos. Um exemplo notável é o *South Australian Health and Medical Research Institute* (SAHMRI) (2014), onde a fachada foi concebida para otimizar a iluminação natural e minimizar o ganho térmico (F.21). Este edifício utiliza uma estrutura

[F.18] *Fachada Casa Sharifi-há* (2013), Alireza Taghaboni. *nextoffice*, 2014.
[F.19] *Elementos móveis, Casa Sharifi-há*. *Archdaily*. *nextoffice*, 2014.
[F.20] *Dynamic Tower* (2008), David Fisher. *Rios*, 2008.

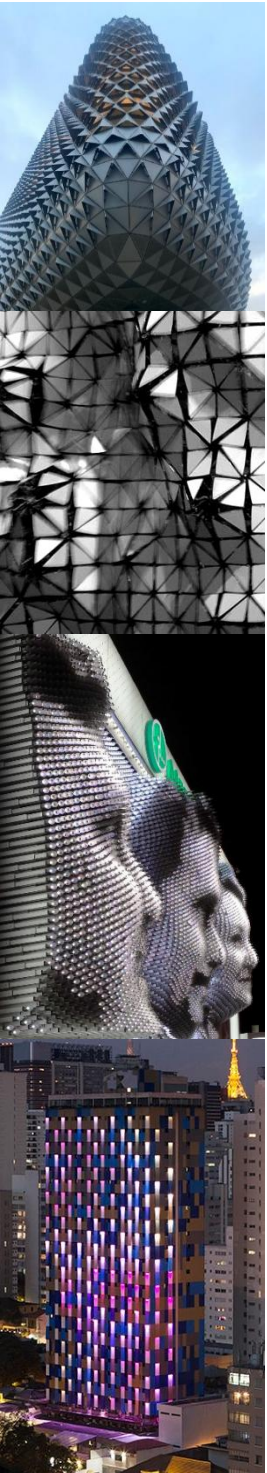
(pág. seguinte)
[F.21] SAHMRI (2014), Woods Bagot. Ortiz, 2023.
[F.22] *Aegis Hyposurface* (2001), Mark Goulthorpe. *dECOi*, 2011.
[F.23] *MegaFaces* (2014), Asif Khan. Khan, s.d.
[F.24] *Hotel WZ Jardins* (2015), Estúdio Guto Requena. Requena, s.d.

³⁴ "The façade separates the usable interior space from the outside world. [...] different functions that a façade serves: it defines the architectural appearance of the building, provides views to the inside and outside, absorbs push and pull forces from wind loads, bears its self-weight as well as that of other building components."

geométrica complexa que regula a luz e o calor que penetram no edifício, criando um ambiente interno confortável e mais eficiente energeticamente. (Woods Bagot, s.d.)

Por outro lado, a aplicação de fachadas dinâmicas cinéticas ativas começou por ser uma questão meramente estética e como forma de estabelecer uma ligação entre os utilizadores e o mundo digital, desenvolvendo criações estéticas nunca antes vistas. O primeiro sistema de visualização do mundo, em que a superfície do ecrã se move fisicamente, não era uma fachada, mas uma obra de arte interativa desenvolvida para o exterior do *foyer* do *The Birmingham Hippodrome Theatre*. Desenvolvida por Mark Goulthorpe do *dECOi Architects*, o *Aegis Hyposurface* (2001) (F.22) é uma superfície metálica facetada que tem potencial para se deformar fisicamente, em tempo real, em resposta a estímulos eletrónicos do ambiente, tais como movimento, som, luz, etc. (dECOi, 2011). Exemplos notórios de fachadas dinâmicas cinéticas ativas incluem a fachada *MegaFaces* (2014) de Asif Khan (F.23), que consiste num ecrã cinético-volumétrico LED capaz de se transformar em retratos 3D dos rostos de visitantes digitalizados no local (Khan, s.d.), e a fachada do Hotel WZ Jardins (2015), em São Paulo (F.24), um exemplo que utiliza a adaptabilidade para um propósito de sensibilização. *'Projetada pelo Estúdio Guto Requena, esta utiliza tecnologia e design paramétrico para criar uma intervenção urbana interativa. Durante o dia, o edifício é revestido por chapas metálicas [...] À noite, transforma-se numa "Criatura de Luz", com padrões luminosos que reagem em tempo real a estímulos como sons e qualidade do ar. O público pode interagir com a fachada através de uma aplicação móvel, promovendo uma conexão dinâmica e reflexiva com a cidade.'* (Requena, s.d.) O que estes exemplos têm em comum é que, embora sejam adaptáveis, essa característica não é utilizada como uma estratégia para uma arquitetura mais eficiente a nível energético.

Um exemplo que já integra algumas funções voltadas para a eficiência é o *Brisbane Airport Domestic Terminal Carpark* (2012), que possui uma fachada cinética passiva com um sistema analógico, a *Turbulent Line*, desenhada pelo artista Ned Kahn (F.25). Esta fachada não incorpora qualquer tipo de sistema *smart*, mas responde à natureza, mais especificamente à força do vento. Sempre que este faz oscilar os painéis da fachada, ocorre uma troca de ar entre o interior e o exterior do parque de estacionamento, permitindo a remoção de gases de escape e calor. Esses painéis da fachada ajudam também a reduzir eficazmente o ruído gerado e, por serem perfuradas, os orifícios bloqueiam parcialmente a luz solar, evitando que a luz intensa da tarde penetre e aumente a temperatura no interior do edifício. (Wu, 2020)



«As peças que crio são como instrumentos musicais - eu construo-as, mas a natureza torna-se o compositor.» - Ned Kahn (Apêndice I.b)

Além disso, dentro das fachadas dinâmicas passivas há uma crescente aplicação de fachadas ajardinadas, os elementos naturais/vegetais conferem dinamismo através da interação com o meio e do seu crescimento. Um exemplo é o edifício *Bosco Verticale* (2014), do *Boeri Studio* (F.26), conhecido pelas vantagens da aplicação da sua fachada verde: como a melhora da qualidade do ar, absorvendo o dióxido de carbono e libertando oxigénio; a capacidade de filtro através das plantas que bloqueiam poeira e poluição; a funcionalidade de isolante térmico, reduzindo a necessidade de ar condicionado e consequentemente reduzindo os gastos energéticos; a filtragem da luz natural no verão, em contradição com a entrada de luz no inverno, quando as folhas caem; a redução do ruído urbano, funcionando como uma barreira; e o aumento da biodiversidade, atraindo certos animais que criam um pequeno ecossistema urbano. Este tipo de fachadas não melhora apenas a eficiência energética, mas também reforça a conexão entre os edifícios e a natureza. (ArchDaily, 2015)

Por fim, retomamos às fachadas dinâmicas cinéticas ativas, mas desta vez como estratégia para a eficiência energética e, consequentemente, uma arquitetura mais sustentável. Estas utilizam sistemas motorizados como persianas e *brise-soleils*, que podem adaptar o desempenho térmico e visual às condições climáticas e às preferências dos utilizadores. Segundo Knaack et al. (2007:36), '*desejamos uma estrutura que seja tão simples quanto possível, mas que desempenhe todas estas funções e seja adaptável à evolução dos fatores de influência. Deve ser um invólucro adaptativo semelhante à pele humana, cumprindo as várias funções do corpo*'³⁵.

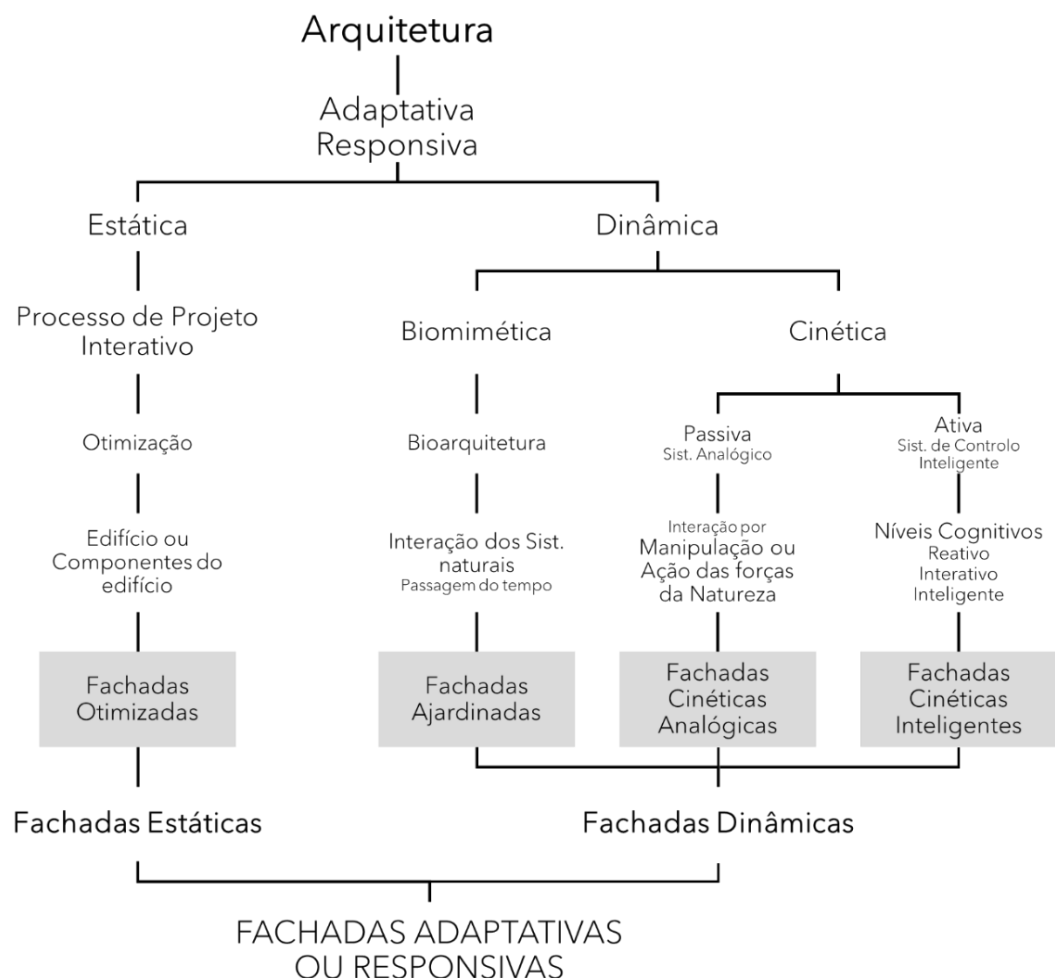
A primeira fachada cinética interativa, que ilustrou como estas podem ser aplicadas, pertence ao *Institut du Monde Arabe* (1987), de Jean Nouvel (F.27). A fachada tem um total de 240 elementos quebra-sóis, metade dos quais compostos por aberturas móveis. Pequenos motores elétricos estão ligados a sensores de luz para controlo automático da abertura, determinando assim a quantidade de luz que passa para o interior. Este sistema, enquanto funcional, tinha o potencial de reduzir o consumo de energia através da redução da carga de ar condicionado. (Schoof, 2021) Por outro lado, o *Media-Tic* (2007) (F.28) partilha a capacidade de filtrar a incidência solar em paralelo com um sistema central que medeia a relação entre o ambiente interior e exterior, no entanto tem a particularidade de a sua fachada interativa se alterar quase que invisivelmente. O sombreamento solar é conseguido através de um sistema que injeta



³⁵ "Basically we desire a structure that is as simple as possible yet carries out all these functions and is adaptable to changing influencing factors. It should be an adaptive envelope similar to the human skin, fulfilling several functions of the body."

névoa nas almofadas da fachada, proporcionando um sombreamento variável, graças aos filtros solares dinâmicos em ETFE (Etileno-Tetrafluoretileno), que reduz o ganho de calor solar em até 90% e, conseqüentemente, diminui as emissões de dióxido de carbono em 55%. No interior do edifício, sensores inteligentes controlam a luz e a temperatura em função da ocupação, promovendo eficiência energética e culminando numa redução de 10% das emissões de CO₂. (Ruiz-Geli, s.d.) Outro exemplo igualmente notável, localizado em Abu Dhabi, é o das *Al Bahr Towers* (2012) (F.29), que será desenvolvido mais à frente nesta dissertação. Estas torres possuem uma fachada composta por painéis triangulares que se movimentam em resposta à incidência solar, reduzindo significativamente o consumo de energia associado à climatização. Este sistema não só melhora a eficiência energética, como também confere uma estética inovadora e moderna à edificação. (Arup, 2015)

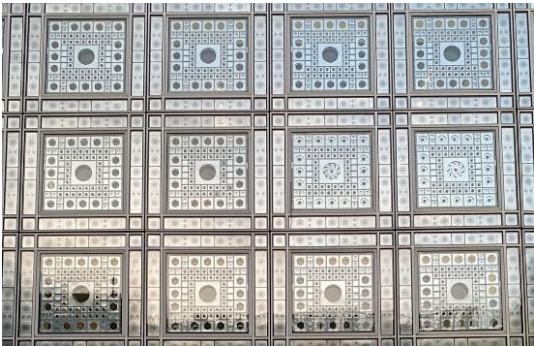
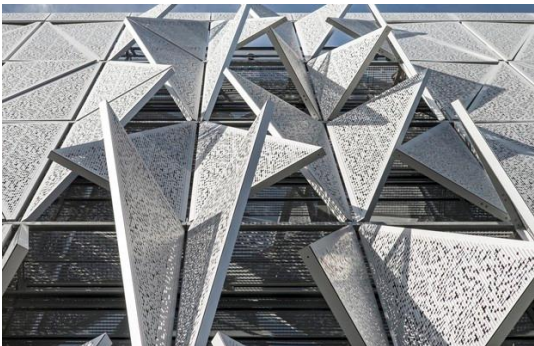
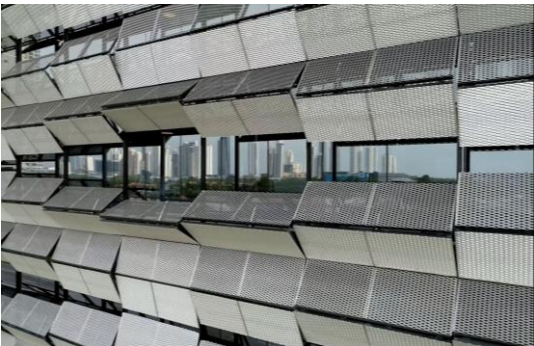
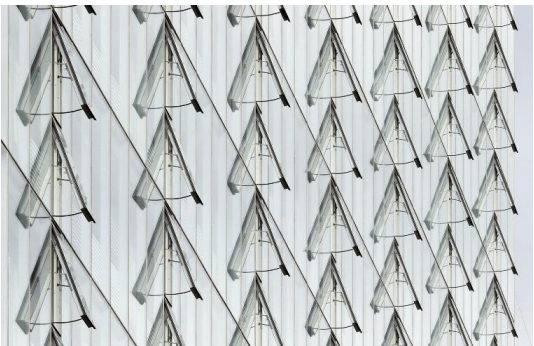
Este panorama demonstra como a interatividade na arquitetura pode refletir a convergência entre inovação tecnológica, adaptação funcional e expressão estética, promovendo espaços responsivos que enriquecem a experiência humana. No capítulo seguinte, iremos estudar a possibilidade de as fachadas interativas representarem uma estratégia para uma arquitetura mais sustentável através da sua capacidade adaptativa.



(pág. anterior)
[F.25] *Turbulent Line*
(2012), Ned Kahn. See,
s.d.
[F.26] *Bosco Verticale*
(2014), Boeri Studio.
SPCON, 2023.
[F.27] *Institut du Monde*
Arabe (1987), Jean
Novel. Santos, 2024.
[F.28] *Media-Tic* (2007),
Enric Ruiz Geli. Ruiz-Geli,
s.d.
[F.29] *Al Bahr Towers*
(2012), Aedas. Arup,
2015.

[F30] Esquema de
conceito em relação às
terminologias das
fachadas. Autora, 2025.

4 | ESTRATÉGIA PARA UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL



Dentro do mundo da interatividade interessou-nos a sua aplicação em fachadas, mais especificamente, as que integram sistemas interativos capazes de se adaptar ao ambiente exterior e interior e aos utilizadores, ou seja, fachadas cinéticas interativas. As *'Considerações sobre energia constituem a principal força motriz por trás de novos desenvolvimentos na indústria de fachadas: a necessidade de economia de energia, isolamento contra calor e frio, medidas de armazenamento de energia, bem como as alternativas para gerar energia, devem ser exploradas. O mesmo se aplica às considerações sobre a energia incorporada na produção dos materiais de origem da fachada, bem como [...] na reciclagem de materiais usados e reintroduzi-los no processo de fabricação'*³⁶ (Knaack et al., 2007: 120). A aplicação destes sistemas nem sempre é adequada e depende de diversos fatores.

«Existe uma vasta gama de complexidade no que diz respeito às fachadas interativas. Uma boa conceção de fachada é sempre uma solução individual, tendo em conta a localização, a utilização, o material, as fontes de energia e o orçamento.» - Tom Geister (Apêndice I.a)

«Por si só, não é uma resposta, mas parte de uma solução adequada, dependendo dos requisitos profissionais.» - Miscamble (Apêndice I.e)

Apesar da aplicação das fachadas interativas estar restringida a situações muito específicas e muitas vezes serem utilizadas em adição a outros sistemas, consideramos que estas representam uma estratégia para uma arquitetura mais sustentável, podendo reproduzir, quando utilizadas corretamente, impactos significativos na eficiência e otimização do edifício.

Assim, o estudo foi dirigido para edificações que integram sistemas de fachada interativos de modo a melhorar o desempenho energético global da arquitetura. Pretendemos, então, exemplificar e desenvolver a simbiose entre fachadas interativas e sustentabilidade, através da construção de uma base de dados que una e clarifique o tema. Nos próximos três pontos iremos apresentar a recolha completa e os critérios de seleção, fazer uma análise dos dados recolhidos, que demonstrarão as tendências observadas, e destacar os principais resultados.

(pág. anterior)
esquerda

[F.31] One Ocean
(2012), SOMA Lima.
Transsolar, s.d.

[F.32] PIXEL (2010),
studio505. Hosking,
2011.

[F.33] SDU'S Campus
Kolding (2014), Henning
Larsen. Henning Larsen,
s.d.

[F.34] Institut du Monde
Arabe (1987), Jean
Novel. Santos, 2024.

direita

[F.35] Manitoba Hydro
Place (2009), KPMB
Architects. KPMB, s.d.

[F.36] Global Bank Santa
Maria (2019), Forza
Creativa. Forza Creativa,
2020.

[F.37] Media-Tic (2007),
Enric Ruiz Geli. Ruiz-Geli,
s.d.

[F.38] Q1 Thyssenkrupp
Quarter (2010), Chaix &
Morel et Associés,
JSWD Architekten. Wett,
2013.

³⁶ "Energy considerations constitute the main driving force behind new developments in the façade industry: the necessity of energy savings, insulation against heat and cold, energy storage measures as well as the alternatives for energy generation have to be explored. The same applies to the considerations for the embodied energy in the production of the façade source materials as well as related semi-finished and finished products. Add to that the final criterion of focussing on recycling used materials and feeding them back into the manufacturing process."

4.1 | BASE DE DADOS

Problemática/objetivo

Como previamente mencionado, um dos meios para o nosso estudo é a elaboração de uma base de dados que reúna edificações com fachadas que têm impacto na sustentabilidade e no ecossistema do edifício. Um dos objetivos é disponibilizar aos arquitetos e outros intervenientes este grupo de referências arquitetônicas, que permitirão criar e reinventar para além do já construído. Com a análise destes dados pretende-se ainda estudar o papel das fachadas interativas como estratégia para uma arquitetura mais sustentável e refletir sobre as características inerentes a estes sistemas.

Recolha de dados

Foi realizada a recolha de dados para 52 edifícios dos quais se apuraram 39 elegíveis e 13 não elegíveis. Para o estudo foram consideradas as fachadas interativas:

- aplicadas em edifícios em que a conclusão da construção seja nos últimos 25 anos antecedentes à data de conclusão deste estudo (1999-2024);
- presentes numa parte significativa da superfície total do edifício;
- motorizadas e controladas por um sistema central inteligente capaz de ler, decidir e reagir às variáveis condições do meio;
- com impacto positivo na eficiência energética global do edifício.

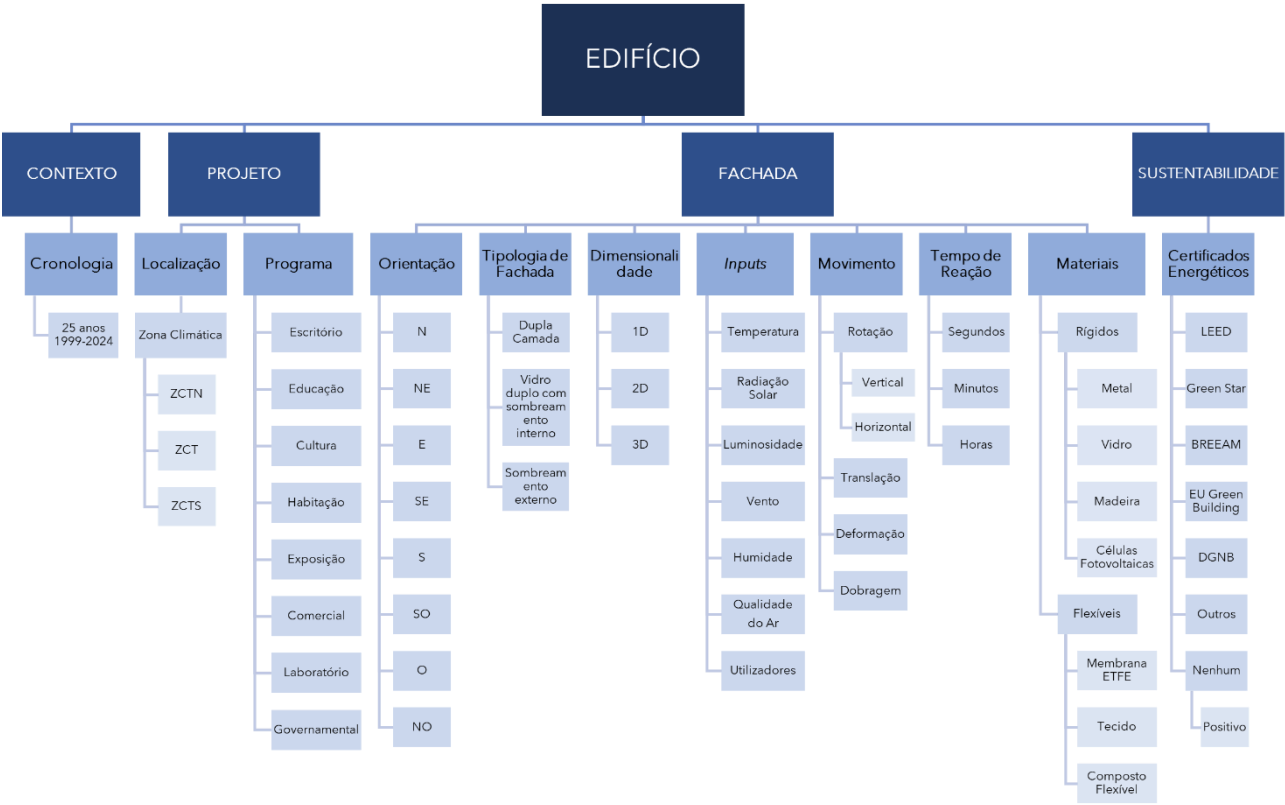
Os edifícios não elegíveis desempenharam um papel importante, não só na definição dos critérios que balizam a amostra, mas também na história da arquitetura relevante para o tema, destacando-se o *Institut du Monde Arabe*, já mencionado.

A dimensão da amostra representa os exemplos elegíveis encontrados aquando da realização desta dissertação, com base na pesquisa em livros, jornais, artigos e sites. Parece-nos importante referir a existência de limitações na recolha de dados, tanto pela impossibilidade de aferir com assertividade a totalidade dos exemplos que existem no universo elegível, como pela subjetividade da interpretação de algumas características dos mesmos, paralelas à escassez de informação.

Para apresentar os dados recolhidos, foram elaboradas fichas técnicas dos 52 casos de estudo (Apêndice III) que possibilitaram a realização de duas tabelas (Apêndice II) uma de Casos de Estudo Elegíveis (CEE), que representa a amostra, e outra de Casos de Estudo Não Elegíveis.

4.2 | ANÁLISE DE DADOS

Com o objetivo de caracterizar a amostra, este ponto centra-se na análise percentual das particularidades dos edifícios e das fachadas estudadas. Dividindo o estudo nas seguintes categorias: Contexto - cronologia; Projeto - localização, programa; Fachada - orientação, tipologia, dimensionalidade, *inputs*, tipo de movimento, tempo de reação, materiais; e Sustentabilidade - certificados energéticos (F.39).



Com os dados recolhidos em cada categoria individual, conseguimos observar tendências, fundamentá-las, e abrir um breve espaço para reflexão crítica, onde serão propostas conclusões. É importante mencionar que este estudo é limitado às categorias individuais, pela impossibilidade de realizar uma análise estatística que cruze os vários aspetos, dado a sua grande complexidade.

Em seguida, apresentamos a amostra de CEE, em que cada edifício está identificado por um código constituído pela letra E (elegível) e por um número atribuído de forma cronológica. Esta será analisada segundo as categorias que se desenvolvem nos pontos seguintes: Contexto, Projeto, Fachada e Sustentabilidade.

[F.39] Esquema das categorias do estudo. Autora, 2025.

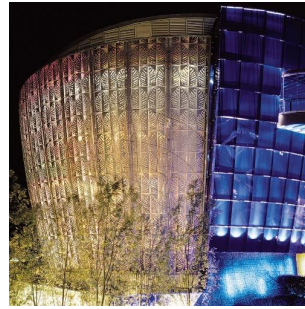
Amostra



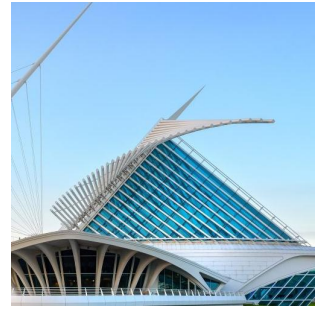
E1| GSW Headquarters



E2| Nordic Embassies



E3| Cyclebowl



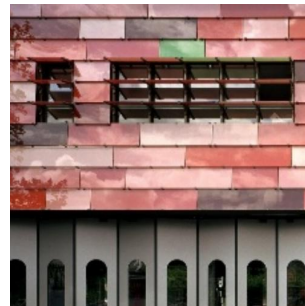
E4| Quadracci Pavilion



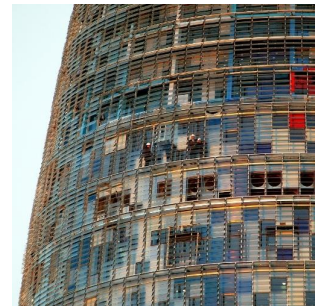
E5| EURAC Research



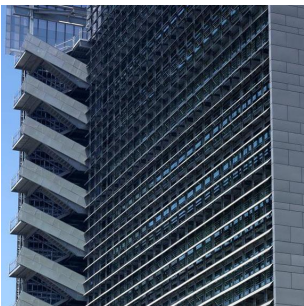
E6| Fünf Höfe



E7| Fire and Police Station



E8| Agbar Tower



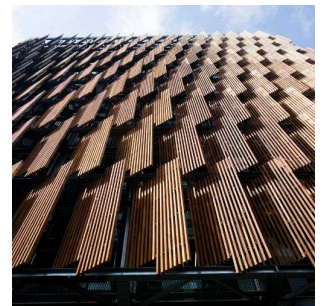
E9| Caltrans District 7 HQ



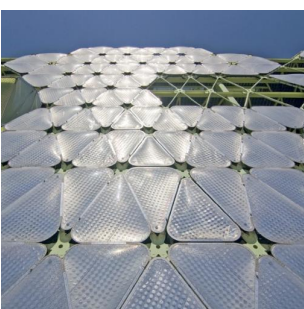
E10| Aalen University



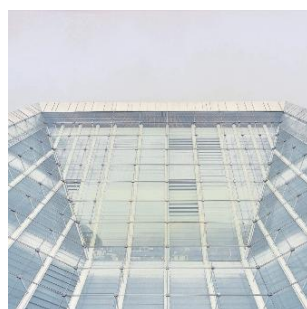
E11| Forum Chriesbach



E12| Council House 2



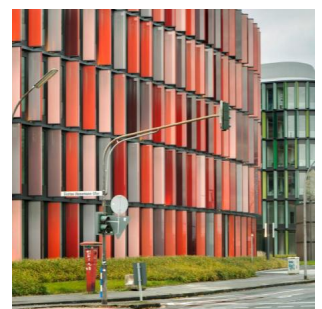
E13| Media-TIC



E14| Museion



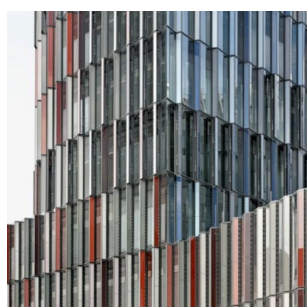
E15| Manitoba Hydro Place



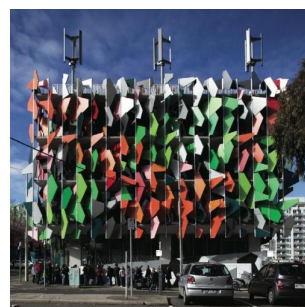
E16| Cologne Oval Offices



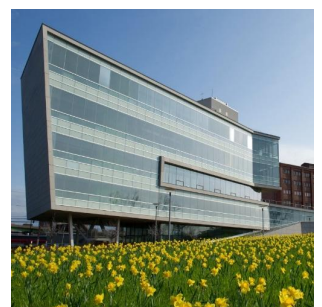
E17| Palazzo Lombardia



E18| KfW Westarkade



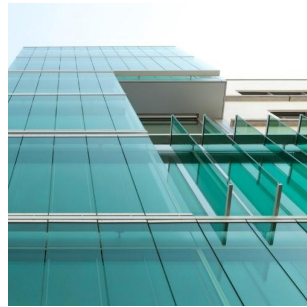
E19| Pixel



E20| SyracuseCoE



E21| ADICAIS



E22| F40 Office Building



E23| Kuggen



E24| Q2



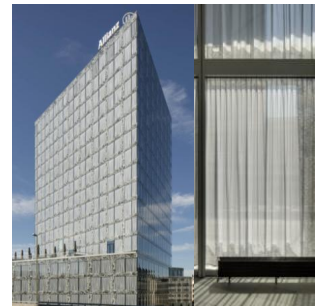
E25| Al Bahr Towers



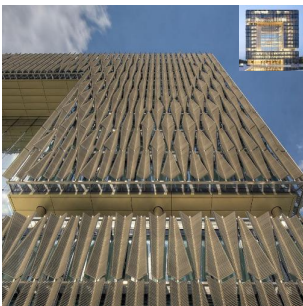
E26| RMIT Design Hub



E27| One Ocean



E28| Allianz Headquarters



E29| Q1



E30| Campus Kolding



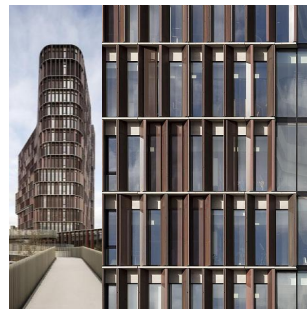
E31| AGC Glass Europe



E32| Enervie Headquarters



E33| CJ Blossom Park



E34| Maersk Tower



E35| Customer Center



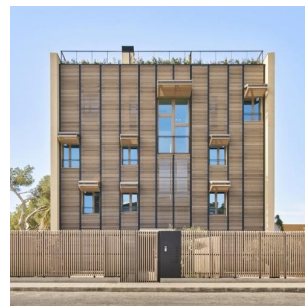
E36| Global Bank Sª Maria



E37| Hive House

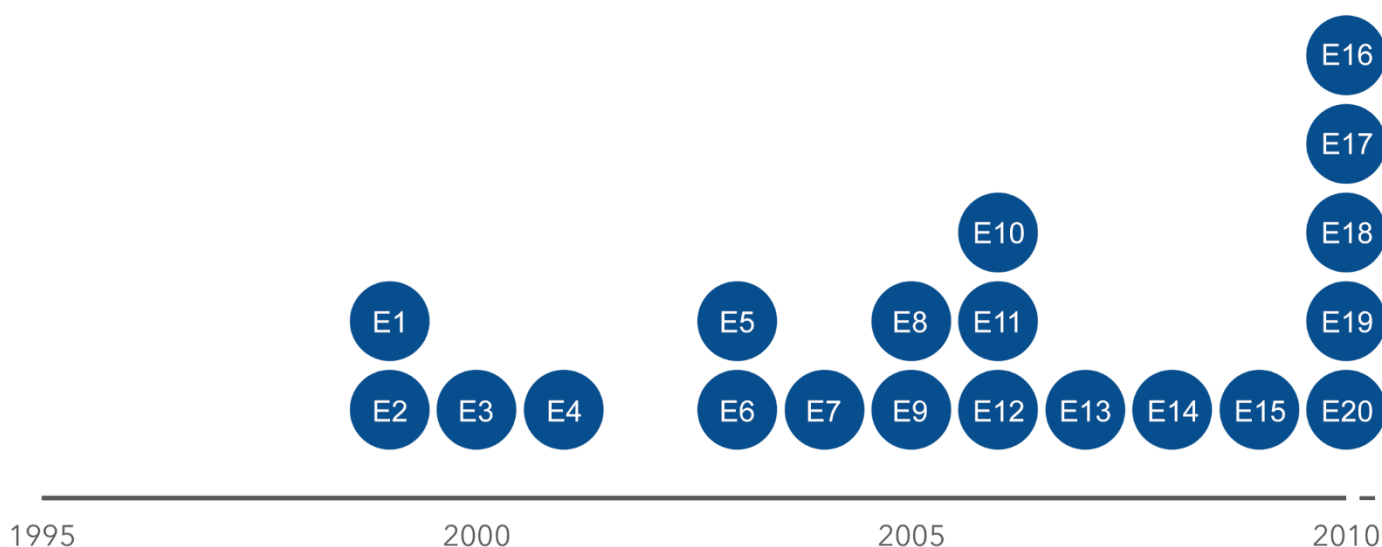


E38| Building H



E39| PARAL-LEL

(Apêndice III)

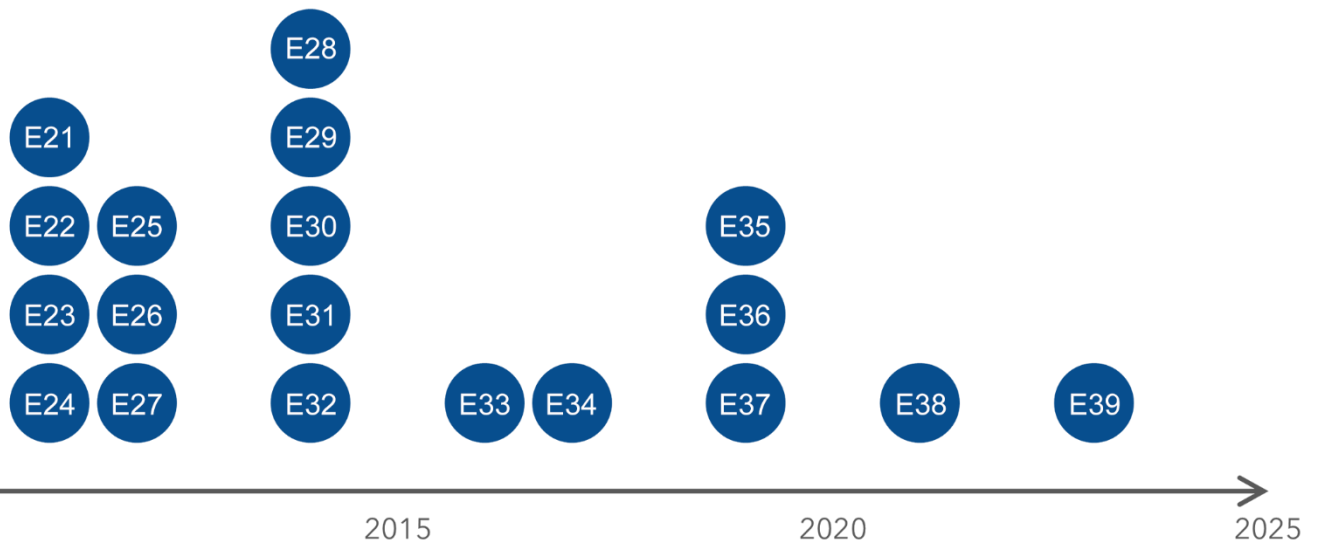


4.2.1 | CONTEXTO

Cronologia

O gráfico (F.40), demonstra a distribuição da amostra pelos últimos 25 anos (1999-2024), considerando a data da conclusão da construção. Ainda que a sua construção tenha sido iniciada antes, entre 2010 e 2014, verificou-se um pico na aplicação de sistemas interativos em fachadas, resultado da convergência de diversos fatores, como a recuperação da crise económica global da década de 2000, o amadurecimento das tecnologias digitais, a maior consciencialização ambiental, mudanças nas preferências dos consumidores e o crescimento dos investimentos em investigação e desenvolvimento. Este fenómeno foi impulsionado por avanços tecnológicos significativos e por transformações culturais e ambientais que moldaram o setor da arquitetura e da construção. A aceleração tecnológica durante a década de 2010 destacou-se pelos avanços em sensores, atuadores, microcontroladores e softwares, tornando os sistemas interativos mais acessíveis, fiáveis e economicamente viáveis. A miniaturização de componentes eletrónicos foi igualmente crucial, permitindo a integração de sistemas complexos em espaços cada vez menores. Além disso, a popularização de plataformas de programação intuitivas e de código aberto democratizou o acesso a estas tecnologias, permitindo que arquitetos e *designers* explorassem soluções interativas de forma mais abrangente e inovadora (Gubbi et al., 2013).

[F.40] Friso cronológico com a distribuição da amostra. Autora, 2025.



A crescente consciencialização ambiental desempenhou também um papel determinante no impulso às fachadas interativas. A ratificação do *Protocolo de Quioto*³⁷ em 2005 e o consequente compromisso com a redução de emissões de carbono incentivaram a procura por soluções mais sustentáveis na arquitetura. Sistemas interativos que otimizam as condições ambientais internas tornaram-se ferramentas valiosas para a eficiência energética dos edifícios. Paralelamente, certificações ambientais, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), reforçaram a valorização de tecnologias inovadoras que promovem práticas mais sustentáveis no setor da construção (Berardi, 2012).

As preferências dos consumidores também evoluíram, com uma valorização crescente de experiências personalizadas e interativas. As fachadas interativas, ao proporcionarem um contato dinâmico com o ambiente exterior, responderam a esta procura. Esta tendência foi amplificada pela perceção da tecnologia como uma característica desejável e inovadora em edifícios.

Por fim, o investimento significativo em investigação e desenvolvimento, tanto público como privado, foi fundamental para fomentar a inovação. Governos e

³⁷ (ou Kyoto Protocol) "Nos termos do Protocolo de Quioto, no primeiro período de compromisso (2008-2012) os países participantes comprometeram-se a reduzir as emissões dos gases com efeito de estufa (GEE) 5 %, em média, em relação aos níveis de 1990. A UE (União Europeia) e os seus Estados-Membros – 15 na altura – comprometeram-se a reduzir 8 % as emissões da UE, como um todo." (EUR-Lex, s.d.)

empresas investiram no desenvolvimento de tecnologias aplicadas à construção, enquanto parcerias entre universidades e a indústria facilitaram a transferência de conhecimento e a implementação de soluções avançadas. (Afonso et al., 2024)

Em contrapartida, desde 2015, verifica-se um decréscimo na aplicação dos sistemas estudados, em grande parte devido à mudança nas exigências da sociedade e do setor da construção. A crescente pressão por soluções mais rápidas, simples e de fácil execução levou muitos clientes e investidores a privilegiarem alternativas menos complexas, que reduzam o risco de falhas e dos custos de manutenção. Esta preferência por praticidade e previsibilidade tornou os sistemas interativos menos atrativos, apesar do seu potencial inovador e sustentável. A escassez de mão de obra especializada e a necessidade de constante atualização tecnológica refletem o desafio de conciliar inovação com as exigências práticas do mercado atual.

4.2.2 | PROJETO

Localização

A análise da distribuição geográfica das fachadas interativas (F.41), com base nos dados recolhidos, revela um padrão que pode ser aprofundado ao considerar as zonas climáticas. A concentração de projetos em determinados países e regiões sugere a existência de fatores que influenciam a adoção desta tecnologia.

A distribuição geográfica abrangente, incluindo países com climas temperados, subtropicais e mediterrâneos, sugere que as fachadas interativas podem ser adaptadas a diferentes condições climáticas. Essa flexibilidade é um indicativo do potencial desta tecnologia para atender às necessidades de diversas regiões do mundo. (Kim et al., 2014). Por outro lado, ao cruzar os dados geográficos da amostra com as zonas climáticas (ZCTN, ZCT, ZCTS) - excluindo as Zonas Polares pela inexistência de CEE - é possível identificar padrões mais específicos:

- 84,6% ZCTN (Zona Climática Temperada Norte): A concentração de projetos nesta zona pode estar relacionada à busca de soluções para otimizar o consumo de energia em edifícios, dada a variabilidade climática da mesma, cuja principal característica é a existência de 4 estações por ano com diferentes combinações de temperatura e precipitação, o que despoleta uma necessidade de aquecimento e arrefecimento.

- 7,7% ZCT (Zona Climática Tropical): A presença de projetos nesta zona indica a adaptação das fachadas interativas a climas quentes, que oscilam em duas estações que diferem quanto à humidade/precipitação, procurando o equilíbrio térmico dos edifícios. No entanto, a aplicação pode estar limitada pelas dificuldades técnicas, a vários níveis, associadas às temperaturas extremas.

- 7,7% ZCTS (Zona Climática Temperada Sul): Apesar desta zona apresentar um clima equiparado à ZCTN, a menor concentração de edifícios pode estar relacionada com a diferença significativa de superfície territorial não-oceânica.

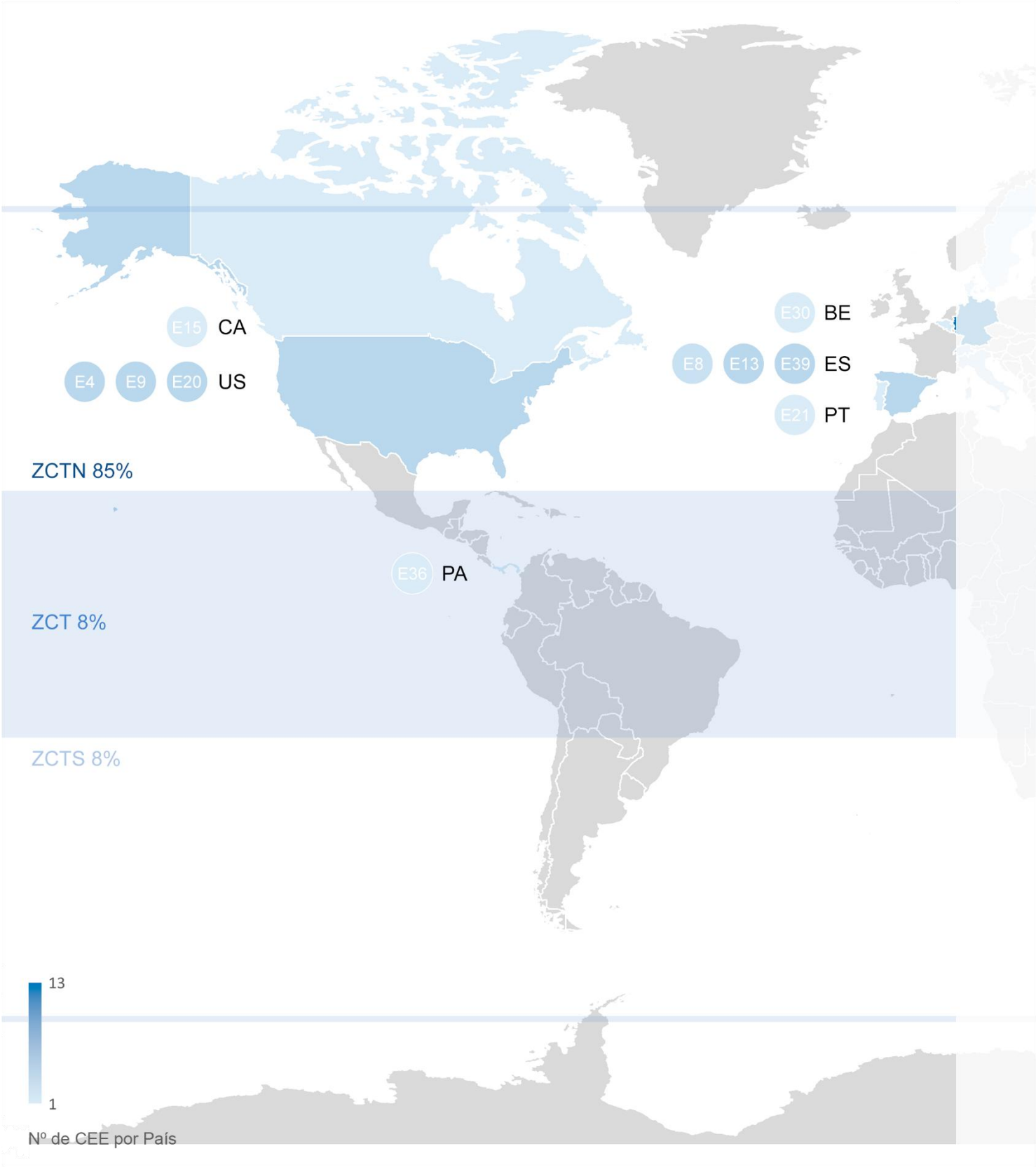
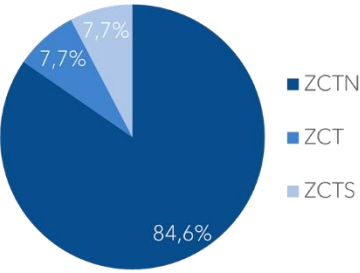
Ainda assim, as características climáticas e territoriais não são suficientes para justificar a grande disparidade percentual entre as 3 zonas climáticas, pelo que é necessário considerar as diferenças socioeconómicas dos países.

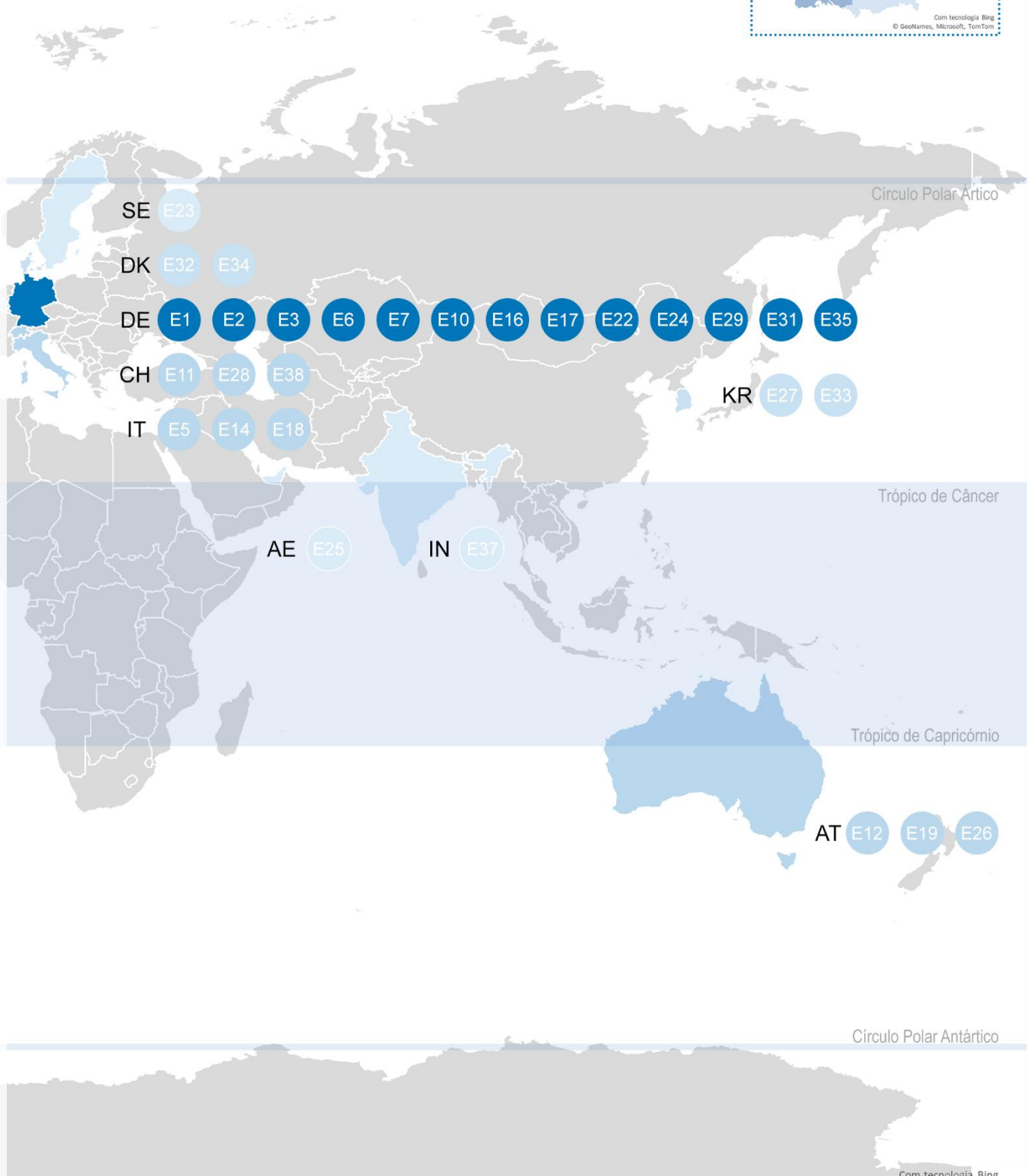
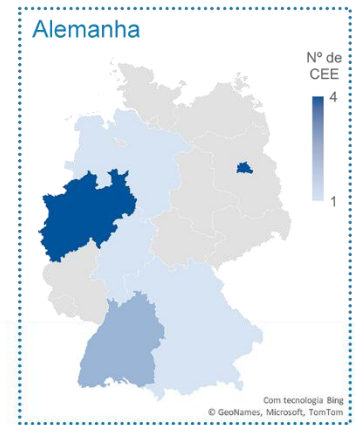
Dos 39 edifícios da amostra, 36 estão localizados em países considerados desenvolvidos (92,3%), com economias estáveis e infraestruturas robustas. Esta correlação sugere que a adoção de fachadas interativas está associada a um maior poder de compra e a uma maior capacidade de investimento em tecnologias inovadoras.

A ZCTN concentra a grande maioria dos países desenvolvidos (United Nations, 2024), o que terá um forte impacto na elevada percentagem de CEE nesta zona (84,6%). Destaca-se a Europa, em especial a Alemanha, que concentra a maior parte dos projetos, o que pode indicar um maior investimento em investigação e desenvolvimento e uma maior consciencialização sobre a importância da sustentabilidade. Em adição, essa concentração pode ser justificada pelo pioneirismo europeu em diversas áreas tecnológicas e pela forte procura por soluções sustentáveis para o setor da construção.

Os únicos países desenvolvidos que não se encontram incluídos nesta zona são a Austrália e a Nova Zelândia (United Nations, 2024), pertencentes à ZCTS. Apesar de ser atravessada pelo Trópico de Capricórnio, a Austrália foi incluída na ZCTS, porque a maior parte do seu território se encontra nesta zona. Além disso, os 3 únicos CEE pertencentes à ZCTS (7,7%) estão localizados no território australiano que nela se inclui.

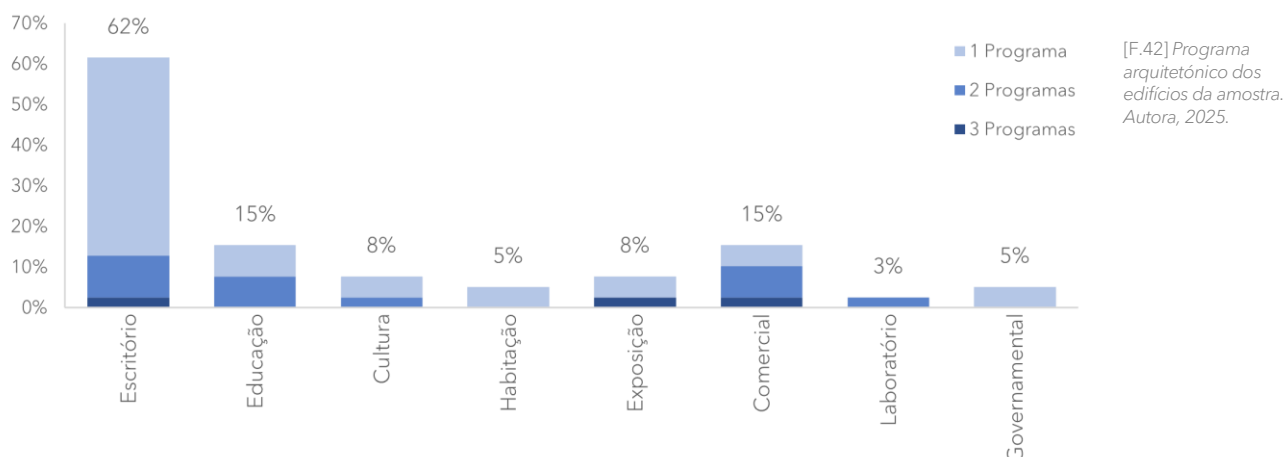
Apenas 3 edifícios da amostra (7,7%) se localizam em países em desenvolvimento, nomeadamente o Panamá, os Emirados Árabes Unidos (EAU) e a Índia, o que coincide com a percentagem e localização da ZCT, a qual não integra nenhum país desenvolvido. Os EAU, que são atravessados pelo Trópico de Câncer, foram incluídos na ZCT, uma vez que apresentam um clima desértico, associado a esta zona.





Programa

O Programa arquitetônico estabelece um conjunto de parâmetros, requisitos e restrições para o desenvolvimento de um projeto. Define as necessidades e objetivos do cliente, estabelecendo as funções e características que o edifício ou espaço arquitetônico deverá possuir. (Movimento Doco, 2023) O gráfico subsequente (F.42), demonstra a distribuição da amostra pelos diferentes programas onde os sistemas interativos são aplicados em fachadas.

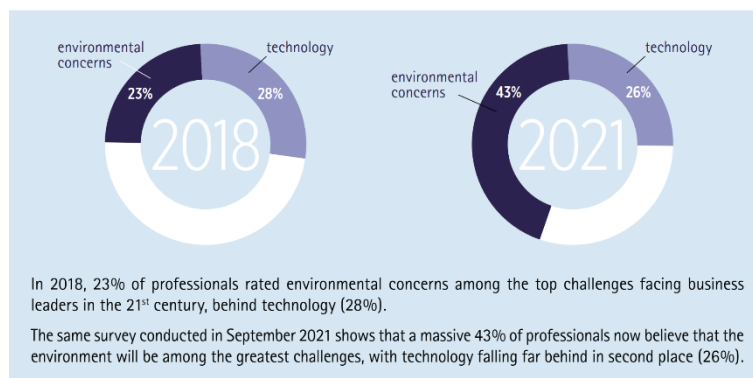


Analisando-se o gráfico apresentado, verifica-se um predomínio significativo de edifícios de escritórios (62%), seguido de edifícios destinados à educação (15%), comércio (15%), cultura (8%), exposição (8%), habitação (5%), uso governamental (5%) e laboratório (3%). É importante destacar que alguns dos edifícios apresentam programas mistos, combinando duas ou três destas funções, que no gráfico podem ler-se através do gradiente de cores.

Acreditamos que a relevante percentagem de edifícios de escritórios se deve ao facto de estes serem ocupados por empresas, que têm na sua agenda temas como a preocupação com a sustentabilidade (Event Point, 2022), a visibilidade e imagem da marca e a melhoria da produtividade, associada à capacidade financeira das mesmas (Aon, 2021).

As empresas, especialmente as de grande dimensão, têm demonstrado uma crescente preocupação com a sustentabilidade e a imagem corporativa (F.43). Segundo o relatório apresentado pelo *Global Alliance in Management Education* (CEMS) em 2022, derivado da aplicação de um inquérito a 4206 profissionais de 75 países, '43% dos inquiridos consideram que o ambiente é um dos maiores desafios a enfrentar pelos líderes empresariais, com a tecnologia num distante segundo lugar (26%). Ambas as questões foram consideradas mais urgentes para as empresas globais

do que as mudanças nos centros de poder económico e político mundial (14%), a instabilidade política (6%) e pandemias globais (3%)³⁸. (CEMS, 2022)



A par desta crescente preocupação, são aplicados, cada vez mais, os fatores ESG (Ambiente, Social e Governança). Originários da sigla inglesa ESG (*Environmental, Social and Governance*), estes surgiram no quadro dos objetivos estratégicos associados à Agenda 2030 e aos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) e foram adotados como critérios para a avaliação do desempenho das empresas e instituições em matéria de sustentabilidade, no quadro europeu das finanças sustentáveis. (IAPMAEI, s.d.)

Quanto à melhoria da produtividade dos colaboradores, existe a preocupação em satisfazer as necessidades dos mesmos em relação ao ambiente de trabalho (Knaack et al., 2007:71), que é um tema relevante na agenda das empresas, mas também em edifícios com outros programas. *‘O termo satisfação no trabalho está diretamente ligado ao desempenho e aumento da produtividade organizacional, ou seja, trabalhadores felizes tendem a ter bom desempenho organizacional (...) o investimento feito para oferecer boas condições de trabalho acaba por ter um retorno à organização, isto porque tendo um clima organizacional bom faz com que haja um aumento na produtividade da mesma organização.’* (Ndilimeke, 2019: p.13). Assim sendo, todos os aspetos que melhorem o conforto do espaço laboral, como é o caso da melhoria que as fachadas interativas podem proporcionar no conforto térmico e visual, contribuem para o bem-estar dos colaboradores e, por sua vez, para o aumento da produtividade.

As fachadas interativas, embora apresentem um custo inicial mais elevado, podem representar poupanças a longo prazo, através da redução do consumo de energia e da melhoria da eficiência dos edifícios (CCENERGIA, 2023). Desta forma, este aspeto já mencionado como relevante no tema da sustentabilidade, torna-se ainda mais

[F.43] *Análise das crescentes preocupações das empresas. CEMS, 2022.*

³⁸ “The survey of 4,206 professionals from 75 countries revealed that 43% of respondents believed the environment was among the greatest challenges, with technology a distant second (26%). Both issues were considered more urgent to global business than shifts in world economic and political power centres (14%), political instability (6%) and global pandemics (3%).”

vantajoso quando acoplado à capacidade de criar ambientes de trabalho mais saudáveis e eficientes, bem como à visibilidade que lhes é intrínseca. Estes sistemas de fachada podem ser vistos como ferramentas para as empresas alcançarem eficiência, prestígio e fazerem a diferença, através dos edifícios que habitam. (ABB,2024)

Os edifícios comerciais destacam-se pela necessidade de atrair clientes e oferecer experiências diferenciadas. A presença de fachadas interativas nesse tipo de edifício pode estar associada à criação de um ambiente mais envolvente e dinâmico, utilizado para fins publicitários, informativos e promocionais. A presença das mesmas em edifícios destinados à educação, cultura e exposições pode ser explicada pelo desejo de criar espaços mais interativos e estimulantes, que promovam a aprendizagem, a cultura e a inovação. A aplicação em edifícios para habitação é menos frequente, no entanto consideramos que poderá aumentar, à medida que a tecnologia se torna mais acessível financeiramente e os consumidores mais conscientes dos benefícios das soluções sustentáveis. Também os edifícios governamentais estão menos presentes, possivelmente pela falta de investimento nestas tecnologias, no entanto, os que a utilizam, podem fazê-lo para reforçar iniciativas de sustentabilidade e eficiência energética, promovendo boas práticas para o setor da construção. Por último, a baixa percentagem de fachadas interativas em edifícios de laboratório deve-se principalmente à natureza funcional desses espaços, que exigem rigoroso controlo de luz, temperatura e segurança. Além disso, a prioridade orçamental tende a focar-se em equipamentos e infraestrutura interna.

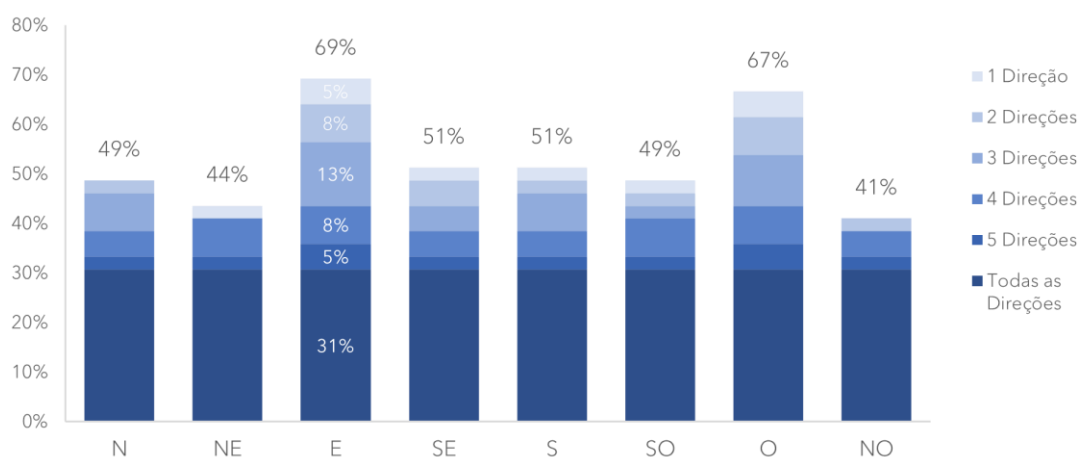
Em resumo, a análise do programa dos edifícios com fachadas interativas, revela a possibilidade de um vínculo entre estas e o setor empresarial, impulsionado pela busca da sustentabilidade, eficiência energética, inovação e produtividade. No entanto, a presença de fachadas interativas em outros tipos de edifícios pode demonstrar o potencial dessa tecnologia para transformar os mais diversos setores.

4.2.3 | FACHADA

Orientação

O seguinte gráfico (F.44), analisa em que direção geográfica os sistemas interativos são aplicados nas fachadas da amostra estudada.

[F.44] Orientação das fachadas interativas da amostra. Autora, 2025.



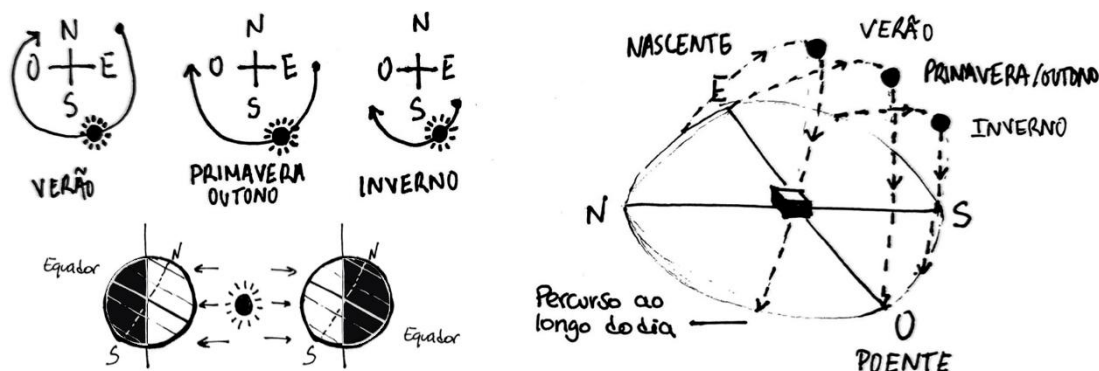
Deste estudo, verifica-se que 31% da amostra é composta por edifícios com fachada interativa em toda a sua superfície, sendo que nos outros 69% da amostra estas fachadas não cobrem a totalidade.

Da amostra, 69% dos edifícios têm pelo menos uma fachada interativa virada a Este (E), dos quais 31%, como mencionado, possuem fachada interativa em todas as direções. 5% têm fachadas em três direções, 8% em quatro, 13% em três, 8% em duas e 5% apenas na direção E. Na direção Norte (N), 49% dos edifícios têm pelo menos uma fachada interativa virada nessa direção, a Nordeste (NE) 44%, a Sudeste (SE) 51%, a Sul (S) 51%, a Sudoeste (SO) 49%, a Oeste (O) 67% e a Noroeste (NO) 41%. Verifica-se ainda que todas as direções, à exceção de N e NO, têm pelo menos um edifício com a fachada interativa exclusivamente nessa direção.

A análise da orientação das fachadas interativas revela um padrão, com uma concentração significativa em determinadas direções. A orientação das fachadas e dos edifícios é determinante para otimizar o conforto visual e térmico, através do controlo do ganho de calor solar e da ventilação natural.

Para ler estes resultados é essencial enquadrá-los segundo a geometria solar anual e diária (F.45), que permitiram evidenciar como o ângulo de incidência dos raios solares se altera entre nascente-sul-poente, revelando-se menor a nascente e poente, ou seja, a posição do sol é mais baixa nestes e mais alta a sul.

[F.45] Geometria solar anual e diária. Autora, 2025.



A elevada percentagem a E e O pode advém do facto destas fachadas receberem luz solar direta durante diferentes e longos períodos do dia. A incidência solar perpendicular nestas fachadas cria o contexto ideal para a implementação dos sistemas de sombreamento interativos, permitindo um aproveitamento mais eficiente da luz natural, através do controlo eficaz do ofuscamento da luz nascente e poente, o que reduz a necessidade de iluminação artificial. (Venturewell, s.d.) Destaca-se ainda, a menor implementação destes sistemas a S, mais de 15% inferior a E e O, apesar da elevada exposição solar, o que pode ser explicado pela incidência oblíqua dos raios solares que reduz a eficácia dos sistemas interativos e prioriza soluções passivas como palas ou sistemas de sombreamento fixos.

Adicionalmente, este estudo revelou que uma parcela significativa da amostra possui fachadas interativas em múltiplas orientações num mesmo edifício, o que demonstra a flexibilidade destes sistemas e a sua capacidade de se adaptar a diferentes necessidades. Apenas as direções E e O apresentam uma percentagem significativa de edifícios com uma única fachada interativa, devido aos fatores já mencionados.

Consideramos ainda outros fatores que podem influenciar a orientação das fachadas interativas, como o contexto urbano, nomeadamente a presença de outros edifícios, ruas, praças e espaços verdes; as normas de construção e regulamentos urbanísticos, que podem estabelecer restrições à orientação das fachadas, especialmente em áreas protegidas ou com restrições de altura; e as questões estéticas e funcionais, como a composição da fachada, a criação de espaços internos com diferentes características e a integração com o envolvente.

Esta análise revela um padrão complexo que é influenciado por diversos fatores, como a busca por eficiência energética, o conforto térmico e o *design* arquitetónico. A flexibilidade desta tecnologia permite a sua aplicação em diferentes configurações, adaptando-se às necessidades específicas de cada projeto.

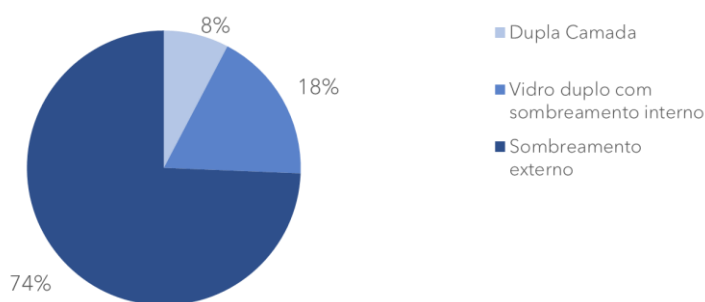
Tipologia de Fachada

Quando iniciámos o estudo sobre as diferentes tipologias de fachada que a amostra utiliza, foi perceptível que estamos a estudar sobretudo fachadas cortina. Entende-se por fachada cortina *'(sistema de fachada, parede ou muro cortina) um revestimento externo de um edifício no qual as paredes externas não são estruturais, sendo utilizadas para a proteção contra o clima e para manter os ocupantes seguros. Uma vez que o muro cortina não é estrutural, ele pode ser feito de materiais leves, reduzindo os custos de*

construção'. (WBDG, s.d.) Dentro destas, foi possível identificar três tipologias distintas: Dupla Camada, Vidro Duplo com Sombreamento Interno e Sombreamento Externo.

As fachadas de Dupla Camada, que englobam fachadas duplas de vidro (Eduardo, 2019) e fachadas que usam o sistema Texlon® ETFE (vector foiltec, 2024), criam uma câmara de ar que filtra o meio exterior. As fachadas de Vidro Duplo com Sombreamento Interno integram o sistema interativo no interior das camadas de vidro, por exemplo com painéis com controlo angular. As fachadas de Sombreamento Externo consistem numa camada de diversos materiais, aplicada exteriormente aos edifícios, que tem como propósito provocar sombreamento e gerir a luminosidade e temperatura do meio interior do edifício. Por fim, existe uma quarta tipologia, as fachadas de Sombreamento Interior ao edifício, onde os para-sóis são colocados depois da camada de vidro que encerra o mesmo, mas esta não configura na amostra.

O gráfico, apresentado em seguida (F.46), demonstra a distribuição da amostra pelas diferentes tipologias de fachada consideradas.



[F.46] Tipologia de fachada da amostra.
Autora, 2025.

A análise da amostra revela um claro predomínio das fachadas de Sombreamento Externo (74%) em relação às fachadas de Vidro Duplo com Sombreamento Interno (18%) e às fachadas de Dupla Camada (8%).

A ampla utilização de fachadas de Sombreamento Externo ao edifício pode ser atribuída à sua versatilidade, estética e eficiência energética. Estas oferecem uma vasta gama de opções de materiais, *designs* e níveis de sombreamento, adaptando-se a diferentes estilos arquitetónicos e às necessidades climáticas. Ao controlar a incidência solar diretamente na fachada, reduzem o ganho de calor no verão e as perdas de calor no inverno, otimizando o desempenho energético do edifício. Desta forma, também protegem os vidros e os elementos internos do edifício contra os raios UV e o desgaste causado pelas intempéries. (Knaack et al., 2007: 70)

As fachadas de Vidro Duplo com Sombreamento Interno permitem um maior controlo da luz natural, o que contribui para o isolamento térmico do edifício, reduzindo a transmissão de calor através da fachada. Podem ser utilizadas em conjunto

com vidros de alta performance, proporcionando um visual mais *clean* e elegante. A eficiência energética pode ser menor em comparação com as fachadas de Sombreamento Externo, pois parte da radiação solar já penetra no vão antes de ser bloqueada pelas persianas internas. (Kim et al., 2014)

Por fim, as fachadas de Dupla Camada oferecem excelente isolamento térmico, através da câmara de ar que é criada entre as duas *layers* que filtram o meio exterior do interior, onde é possível medir a temperatura, a qualidade do ar, etc., reduzindo predominantemente as perdas de calor no inverno, mas também os ganhos de calor no verão. Através deste sistema torna-se possível a ventilação natural da fachada, contribuindo para a renovação do ar interior. Esta tipologia é provavelmente a mais eficiente energeticamente e que permite maior conforto visual. (Hashemi et al., 2010)

Perante os vários pontos fortes, distintos e em comum, das diferentes tipologias, é importante perceber quais os fatores que podem influenciar a sua utilização, como o clima, a orientação solar, os requisitos de desempenho energético, o custo e as considerações estéticas. Parece-nos que em regiões com alta insolação as fachadas de Sombreamento Externo poderão ser mais indicadas. Já em regiões com invernos rigorosos, as fachadas de Dupla Camada podem ser as mais adequadas. A orientação da fachada em relação ao sol influencia a quantidade de radiação solar incidente e, conseqüentemente, a escolha do sistema de sombreamento. O custo inicial e os de manutenção são aspetos importantes a serem considerados, juntamente com as pretensões energéticas desejadas e a aparência da fachada, com o fim de criar uma imagem de marca que também justifique o investimento.

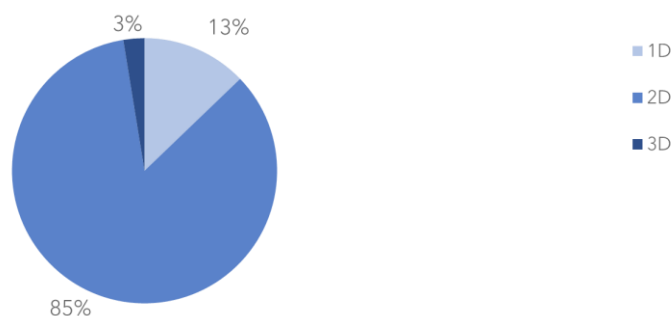
A predominância de fachadas com Sombreamento Externo pode ser explicada pela busca por soluções eficientes, versáteis e economicamente viáveis. Além disso, a facilidade de instalação e a ampla variedade de opções disponíveis no mercado contribuem para a popularidade desse tipo de sistema.

Naturalmente, conclui-se que não existe apenas um tipo de fachada mais adequado, pois a escolha do tipo de fachada depende de uma análise cuidadosa das condições específicas de cada projeto e da sua localização geográfica.

Dimensionalidade

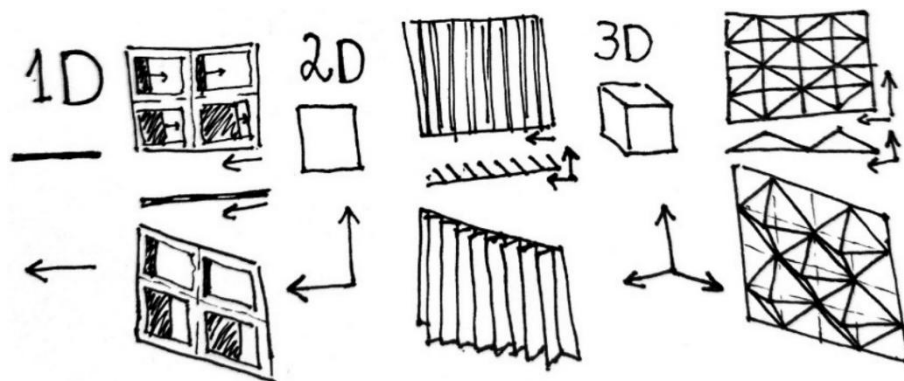
Em seguida, apresentamos um gráfico (F.47) que demonstra a distribuição da amostra pelas diferentes dimensões que o sistema interativo pode tomar.

[F.47]
Dimensionalidade do
sistema interativo de
fachada. Autora, 2025.



Neste gráfico, é possível constatar uma maioria esmagadora do uso de sistemas bidimensionais (2D), representando 85% da amostra. Os segundos mais utilizados são sistemas unidimensionais (1D), que correspondem a 13%, enquanto os tridimensionais (3D) têm uma percentagem minoritária de 3%, representado apenas um edifício, as *Al Bahr Towers*.

Para interpretar o resultado deste estudo, foi importante perceber o que poderiam ser vantagens e desvantagens da aplicação de cada dimensão aos sistemas interativos. À primeira vista, quanto mais flexível e adaptável ao meio ambiente for o sistema, mais eficiente este vai ser, o que destacaria o sistema tridimensional pela possibilidade de criar formas complexas e interações mais sofisticadas. Por outro lado, sistemas 3D envolvem mecanismos mais complexos, que dificultam o desenvolvimento destes e a sua manutenção, o que geralmente resulta em custos mais elevados. Em contrapartida, o sistema mais utilizado é o sistema bidimensional, como *brises-soleil* ou painéis móveis, provavelmente pela maior simplicidade de projeção, fabricação, implementação e controlo, o que leva também a que seja mais acessível a nível financeiro. Esta tecnologia já está amplamente disponível no mercado, o que facilita o desenvolvimento e a implementação de sistemas interativos nesse formato. Em muitos casos, os sistemas 2D são suficientes para otimizar o desempenho energético das fachadas, controlando a entrada de luz solar e regulando a temperatura interna. Por fim, os sistemas unidimensionais são os mais limitados em movimento e adaptação, tendo como vantagem poderem ser utilizados para criar efeitos visuais dinâmicos e interativos com baixo custo.



[F.48]
Dimensionalidade: 1D,
2D, 3D. Autora, 2025.

A escolha da dimensionalidade do sistema interativo pode estar diretamente relacionada à eficiência energética do edifício. Sistemas 2D, ao responderem a parâmetros como a radiação solar e temperatura, podem otimizar o desempenho energético da fachada, reduzindo o consumo de energia para climatização. No entanto, sistemas 3D, com maior capacidade de adaptação, podem oferecer um desempenho ainda mais otimizado em situações mais complexas.

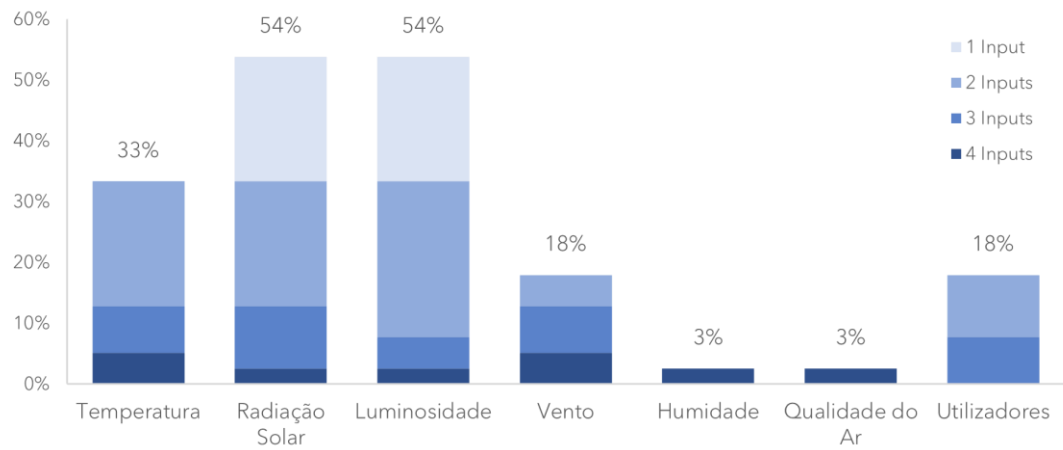
A predominância de sistemas bidimensionais não significa necessariamente que sejam os mais eficientes em todas as situações. A eficiência de um sistema depende de diversos fatores, como o clima local, a orientação da fachada, o tipo de edifício e as necessidades dos utilizadores.

Assim, a escolha da dimensionalidade de um sistema interativo em fachada deve ser feita de forma criteriosa, considerando fatores como o custo, a complexidade, o modo de utilização e as necessidades específicas do projeto. Embora os sistemas 2D sejam atualmente os mais comuns, os sistemas 3D oferecem um grande potencial para a criação de experiências mais ricas e envolventes. No futuro, com o avanço da tecnologia e a redução dos custos, pensamos que será possível que os sistemas 3D se tornem mais acessíveis e amplamente utilizados.

Inputs

Os atuadores são fundamentais para a implementação da interação entre o ambiente externo e a arquitetura, permitindo que a fachada reaja de forma dinâmica às condições ambientais. Entende-se por atuador um dispositivo ou mecanismo que recebe um sinal de entrada, com base em dados ambientais ou de outros sistemas, e realiza uma ação específica, alterando ou manipulando fisicamente um sistema. Exemplos comuns de atuadores em fachadas interativas incluem motores elétricos, pistões hidráulicos, sistemas pneumáticos ou dispositivos piezoelétricos, que são utilizados para mover ou ajustar componentes da fachada, como painéis solares, persianas, lâminas ou superfícies de vidro (Herzog et al., 2021).

No contexto das fachadas interativas, um atuador é responsável por transformar um estímulo externo ou *input*, como a temperatura, a luminosidade, a radiação solar, a vento, etc., numa resposta que afeta diretamente as propriedades ou o comportamento da fachada do edifício. O seguinte gráfico (F.49) revela a distribuição da amostra pelos diferentes *inputs*, explicitando também, através do gradiente de cores, quando estes são usados individualmente ou em conjunto.



[F.49] Input do sistema interativo. Autora, 2025.

Analisando o gráfico, verifica-se que as percentagens mais expressivas são de *inputs* como a radiação solar (54%) e a luminosidade (54%) - os únicos que são utilizados exclusivamente e de forma significativa - outros utilizados são a temperatura (33%), o vento (18%), a humidade (3%), a qualidade do ar (3%), ou seja, a concentração de CO₂ e, por fim, a possibilidade de o utilizador (18%) ser o *input* e/ou o atuador. Consta-se ainda, que a maioria dos sistemas interativos utiliza mais que um *input*.

A forte presença da radiação solar e da luminosidade como *inputs* nas fachadas interativas reflete a crescente prioridade dada à gestão energética e ao conforto visual e térmico nos edifícios. A radiação solar é um dos fatores que mais influencia o consumo de energia, pois afeta diretamente a temperatura interna e a necessidade de aquecimento ou arrefecimento. A luminosidade é um *input* igualmente importante para o controlo da luz natural, contribuindo para a redução do consumo de energia elétrica. Sistemas interativos que reagem à radiação solar e se ajustam em função da intensidade da luz externa são eficazes energeticamente, o que reduz a necessidade de climatização e de iluminação artificial.

O *input* temperatura (33%) também se revela de grande importância, especialmente no contexto da eficiência energética. Sistemas interativos que respondem às variações de temperatura, como fachadas ventiladas ou sistemas de ventilação dinâmica, são fundamentais para reduzir o consumo de energia para a climatização. A capacidade de ajustar as fachadas em função da temperatura exterior e interior contribui para regular termicamente o edifício, promovendo a temperatura interna ideal sem recorrer a sistemas mecânicos. Em conjunto com a regulação da luminosidade e radiação solar, o controlo de temperatura através de fachadas interativas fornece uma abordagem holística de gestão sustentável dos edifícios.

Embora os *inputs* relacionados com o vento (18%), humidade (3%) e qualidade do ar (3%) estejam presentes nas fachadas interativas, a sua utilização ainda é secundária

em comparação com os primeiros. O vento, enquanto fonte de ventilação natural e de refrigeração passiva, pode ser um *input* relevante em determinados contextos climáticos. Sistemas de fachada que ajustam a abertura das janelas ou permitem a circulação do ar em função da direção e intensidade do vento têm grande potencial para reduzir a dependência de sistemas mecânicos de ventilação e de ar condicionado. No entanto, a utilização do vento não só como *input*, mas também como atuador, é limitada, especialmente em regiões urbanas ou locais com pouca disponibilidade de vento constante. Por outro lado, a utilização da humidade e da qualidade do ar como *inputs* ou atuadores apresenta desafios técnicos significativos, principalmente devido à complexidade de implementação de sistemas que permitam monitorizar e ajustar esses parâmetros de forma eficiente nas fachadas e à escassez de materiais capazes de responder a estes estímulos.

Outro dado relevante na análise dos *inputs* foi a presença de interatividade com o utilizador (18%), pois esta possibilidade interfere positivamente na satisfação dos mesmos. A interatividade pode ser em forma de *input*, através da escolha remota de preferências, mas também como atuador, através da manipulação direta. Embora não seja o *input* mais predominante, esta categoria reflete a tendência crescente de oferecer aos utilizadores a capacidade de personalizar e interagir com o ambiente construído³⁹. Este tipo de interação tem um papel complementar na gestão eficiente de recursos, uma vez que pode ajustar os parâmetros de forma precisa de acordo com as necessidades individuais, ainda que crie alguns desafios do ponto de vista da eficiência.

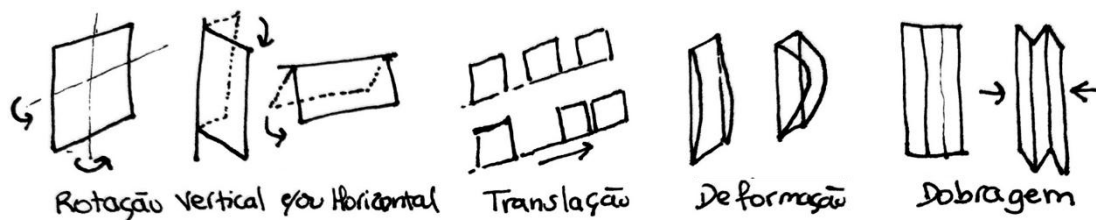
Em suma, os *inputs* mais comuns nas fachadas interativas, como a radiação solar, a luminosidade e a temperatura, têm um impacto significativo na eficiência energética e conforto ambiental dos edifícios. Embora *inputs* como o vento, a humidade e a qualidade do ar também possam desempenhar um papel importante, a sua implementação nas fachadas interativas ainda enfrenta desafios técnicos. A inclusão de interatividade com o utilizador, por sua vez, oferece um valor adicional ao proporcionar personalização e conforto, mas a sua contribuição para a eficiência energética é mais limitada. A combinação da leitura de *inputs* pode resultar em edifícios mais eficientes, sustentáveis e agradáveis para os utilizadores.

³⁹ "A investigação demonstrou que os utilizadores aceitam melhor a temperatura ambiente se esta puder ser regulada por janelas que podem ser abertas. Os utilizadores ficam normalmente menos satisfeitos se a temperatura for controlada por uma unidade central de ar condicionado que não podem regular individualmente."; "Research has shown that users show higher acceptance of the room temperature if the temperature can be regulated by operable windows. Users are typically less satisfied if the temperature is controlled by a central air-conditioning unit that they cannot regulate individually." (Knaack et al., 2007: 72)

Tipo de Movimento

O tipo de movimento⁴⁰ delinea a forma como os diversos componentes do sistema interativo se movem. Para os efeitos desta dissertação foram consideradas quatro tipologias: rotação (vertical e horizontal), translação, deformação e dobragem, pelas quais a amostra foi distribuída (F.50).

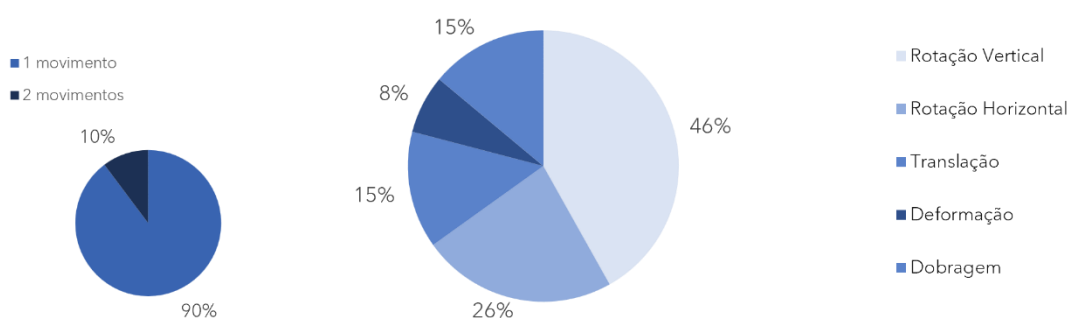
[F.50] Tipos de movimento. Autora, 2025.



'A rotação define o movimento do elemento que gira em torno de um eixo', podendo este ser vertical ou horizontal. A translação consiste na deslocação ao longo de um eixo específico, conservando uma direção constante. 'A deformação refere-se à deformação da forma do elemento sob a ação de forças aplicadas. A dobragem indica o movimento de dobragem do sistema, que consiste em painéis rígidos. (...) Por fim, os sistemas com mais do que um movimento são especificados como híbridos.'⁴¹. (Kızılörenli, 2021)

Primeiramente, é apresentado um gráfico que evidencia a parte da amostra que apenas utiliza um único tipo de movimento, bem como a que utiliza mais que um, ou seja, um movimento híbrido. Em seguida, o segundo gráfico demonstra a distribuição da amostra pelos vários movimentos possíveis, adotados pelo sistema interativo das fachadas (F.51).

[F.51] Tipo de movimento: único ou híbrido. Distribuição pelos tipos de movimento Autora, 2025.



Lê-se, no segundo gráfico apresentado, que 72% dos sistemas interativos funcionam com movimentos rotacionais, dos quais 46% em rotação vertical e 26% em rotação horizontal. Outros sistemas utilizam a translação (15%), painéis dobráveis (15%)

⁴⁰ Ato ou efeito de mover ou de mover-se. ("movimento", in [Priberam, 2008-2025] <https://dicionario.priberam.org/movimento>, consultado a 14/11/24)

⁴¹ "Rotation defines the movement of the element that rotates around an axis. [...] Deforming refers to the shape deformation of the element under applied forces. Folding indicates the folding movement of the system that consists of rigid panels. [...] Finally, the systems that have more than one movement have been specified as hybrid."

e a deformação (8%). A soma dos diferentes movimentos considerados é superior a 100% devido a alguns sistemas interativos utilizarem mais que um movimento (10%), combinando-os.

Esta análise revela uma clara preferência por sistemas interativos que utilizam movimentos rotacionais, especialmente em torno de um eixo vertical. Essa predominância pode ser justificada pela sua simplicidade de implementação, disponibilização no mercado, robustez e menor probabilidade de falhas mecânicas em relação a sistemas mais complexos. A rotação permite ainda que os sistemas sejam bastante versáteis, podendo ajustar os elementos que se movimentam a variadas condições. A predominância da rotação no eixo vertical poderá ser sintoma da concentração de CEE em zonas geográficas em que o sol se encontra num ângulo baixo durante a maior parte do ano, fator que dificulta o bloqueio da incidência solar em sistemas rotacionais horizontais (Zvironaite et al., 2014).

A translação limita o sistema a um movimento linear, o que pode justificar a percentagem significativamente mais baixa em relação à utilização da rotação, pois limita a adaptação ao meio sendo menos flexível. A sua utilização poderá dever-se ao facto de este permitir uma amplitude de movimento maior.

A utilização de painéis dobráveis permite uma flexibilidade que outros sistemas não têm, no sentido em que é possível cobrir toda a fachada, mas também desimpedi-la completamente, proporcionando vistas desobstruídas e aproveitamento em momentos em que não existe sol incidente. A desvantagem deste sistema é a menor capacidade de se adaptar a um meio-termo e a exigência de uma movimentação dos materiais que constituem o sistema significativamente maior em relação à rotação.

Por fim, os sistemas que utilizam a deformação dependem das propriedades dos materiais aplicados, como tecidos ou membranas, sendo muito flexíveis e tendo a capacidade de criar formas complexas. Apesar destes sistemas serem altamente adaptáveis, a sua aplicação é reduzida, provavelmente porque são materiais mais caros e pouco convencionais e/ou que requerem sistemas mais complexos.

Apesar da rotação ser o movimento mais integrado nos sistemas interativos, não significa necessariamente que este seja o melhor ou mais eficiente, sendo que a escolha do tipo de movimento ideal depende de diversos fatores. Acreditamos que haverá uma forte ligação entre a região climática, o *input* que o sistema lê e a escolha do tipo de movimento, pois há sistemas com movimentos mais eficientes para controlar a incidência da radiação solar, outros para a temperatura etc., podendo um motivar a escolha do outro ou vice-versa. Também a tipologia de fachada, já

mencionada, tem um papel importante na escolha do movimento. Outro fator muito impactante é o custo, uma vez que quanto mais complexos são os sistemas maiores tendem a ser os custos. Devem, ainda, ser considerados aspectos de desempenho como a velocidade, precisão e durabilidade do movimento e do sistema. As considerações estéticas têm um papel significativo nesta escolha, visto que o tipo de movimento define a aparência da fachada do edifício.

«Um sistema de persianas fixas, por vezes está a funcionar bem, outras vezes não. As grelhas verticais funcionam bem com o sol de lado, não funcionam bem quando o sol está virado para si.» Já 'as grelhas horizontais funcionam bem quando o sol está alto, mas não funcionam de todo bem quando o sol está baixo, especialmente se estiver à esquerda e à direita, ou a Este e a Oeste.» - Karanouh (Apêndice VII)

Em suma, a escolha do tipo de movimento para um sistema interativo deve ser feita de forma a otimizar o desempenho do sistema, considerando os fatores mencionados acima. A rotação é um tipo de movimento popular devido à sua simplicidade e versatilidade, mas outros tipos de movimento podem ser mais adequados em determinadas situações.

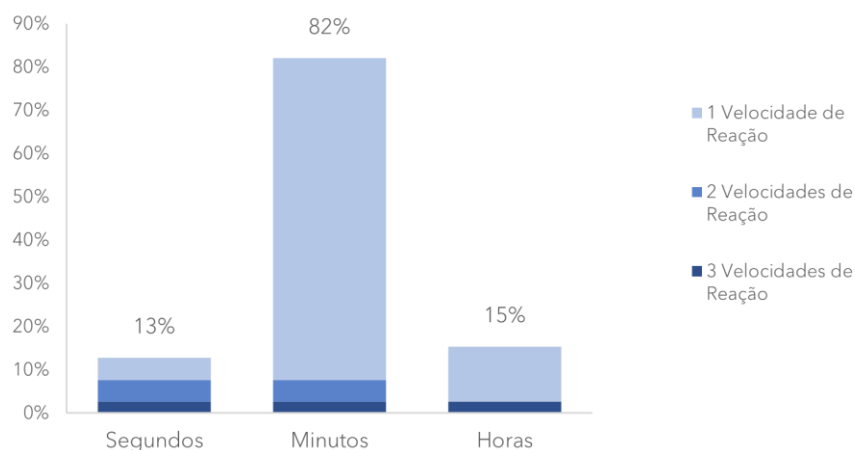
Tempo de Reação

Esta categoria estuda o intervalo de tempo que um sistema de fachada interativo leva a responder às alterações do meio envolvente, desde o momento em que estas são captadas, através de sensores, até à conclusão do movimento responsivo.

O tempo de resposta dos sistemas interativos pode ser significativamente influenciado por uma série de fatores. O clima, sendo um deles, desempenha um papel crucial na performance dos sistemas, visto que temperaturas extremas podem comprometer o funcionamento de componentes eletrónicos e mecânicos, resultando num tempo de resposta mais lento. A humidade, por sua vez, pode afetar a condutividade elétrica e causar corrosão nos componentes metálicos, o que pode levar a falhas ou imprecisões nos sistemas, alterando também o tempo de resposta. Outro fator ambiental relevante é o vento. A exposição a ventos fortes pode gerar vibrações nas fachadas, afetando a estabilidade dos sensores e atuadores e, consequentemente, impactando a precisão e a velocidade de resposta dos sistemas. A precipitação, como chuva, neve ou granizo, também pode prejudicar o desempenho dos componentes,

danificando-os diretamente ou obstruindo sensores que dependem de visibilidade clara.

O próximo gráfico (F.52) demonstra a distribuição da amostra pelos diferentes tempos de reação.



[F.52] Tempo de reação do sistema interativo. Autora, 2025.

Verifica-se que a maioria da amostra tem sistemas interativos que reagem apenas numa velocidade, sendo a percentagem que reage em mais do que uma irrisória. Afere-se ainda que o tempo de resposta dos sistemas considerados pela amostra se divide em segundos (13%), minutos (82%) e horas (15%).

A predominância de sistemas com tempos de resposta na ordem dos minutos pode ser explicada por várias razões. Primeiramente, a natureza da aplicação em fachadas interativas raramente exige respostas imediatas. A regulação da temperatura ou a adaptação da luminosidade em função da radiação solar são exemplos de processos que podem ser realizados de forma gradual (posição de *brises-soleil* ou persianas), sem a necessidade de uma resposta instantânea. As soluções interativas nestes contextos são, portanto, projetadas para operar dentro de uma margem de tempo mais ampla, como minutos, o que explica a prevalência dessa categoria.

Sistemas mais complexos, com múltiplos sensores e atuadores integrados, tendem a apresentar tempos de resposta mais longos devido ao processamento dos dados provenientes de diversas fontes, o que pode gerar atrasos na coordenação e execução das ações desejadas. Assim, o tipo de atuador também é um elemento crucial na definição do tempo de resposta do sistema. Atuadores elétricos, que geralmente oferecem uma resposta mais rápida, podem ser mais eficientes em comparação com atuadores hidráulicos ou pneumáticos, que podem ter tempos de resposta mais lentos devido à necessidade de movimentar fluidos ou pressurizar sistemas.

Outro ponto relevante é a fonte de energia utilizada pelo sistema e a sua capacidade, especialmente em sistemas que dependem de fontes de alimentação

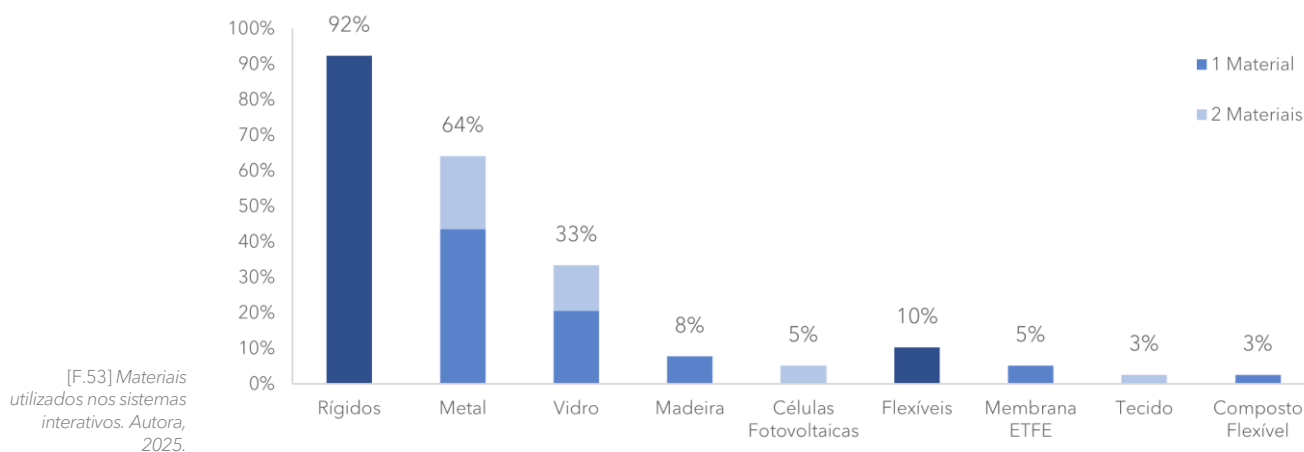
mais complexas ou de menor potência. O tamanho e peso dos componentes também podem influenciar o tempo de resposta, visto que sistemas mais pesados exigem mais tempo para se mover ou para ajustar os elementos da fachada.

Por fim, a manutenção é um fator crucial para garantir que o tempo de resposta se mantenha eficiente ao longo do tempo. A falta de manutenção preventiva pode resultar em falhas nos componentes e no aumento da fricção e desgaste de materiais, que, por sua vez, afetam a velocidade e a precisão do sistema.

Em suma, o tempo de resposta dos sistemas interativos nas fachadas depende de uma série de fatores, como as especificidades das suas aplicações, as condições climáticas e geográficas e as tecnologias disponíveis. A busca por maior eficiência e rapidez no tempo de resposta continua a ser um desafio a ser superado no desenvolvimento futuro destes sistemas, especialmente em contextos onde a mudança de condições ambientais exige uma maior flexibilidade e rapidez nos ajustes.

Materiais

O gráfico seguinte (F.53) demonstra a distribuição da amostra pelas distintas propriedades e materiais presentes, de forma significativa, nos sistemas interativos.



Aquando do estudo dos materiais que constituem os sistemas interativos, foi possível constatar que estes se dividem em dois grupos: os Rígidos (92%) e os Flexíveis (10%). Dentro dos rígidos, o mais utilizado é o metal (64%), que engloba aço e alumínio, seguido do vidro (33%), da madeira (8%) e de células fotovoltaicas (5%). Nos flexíveis estão contempladas as membranas ETFE (5%), tecido (3%) e outros compostos flexíveis (3%). É possível ainda constatar-se que uma parte dos sistemas utiliza não só um, mas dois materiais.

Como se pode observar, os metais e o vidro são predominantes em fachadas interativas, provavelmente devido às suas propriedades mecânicas e térmicas. O metal oferece alta resistência à carga e durabilidade, suportando condições climáticas adversas, como ventos fortes e variações de temperatura. A sua rigidez possibilita a criação de estruturas estáveis e precisas, essenciais para o bom funcionamento dos sistemas interativos. A versatilidade do metal também é um fator determinante para a sua predominância. Além da sua alta resistência, este pode ser moldado em diversas formas e espessuras, permitindo *designs* personalizados e complexos. Este pode ainda ser combinado com outros materiais, como o vidro e a madeira, ampliando as possibilidades estéticas e funcionais. A ampla disponibilidade e acessibilidade deste material também o torna apelativo, sendo a sua manutenção um processo simples, que exige apenas limpeza periódica e reparos pontuais. Propriedades que lhe são intrínsecas, como a alta resistência ao fogo, que contribui para a segurança dos edifícios, a condutividade térmica, que ajuda a regular a temperatura de componentes eletrônicos, evitando o sobreaquecimento, e a condutividade elétrica, que o torna um bom condutor de eletricidade em que o fluxo de corrente elétrica é eficiente para o funcionamento de circuitos e dispositivos, otimizam o conforto interno e a eficiência energética do edifício. (MetalsCut4U, 2024) O vidro, por sua vez, caracteriza-se pela durabilidade e transparência, permitindo a entrada de luz natural e melhorando a iluminação interna, o que reduz a necessidade de iluminação artificial. Além disso, é eficiente em sistemas de controlo solar, contribuindo para a eficiência energética do edifício. (Giacomini, s.d.)

Por outro lado, os materiais flexíveis, como as membranas ETFE (Etileno-Tetrafluoretileno) e tecidos, têm ganho destaque pela sua leveza e versatilidade. Estas membranas são capazes de criar fachadas mais leves e curvas, oferecendo formas mais orgânicas e translucidez. (NowoFol, s.d.) No entanto, o custo elevado e as limitações técnicas na fabricação e instalação ainda restringem a sua utilização. A durabilidade de materiais como os tecidos também tende a ser menor, o que representa uma desvantagem em comparação com os materiais rígidos.

Para além das propriedades inerentes aos materiais, existem outros fatores a considerar na escolha destes, como as condições climáticas locais, a função do sistema, as exigências estéticas, os custos e, especialmente, a sustentabilidade. O impacto ambiental de cada material deve ser avaliado ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até ao seu descarte ou reciclagem. A produção de metais, por exemplo, gera resíduos, um grande consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa, mas a sua reciclagem é simples e eficiente e consome menos energia do

que a produção de novos materiais. Muitos metais podem ser reciclados infinitamente sem perda de suas propriedades (Metal Distendido, 2024). O vidro também é reciclável infinitamente, sendo esta ação menos energética do que a produção de vidro novo. Ainda assim ambas as ações geram a emissão de gases poluentes, sendo que na sua produção isto derivado da necessidade de altas temperaturas para fundir a areia (CERV, s.d.). Já a madeira, quando proveniente de florestas administradas de forma sustentável, pode ser uma opção mais ecológica, apesar do seu transporte e processamento gerarem significativas emissões de carbono. Esta pode ser reutilizada para a produção de móveis e outros produtos de madeira ou transformada em biomassa para geração de energia.

Os materiais flexíveis, como as membranas ETFE, tecidos ou compostos, apresentam desafios em termos de reciclagem e impacto ambiental, devido à complexidade de sua composição, já que muitos desses materiais acabam em aterros sanitários. A produção de células fotovoltaicas, embora também gere impactos ambientais, contribui para o fornecimento de energia renovável, compensando parcialmente as emissões de carbono associadas à sua produção.

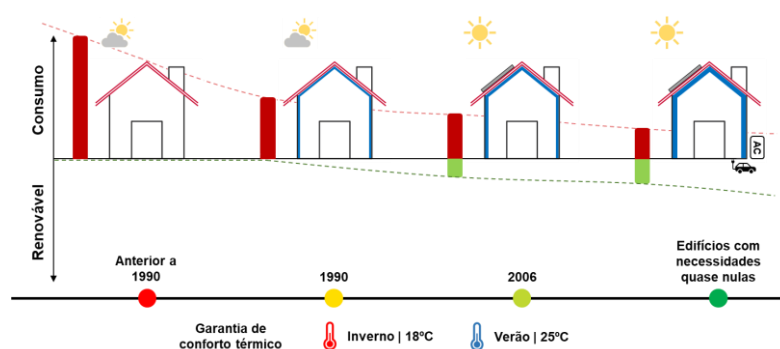
Em resumo, a escolha dos materiais para os sistemas interativos de fachadas deve equilibrar o desempenho técnico, as exigências estéticas e os impactos ambientais. Metal e vidro são os materiais preferidos, devido à sua durabilidade e versatilidade, mas os materiais flexíveis têm ganho relevância, principalmente em busca de soluções mais leves e inovadoras. A sustentabilidade deve ser uma consideração fundamental em todo o ciclo de vida do material, desde a produção até o descarte, reciclagem ou reutilização, para minimizar os impactos ambientais, reduzindo o consumo de recursos naturais e promovendo uma arquitetura mais responsável e eficiente.

4.2.4 | SUSTENTABILIDADE

No âmbito de certificação energética dos edifícios, a Diretiva (UE) 2018/844, adotada pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho Europeu, introduziu mudanças significativas com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios e promover a utilização de fontes renováveis (DGEG, s.d.). Entre as alterações, destaca-se o reforço dos sistemas energéticos renováveis, o desincentivo aos sistemas baseados em combustíveis fósseis, a integração da mobilidade elétrica e a

implementação de sistemas inteligentes de controlo. Acresce, ainda, a introdução de uma abordagem económica que avalia o custo/benefício ao longo do ciclo de vida do edifício, a promoção de investimentos a longo prazo em termos de retorno energético e a definição de requisitos mínimos mais exigentes – cuja viabilidade deve ser justificada através de uma metodologia comum – bem como a criação do Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDDE), para edifícios existentes, e a definição de critérios para edifícios de necessidades quase nulas de energia (NZEB), exigindo que os novos edifícios obtenham, pelo menos, 50% das suas necessidades energéticas a partir de fontes renováveis (DGEG, 2020; REHVA, 2024).

O desempenho energético de um edifício está relacionado com a energia primária (EP) total necessária para assegurar as condições de habitabilidade dos seus ocupantes. De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, a energia primária é aquela *'proveniente de fontes renováveis ou não renováveis não transformada ou convertida'*, e é sempre superior à energia final (EF) consumida, tendo em conta as perdas na produção, distribuição e conversão (DGEG). O regulamento contabiliza as necessidades de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS), permitindo determinar as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) através da subtração da contribuição das fontes renováveis (DGEG, 2020). Este indicador fundamenta a classificação da eficiência energética dos edifícios, que é refletida no Certificado Energético – documento que apresenta a identificação do edifício, a classe energética, o consumo anual de energia primária por metro quadrado e os contributos das fontes renováveis (REHVA, 2024).



Para melhorar a eficiência energética e reduzir o consumo de energia primária, podem ser adotadas estratégias que envolvem a otimização dos sistemas térmicos, a implementação de sistemas de recuperação de calor e a produção de energia, térmica ou elétrica, a partir de fontes renováveis. No entanto, o investimento nestas tecnologias só se revela economicamente vantajoso se o edifício apresentar um bom desempenho térmico (Pereira, 2019).

[F.54] Eficiência energética nos edifícios. Milheiro, 2021.

Certificados de Sustentabilidade

A certificação de construção sustentável é um sistema de avaliação que reconhece os edifícios que cumprem critérios específicos em termos ambientais, económicos e sociais. Esses sistemas, também conhecidos como ferramentas de classificação de edifícios verdes, visam identificar e premiar os projetos que promovem a eficiência no uso de recursos naturais, reduzem o impacto ambiental e proporcionam ambientes saudáveis e confortáveis para os utilizadores. Assim, as certificações incentivam as empresas e organizações a adotar práticas mais ecológicas e a ultrapassar os limites estabelecidos pelos códigos e regulamentos governamentais de construção, estimulando inovações e melhorias contínuas no setor. Estas são aplicadas em várias fases do ciclo de vida de um edifício, desde o planeamento e conceção até à construção, operação, manutenção, renovação e, eventualmente, a demolição. Além disso, as certificações podem ser específicas para diferentes tipos de edifícios, como habitação, edifícios comerciais ou até bairros inteiros, com sistemas de avaliação diferenciados conforme o contexto e a tipologia do projeto. (WorldGBC, 2023)

Até 2021, cerca de 4,2 bilhões de metros quadrados (m²) de espaço construído foram certificados como sustentáveis em todo o mundo, graças à atuação dos *Green Building Councils (GBC)*, membros da *World Green Building Council (WorldGBC)*. Esta organização global reconhece o impacto transformador das certificações nas práticas de construção sustentável e apoia ativamente a sua utilização para promover um futuro mais ecológico e eficiente (WorldGBC, 2023).



Existem diversos sistemas de certificação (F.55), cada um com as suas particularidades e critérios de avaliação, que variam conforme a região, o tipo de edifício e as especificidades de cada projeto. Entre os mais reconhecidos estão o DGNB (*German Sustainable Building Council*), o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) e o *Green Star*. Existem outros como o EEWB (*Ecology, Energy Saving, Waste Reduction, and Health*) e o PRS (*Pearl Rating System*) da *Estidama*.

[F.55] Sistemas de certificação. Woodall, 2017.

Embora cada sistema tenha uma abordagem única, todos partilham um foco comum: a promoção da sustentabilidade ambiental.

O DGNB é uma das certificações mais reconhecidas no setor da construção sustentável. Originário da Alemanha, esse sistema adota uma abordagem holística, avaliando uma vasta gama de aspetos ambientais, económicos e sociais ao longo do ciclo de vida de um edifício. Entre os critérios avaliados estão a eficiência energética, o uso de materiais, o impacto ambiental e a qualidade do ambiente interior, o que torna o DGNB uma ferramenta chave para impulsionar a sustentabilidade na construção (DGNB, 2023).

A certificação LEED é um dos sistemas de avaliação ambiental mais reconhecido a nível mundial, desenvolvido pelo *US Green Building Council* (USGBC). Esta certificação promove a criação de edifícios sustentáveis, eficientes em termos energéticos e com impactos positivos ao nível ambiental, social e económico. O LEED avalia uma série de critérios, incluindo o uso de materiais sustentáveis, a gestão de água, a eficiência energética e a promoção de ambientes interiores saudáveis. O sistema adota uma abordagem global, considerando não apenas a redução das emissões de carbono e a melhoria da saúde humana, mas também a proteção dos recursos hídricos, a biodiversidade e a qualidade de vida das comunidades. A pontuação LEED vai de *Certified* a *Platinum*, refletindo o compromisso do edifício em atingir elevados padrões de sustentabilidade e resiliência ambiental. É de notar que existem 197000 projetos LEED em todo o mundo, abrangendo 186 países e territórios, o que representa uma área construída de mais de 2,7 bilhões de m². (USGBC, 1996-2025a)

O BREEAM, originário do Reino Unido, é um sistema de certificação ambiental amplamente adotado a nível global, evidenciado pela sua abordagem abrangente na avaliação do desempenho sustentável dos edifícios. Este sistema analisa uma série de critérios, como gestão ambiental, saúde e bem-estar dos utilizadores, impacto no local, eficiência no uso de recursos e outros aspetos relacionados com a sustentabilidade. A pontuação mais alta do BREEAM, *Outstanding*, é atribuída a projetos que demonstram um compromisso excecional com a sustentabilidade. Este sistema é especialmente relevante para edifícios comerciais e instituições que buscam soluções personalizadas para as suas necessidades ambientais, promovendo práticas de construção e operação responsáveis e inovadoras. (BREEAM, 2024). Outros países adotaram este método de classificação adaptando-o para a sua realidade, como é o caso da Suécia que utiliza o BREEAM-SE (SGBC, 2024).

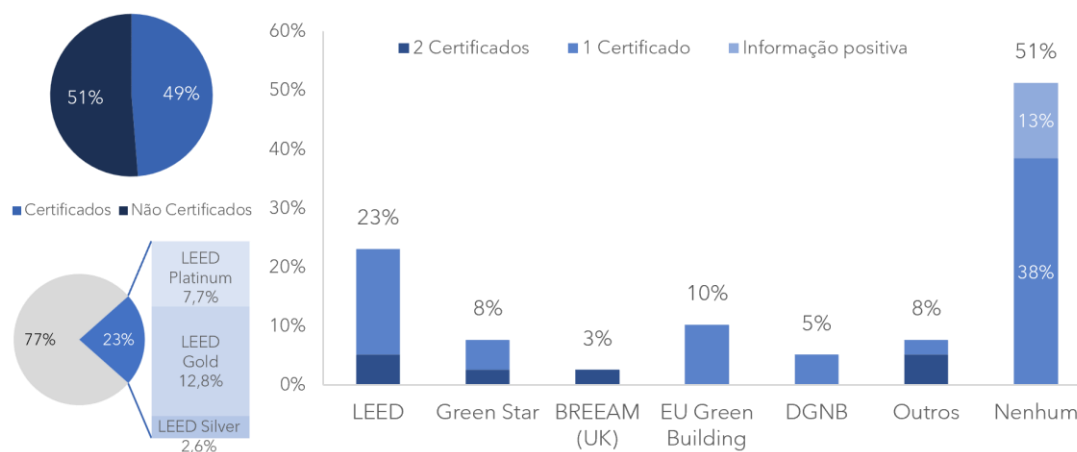
Na Austrália, o *Green Star* é uma das certificações mais prestigiadas em termos de sustentabilidade e eficiência energética. Este sistema avalia várias categorias, incluindo o *design* de escritórios e a construção de edifícios. O *Pixel Building* destaca-se por ter alcançado a pontuação máxima nas categorias em que foi avaliado, exemplificando a vanguarda das práticas de construção sustentável na região, com um foco claro na maximização da eficiência de recursos e na minimização do impacto ambiental (GBCA, 2024).

Outro sistema relevante é o EEWH, utilizado em Taiwan. Este sistema visa a redução de resíduos, o uso eficiente de energia e a promoção de um ambiente saudável (Greenjump, 2022). Similarmente, o *Pearl Estidama* é uma certificação exclusiva de Abu Dhabi, com foco na construção sustentável em regiões áridas e quentes. O sistema PRS é adaptado ao clima da região, incentivando práticas de construção que minimizem o consumo de energia e a utilização de recursos hídricos, além de garantir a conformidade com as tradições locais e valores culturais (Estidama, 2023).

Em países da União Europeia, como Portugal, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) é obrigatório e segue a Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD). Esta certificação classifica os edifícios em diferentes categorias (A, B, C, etc.), com base no seu desempenho energético, considerando fatores como o isolamento térmico, a eficiência dos sistemas de climatização e o consumo de energia. A avaliação energética visa promover a melhoria da eficiência energética dos edifícios existentes e garantir que os novos edifícios sejam construídos com elevados padrões de desempenho energético, contribuindo para a redução das emissões de CO₂ e para a sustentabilidade a longo prazo (DGEG, 2024).

Esses sistemas de certificação desempenham um papel crucial na luta contra as alterações climáticas, promovendo práticas de construção que respeitam o meio ambiente. Ao adotar essas certificações, os edifícios não apenas atendem às exigências legislativas e normativas, mas também demonstram um compromisso real com a sustentabilidade e a melhoria da qualidade de vida dos seus utilizadores.

Os seguintes gráficos (F.56) demonstram a distribuição da amostra, primeiramente, pela categorização certificado ou não certificado e em seguida, mais aprofundadamente, pelos diferentes tipos de certificados de sustentabilidade. Discrimina ainda o nível de classificação LEED.



[F.56] Certificação de sustentabilidade dos edifícios da amostra. Autora, 2025.

No primeiro gráfico circular, é possível constatar que estamos perante uma amostra que se divide em 49% de casos certificados e 51% de não certificados. Ao aprofundarmos este estudo, observámos, no gráfico de barras à direita, que a certificação LEED é a mais presente com 23% (7,7% LEED *Platinum*, 12,8% LEED *Gold* e 2,6% LEED *Silver*), seguida do certificado *EU Green Building* (10%), *Green Star* (8%), *DGNB* (5%) e *BREEAM* (5%), sendo que 8% da amostra tem outros certificados. A soma da presença destes certificados é superior a 49%, pois 8% da amostra corresponde a edifícios com dois certificados de sustentabilidade. Constatámos ainda, através de informação encontrada sobre a performance dos edifícios e sobre o consumo de energia primária (PE), que os 51% da amostra que não tem nenhum certificado de sustentabilidade se subdivide em 13% com informação positiva relativa à performance e 39% sem informação específica.

Estes resultados refletem a popularidade e o reconhecimento internacional, já referidos, do sistema LEED, amplamente adotado pela abrangência dos critérios de avaliação. Sublinham ainda, a importância crescente das certificações como ferramentas para promover melhores práticas de sustentabilidade.

A dissertação pretende estudar e propor os sistemas de fachada interativos como estratégia para uma arquitetura sustentável e edifícios mais eficientes. Através da amostra recolhida, que põe em prática esta estratégia, é possível perceber que, do universo estudado, 62% dos edifícios tem certificação (49%) que comprova a sua sustentabilidade ou informação positiva (13%) relativa à sua performance. Esta percentagem representa aproximadamente três quintos da amostra, uma maioria que permite fundamentar que estes sistemas de fachada são utilizados com o propósito proposto. Em conjunto com vários outros mecanismos e sistemas, as fachadas interativas podem promover uma arquitetura sustentável.

Por fim, mais uma vez parece-nos importante salientar que o edifício *Pixel* (F.57), edifício integrante da amostra, pelo exemplo da aplicação do sistema interativo na fachada, de inovação e sustentabilidade na arquitetura moderna, destacando-se como um dos edifícios mais avançados em termos de certificações ambientais e eficiência energética. Este pertence aos 8% da amostra que é reconhecido em simultâneo por dois certificados de sustentabilidade. O edifício alcançou a classificação *Platinum* no sistema de avaliação *US LEED* com 105 pontos, tornando-o o edifício com a classificação mais elevada do mundo, de todos os certificados LEED. No âmbito do *Green Star*, o *Pixel* obteve uma pontuação perfeita de seis estrelas, 100 pontos mais cinco pela inovação, conquistando todos os créditos disponíveis nas categorias do *Green Star V3 Office Design* e *Green Star As Built*. Faz parte dos objetivos deste edifício ultrapassar a pontuação mais elevada já alcançada no âmbito dos sistemas de classificação BREEAM do Reino Unido. Para contextualizar, existem cerca de 740.000 edifícios registados mundialmente sob estes três sistemas de classificação, e o *Pixel* encontra-se na vanguarda de todos eles, sendo um modelo a seguir. (studio505, s.d.)

O edifício foi concebido com o objetivo de ser neutro em carbono, tendo em conta as definições do Reino Unido em vigor na altura do início do projeto. Além disso, o *Pixel* foi projetado para reduzir o estacionamento automóvel e integrou sistemas de digestão anaeróbia e de gestão hídrica, com sanitas a vácuo, altamente eficientes. Se Melbourne regressar à mesma média de precipitação que teve entre 1999 e 2009, o *Pixel* poderá ser desligado da rede de abastecimento e será autossuficiente em termos de abastecimento de água. (PIXEL, s.d.)

Essas características colocam o Edifício *Pixel* como um verdadeiro ícone de construção sustentável, demonstrando que é possível combinar inovação, *design* moderno e um compromisso real com o meio ambiente.

[F.57] Desenhos e fotografias da fachada do edifício *Pixel* (2010).
studio505, s.d.



4.3 | RESULTADOS

O estudo sobre fachadas interativas revela avanços significativos entre 2010 e 2014, impulsionados por tecnologias mais acessíveis e uma maior consciencialização ambiental. Começámos por observar que a maior parte da amostra pertence à ZCTN (84,6%), no entanto deparámo-nos com o facto de este dado estar contaminado pelas diferenças socioeconómicas entre os países das diferentes zonas climáticas. A maioria dos projetos localiza-se em países desenvolvidos (92,3%), concentrando-se na Europa, sobretudo na Alemanha, devido a políticas de incentivo e recursos disponíveis. Em relação ao programa, edifícios de escritórios predominam (62%), motivados por vantagens económicas e pela procura de sustentabilidade e eficiência.

A orientação dos edifícios e das fachadas interativas tem um grande impacto na eficiência energética e sustentabilidade dos mesmos. O estudo afere que 31% dos edifícios possuem fachada interativa em toda a sua superfície, enquanto 69% contém apenas em parte. Além disso, 69% tem pelo menos uma fachada interativa voltada a Este e 67% pelo menos uma voltada a Oeste, sendo estas as direções com maior expressão. Apenas as direções Norte e Noroeste não possuem edifícios com fachadas interativas exclusivas. Quanto à tipologia, as fachadas de sombreamento externo são as mais utilizadas (74%) graças à flexibilidade de aplicação e à boa gestão climática, impedindo à priori a entrada da radiação solar. No que se refere à dimensionalidade, sistemas bidimensionais representam 85% dos casos, devido à sua simplicidade, enquanto os tridimensionais são menos comuns pela complexidade e custos elevados. Os *inputs* mais frequentes baseiam-se na radiação solar (54%) e na luminosidade (54%), otimizando o conforto e o consumo energético. Movimentos rotacionais lideram (72%) pela facilidade de implementação, enquanto opções como translação e dobragem são aplicadas apenas em situações específicas. Quanto ao tempo de reação, a maioria das fachadas têm tempos de resposta na ordem dos minutos (82%), adaptando-se de forma relativamente rápida face às alterações do meio e equilibrando eficiência e simplicidade. Os materiais mais usados são rígidos, como metais (64%) e vidro (33%), devido à resistência e eficiência térmica. Sistemas flexíveis, como membranas de ETFE (5%), são menos comuns, mas oferecem maior adaptabilidade e representam a inovação material.

O estudo também destaca que 49% dos edifícios analisados possuem certificações energéticas, como LEED, *EU Green Building* ou *Green Star*, às quais se somam 13% dos edifícios com informação positiva relativa à sua performance, perfazendo um total

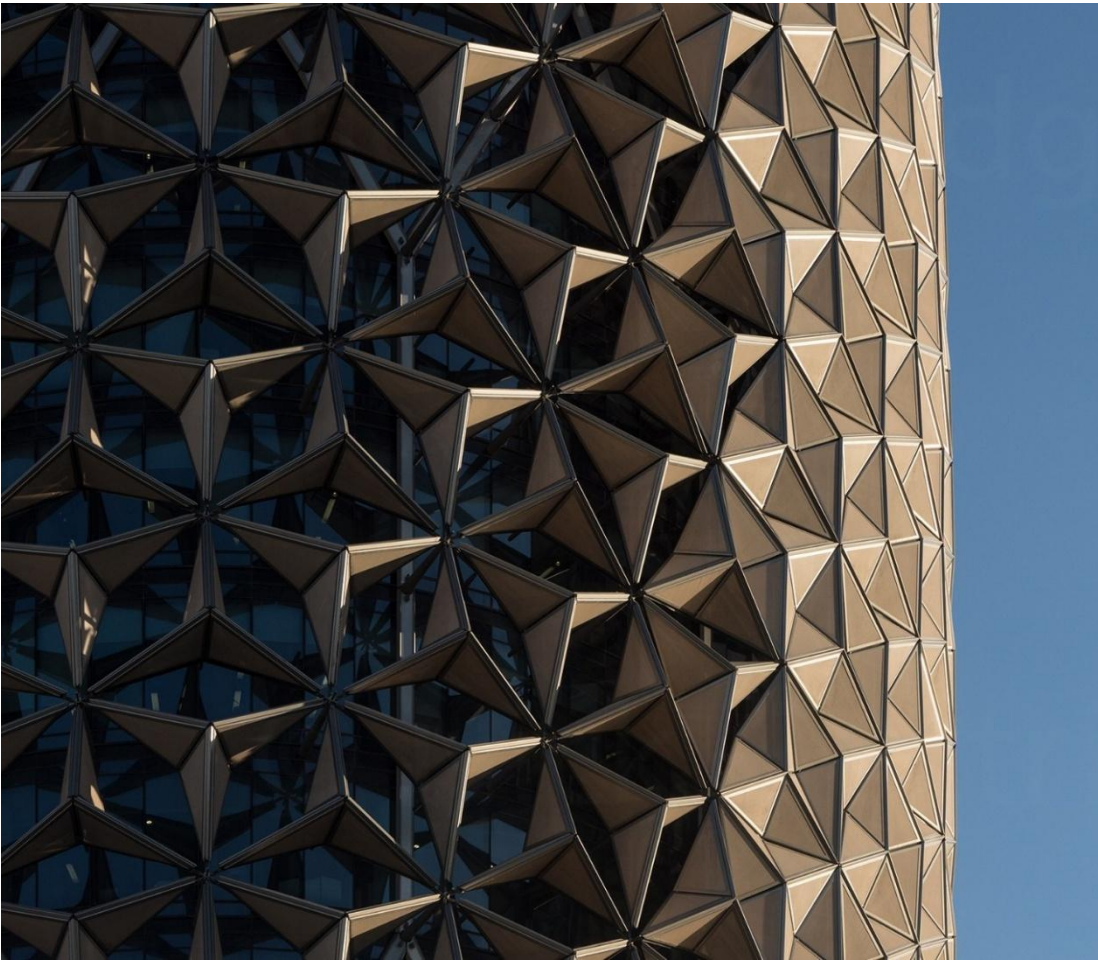
de 62%. Estes dados sublinham as fachadas interativas como uma estratégia eficaz para uma arquitetura mais sustentável.

Apesar dos resultados apresentados, devido às limitações referidas inicialmente, ainda ficam perguntas por responder que poderiam melhor expressar as características que se unem para a implementação destas fachadas interativas. Lançamos assim dúvidas que este estudo despoletou:

- Como é que as características se enquadram em cada zona climática? Quais os desafios técnicos e económicos para a implementação em cada zona climática?
- Como é que as políticas públicas e incentivos governamentais influenciam a adoção destas tecnologias?
- Qual a influência do programa na escolha da tipologia do sistema interativo?
- Tendo em vista os custos e benefícios, qual o retorno do investimento a longo prazo?
- Realizar uma análise comparativa entre diferentes tipos de sistemas de movimentação, considerando aspetos como custo, desempenho, durabilidade e impacto ambiental. Quais os mais eficientes? Existe um padrão?
- Quais os materiais mais utilizados para cada tipo de movimento e dimensionalidade?
- Qual o impacto ambiental dos diferentes tipos de sistemas de movimento, considerando o ciclo de vida completo, desde a fabricação até a disposição final?
- Quais foram as tendências das características destas fachadas ao longo do tempo?
- Como o tempo de resposta influencia a perceção do utilizador sobre a eficiência e a usabilidade do sistema?
- Existe alguma relação entre o tempo de resposta e o consumo de energia do sistema?

No próximo capítulo, iremos iniciar o estudo detalhado de um dos casos de estudo, as *Al Bahr Towers*, analisando os mesmos pontos do capítulo anterior: contexto, projeto, fachada e sustentabilidade.

5 | CASO DE ESTUDO - *AL BAHR TOWERS*



As *Al Bahr Towers* apresentam a maior fachada dinâmica computadorizada do mundo, reafirmando a liderança de Abu Dhabi na aplicação de tecnologias arquitetônicas avançadas no contexto do Médio Oriente, para além de serem um marco de eficiência energética em condições adversas.

Este caso de estudo destaca-se da amostra de 39 edifícios pela inovação e complexidade necessárias para a concretização deste projeto, não só pela fachada adaptativa - um maxarubi dinâmico - revolucionária até então, mas também pela forma como esta funciona em simbiose com o edifício, sendo uma parte fundamental para a otimização do mesmo. Segundo Peter Oborn, *'o projeto não se resumia à geometria nem ao maxarubi, mas sim, em primeiro lugar, à criação de um ambiente confortável para os utilizadores do edifício e toda a premissa do design é como gerir o ambiente externo para criar um ambiente interno atraente para os utilizadores do edifício'* (CTBUH, 2012).⁴²

Este edifício ergue duas torres no deserto, o que por si só representa um paradoxo no tema da arquitetura sustentável. No entanto, vários fatores são destacados como redutores do impacto ambiental, entre eles a aplicação do sistema interativo sob a fachada envidraçada, o que trará uma discussão relevante para o trabalho, podendo criar discórdia em como as fachadas interativas podem ser uma estratégia para um edifício mais sustentável.

Assim, é fundamental estudar pormenorizadamente as condições que proporcionaram e tornaram possível a aplicação da fachada interativa nas *Al Bahr Towers*. Iremos abordar desde o contexto em que surgiu a encomenda do projeto, as suas exigências programáticas e o local onde se insere, até ao processo de desenvolvimento, testes, construção, operação e manutenção da fachada que permitiu melhorar a eficiência do edifício e perceber os benefícios e desafios da sua integração. Para compreender de uma forma mais aprofundada este projeto entrevistámos três intervenientes, procurando perceber a perspetiva de cada um, não só em relação ao projeto, mas também sobre a estratégia estudada nesta dissertação.

(pág. anterior)
[F.58] *Fachada das Al Bahr Towers* (2012), Aedas. Guttridge, 2020.

⁴² «Of course, the project wasn't just about the geometry nor indeed the mashrabiya was first and foremost about creating a comfortable environment for users of the building and the whole premise of the design is how to manage the external environment in order to create an attractive internal environment for users of the building.» - Peter Oborn



5.1 | CONTEXTO



As *Al Bahr* (ou *Al Bahar*) Towers, concluídas no início de 2013, surgiram de um concurso internacional lançado em 2007, onde participaram 13 empresas especializadas, para o projeto daquela que viria a ser a nova sede do Conselho de Investimento de Abu Dhabi (CIAD)⁴³ em Abu Dhabi (F.60), nos Emirados Árabes Unidos (EAU). Das empresas participantes destacam-se a *Foster + Partners*, a KPF e a SOM, no entanto foi o atelier *Aedas-UK* (atualmente *AHR Architects*), em colaboração com a empresa de engenharia Arup, que venceu o concurso (Apêndice VII). O arquiteto Abdulmajid Karanouh, como Consultor Principal em *Design* de Inovação e Investigação na *Aedas-UK*, concebeu e liderou parte deste projeto, em colaboração com uma vasta equipa, que veio a ser apelidado como um dos edifícios altos e eficientes com a maior fachada dinâmica computadorizada do mundo. (Oborn, 2013).

Perante a inovação que estas torres representam, foram-lhes atribuídos diversos prémios e reconhecimentos, inclusivamente quando a obra ainda estava em andamento foi reconhecida pelo *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH)⁴⁴, que integrou o projeto na lista *Innovative 20* da *Urban Habitat* de edifícios que 'desafiam a tipologia dos edifícios altos no século XXI'. Em 2012, foi finalista no

⁴³ Abu Dhabi Investment Council (ADIC). Disponível em: <https://www.adcouncil.ae/>

⁴⁴ O CTBUH é uma organização sem fins lucrativos que facilita a troca dos conhecimentos mais recentes disponíveis sobre edifícios altos por meio de publicações, pesquisas, eventos, grupos de trabalho, recursos da Web e sua ampla rede de representantes internacionais. É o principal recurso mundial para profissionais focados na conceção, projeto, construção e operação de edifícios altos e cidades do futuro. O CTBUH também desenvolveu os padrões internacionais para medir a altura de edifícios altos e é reconhecido como o árbitro para conceder designações como "The World's Tallest Building". Disponível em: <https://www.ctbuh.org/about> (acedido em 29/11/2024)

[F.59] *Al Bahr Towers* (2012), Aedas. AHR, s.d.
[F.60] *Abu Dhabi Investment Council*. CTBUH, s.d.

prémio *Best Tall Building in Middle East and Africa*, ganhou o *Best Innovation Award* do CTBUH e ficou em segundo lugar no *Emporis Skyscraper Award*. Foi ainda galardoado, em 2013, pelo *Middle East Architect Awards* como *Best Overall Project in the Middle East* e *Commercial Project of the Year* e ainda considerado o projeto do ano para o *The International Award for Facade Engineering Excellence*. Em 2014, ganhou o *Architizer A+ Awards* na categoria de *Office Building High Rise*, o Prémio Internacional de Arquitetura *The Chicago Athenaeum* e o *RTF Sustainability Awards* em *Commercial Design*.

A proposta para a conceção das *Al Bahr Towers*, apresentada no concurso internacional, foi lançada numa ‘fase de conceito’⁴⁵, ou seja, ilustrando as ideias que fundamentam as opções de *design* tomadas. A submissão da competição, por parte da *Aedas*, incluiu 12 painéis que ilustravam o conceito do *design* do projeto e as suas características significativas, desde os princípios geométricos que a definiam até às plantas técnicas detalhadas, alçados e impressões artísticas do *design* proposto, respeitando três pilares conceituais: a biomimética, as tecnologias/*design* sustentáveis e a arquitetura islâmica. (Oborn, 2013:116)

A operacionalização do conceito das *Al Bahr Towers* deu-se após a equipa que concebeu o projeto ter vencido, no dia 8 de outubro de 2007, o concurso internacional. Para o desenvolvimento deste conceito arrojado, foi necessário a *Aedas* estabelecer formalmente uma parceria com a *Arup* e com a empresa de consultadoria de construção, *Davis Langdon* (F.65). (Oborn, 2013:120)

A *Aedas Architects* é uma empresa global proeminente, fundada em 2002 e conhecida pelos seus projetos inovadores e sensíveis ao contexto. Com sede em Hong Kong e uma presença global, a sua filosofia enfatiza a compreensão das culturas e ambientes locais, assegurando que os projetos são esteticamente atraentes e sustentáveis. Os seus projetos notáveis incluem o *Midfield Concourse* do Aeroporto Internacional de Hong Kong, o *Sandcrawler Building* em Singapura, a sede da *Unilever* em Hamburgo e as *Al Bahr Towers* em Abu Dhabi. Estes projetos demonstram a sua capacidade de combinar tecnologia avançada com elementos tradicionais. (Aedas, s.d., ArchDaily: Aedas, s.d.)

Na equipa de *design* da *Aedas* destacam-se inúmeras personalidades que permitiram a conceção exímia das torres, ressaltamos, para propósitos desta

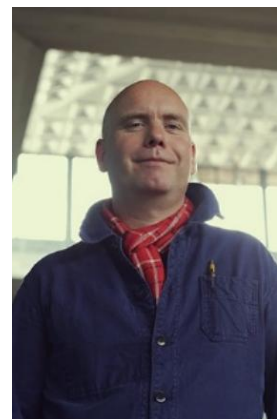
⁴⁵ Conceito: 1. Mente considerada como sede das conceções; faculdade de conceber ou conhecer; 2. Conceção compreendida numa palavra que designa características e qualidades de uma classe de objetos, abstratos ou concretos; 3. Opinião ou ideia, juízo que se faz de alguém ou de alguma coisa. (“conceito”, in [Priberam, 2008-2025] <https://dicionario.priberam.org/conceito>, consultado a 2/12/24)

dissertação, Mike Oades (Diretor Adjunto), Rafail Bakolas (Arquiteto) e Abdulmajid Karanouh (*Designer Sênior*).

Mike Oades (F.61) formou-se em arquitetura no *Kent Institute of Art and Design*, na *Bartlett School of Architecture* (BA (Hons)) e na *London Metropolitan University*, em 2000. O seu portfólio abrange um vasto espectro de tipologias de edifícios, tendo integrado desde grandes estúdios empresariais, como o *Foster & Partners* e o *Aedas*, até pequenos escritórios colaborativos como o *Ushida Findlay* e o *Atomik*. Destaca-se, na sua carreira, a instalação '*It's not who you are, it's it's how you are*' na galeria *BALTIC* em Gateshead, a sede da *McLaren Formula One*, selecionada para o *Prémio Stirling*, e as torres de escritórios *Al Bahr Towers*. (Atomik Architecture, s.d.)

O arquiteto Rafail Bakolas (F.62) tem formação em Arquitetura (DArch), Computação (MSc), e uma vasta experiência em *design* arquitetónico, gestão e relações com clientes, organização e execução de projetos. Bakolas defende soluções de *design* integradas que sejam significativas, eficientes, bonitas e construíveis, para além da participação em projetos internacionais de alto nível que exigem, frequentemente, uma boa compreensão da geometria complexa. (Bakolas, s.d.)

Por fim, o arquiteto e *designer* Abdulmajid Karanouh (F.63), com uma formação multifacetada em Arquitetura (BSc), Informática (MSc), Engenharia (MSc) e Comunicação de *Design* (PhD)⁴⁶, evoluiu nos últimos 20 anos de especialista em arquitetura para líder em *design* interdisciplinar no ambiente construído. A sua carreira abrange alguns dos maiores Planos Diretores e numerosos projetos premiados na Europa, no Médio Oriente e no Sudeste Asiático. (WFM Media, s.d.) Trabalhou em Arquitetura, impressão 3D, engenharia de fachadas, empreitada de fachadas, computação, consultoria em engenharia e gestão de projetos. Posteriormente criou a sua própria equipa de *design* interdisciplinar, tendo pessoas diferentes a trabalhar num só departamento. (Apêndice VII). A experiência de Karanouh em edifícios de alta tecnologia e geometricamente complexos, bem como os seus conhecimentos em *design* computacional e interdisciplinar, posicionam-no como uma figura-chave no setor. Para além de ser um respeitado líder de pensamento e educador, dando frequentemente palestras em instituições de prestígio, oferece consultoria estratégica e serviços de *design* interdisciplinar para desenvolvimentos de alto nível, como NEOM, *Smart Dubai* e *Abu Dhabi 2.0*. (Karanouh, s.d.). Este conceituado arquiteto foi um dos responsáveis pela conceção e liderança do projeto das *Al Bahr Towers* e destacou-se pelo seu contributo no desenvolvimento da ideia de um componente semelhante a



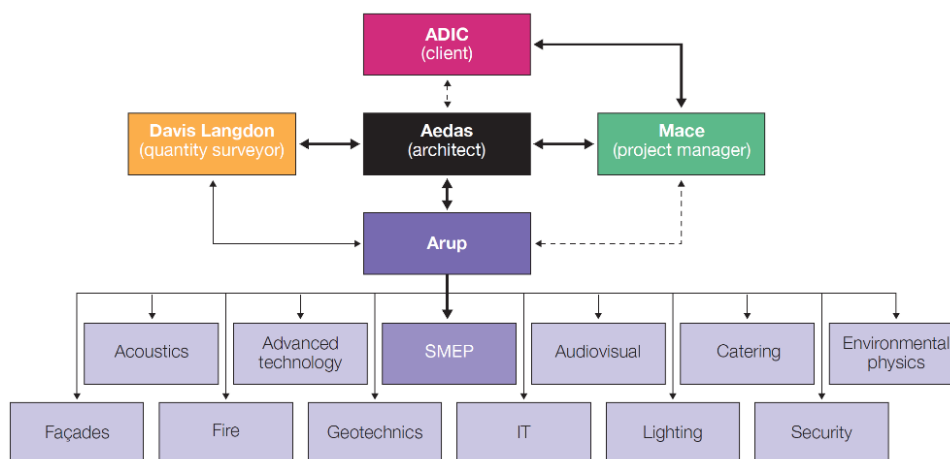
[F.61] Mike Oades.
Atomik Architecture, s.d.
[F.62] Rafail Bakolas.
Bakolas, s.d.
[F.63] Abdulmajid
Karanouh. WFM Media,
s.d.

⁴⁶ BSc - Licenciatura; MSc - Mestrado; PhD - Doutoramento

um guarda-chuva, que reage ao movimento do sol numa combinação de *design* inspirado no origami com tecnologia, levando à tomada de decisão de adotar um muxarabi dinâmico nas fachadas das torres. (CTBUH, 2012)

Como referido anteriormente, a Arup foi um parceiro fundamental como projetista multidisciplinar de engenharia para todo o projeto das torres, envolvendo 142 engenheiros distribuídos por todo o mundo, como Vancouver, Sidney, Austrália, Londres, Leeds, Milão e Abu Dhabi. Implicou a interligação de diversos serviços e especialidades dentro da sua organização, entre eles Engenharia Estrutural, Engenharia de Fachadas e Envolventes, Serviços de Construção, Engenharia Civil, MEP⁴⁷, Engenharia Geotécnica, de Incêndio, Eólica e Acústica, *Design* de Iluminação Especializado, Consultoria de Segurança, Trânsito e Transporte, Consultoria em Tecnologia da Informação e Comunicações, Consultoria de *Catering* e por fim, Transporte Vertical (F.65). (CTBUH, 2012; Armstrong, 2013)

A Arup (F.64) é uma empresa de renome conhecida pela excelência em engenharia e *design*. Fundada em 1946 por Sir Ove Arup, a empresa opera em mais de 34 países, integrando serviços de engenharia, *design* e consultoria para fornecer soluções inovadoras e sustentáveis. A filosofia da Arup centra-se no *design* holístico, que combina conhecimentos técnicos com pensamento criativo. A empresa dá ênfase à sustentabilidade, criando estruturas resistentes que têm um impacto positivo nas comunidades e no ambiente. Os projetos notáveis incluem a Ópera de Sydney, o Estádio Nacional de Pequim (Ninho de Pássaro), o *High Line* em Nova Iorque e a Torre HSBC em Hong Kong. Estes projetos demonstram a sua engenharia inovadora, a fusão da estética com a integridade estrutural e a sustentabilidade, utilizando tecnologias avançadas para reduzir o impacto ambiental, tais como sistemas de energias renováveis e projetos energeticamente eficientes. (Arup, s.d)



[F.64] Logo Arup. Arup, s.d.

[F.65] Esquema de parcerias e colaboração para o projeto das Al Bahr Towers. Armstrong, 2013:61.

⁴⁷ MEP - *Mechanical, Electrical and Plumbing* (Mecânica, eletricidade e canalização) refere-se à instalação de serviços que proporcionam um espaço funcional e confortável para os utilizadores do edifício.

5.2 | PROJETO

O CIAD promoveu o concurso para o projeto da sua nova sede, com objetivos e requisitos muito claros e ambiciosos por ser uma instituição central responsável pela gestão dos ativos de investimento do Governo de Abu Dhabi. A sua missão é promover o desenvolvimento económico e a diversificação no Emirado de Abu Dhabi, investindo estrategicamente numa vasta gama de setores, incluindo o imobiliário, as infraestruturas e os mercados financeiros, tanto a nível local como internacional. O CIAD dedica-se a obter elevados retornos sobre os investimentos, enquanto se alinha com os objetivos económicos mais amplos do Emirado. Para além do seu papel de gestão de investimentos, empenha-se em identificar e cultivar oportunidades que contribuam para o crescimento sustentável da economia de Abu Dhabi. O Conselho é reconhecido pela sua visão estratégica e compromisso com a excelência, com o objetivo de melhorar o panorama económico da região através de projetos impactantes e de elevado valor.

O desenvolvimento das duas torres de escritórios de 25 andares em terrenos adjacentes exemplifica a visão do CIAD de promover a proeminência arquitetónica e económica de Abu Dhabi. As *Al Bahr Towers* deveriam representar um '*edifício de referência excepcional*'⁴⁸ com capacidade para acolher cerca de 1 000 pessoas em cada torre (CTBUH, 2012). Outros requisitos, como o uso de *design* contemporâneo com tecnologia moderna, a escolha de materiais da mais alta qualidade e a consideração pelo património arquitetónico da região, influenciaram o rumo deste projeto.⁴⁹ (Oborn, 2013)

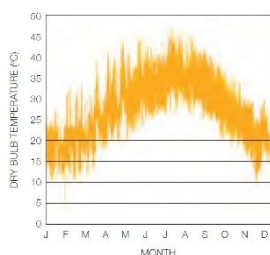
Tendo em consideração que Abu Dhabi, capital dos EAU, é uma metrópole dinâmica situada numa ilha do Golfo Pérsico e que é um importante centro político, económico e cultural, foi fundamental o estudo pormenorizado deste território. Abu Dhabi é conhecida pelo seu horizonte moderno, economia vibrante e rico património cultural. É caracterizada pela união entre arquitetura contemporânea e influências árabes tradicionais, com marcos como a Grande Mesquita *Sheikh Zayed* e o *Louvre Abu Dhabi*.

⁴⁸ "outstanding landmark building"

⁴⁹ "The building should reflect its prestigious status, contribute to the surrounding environment and take into account the architectural heritage of the UAE and Abu Dhabi in particular. A contemporary building utilising modern technology is required which should be recognized as one of the landmarks associated with the city of Abu Dhabi." (Oborn, 2013)



A cidade tem um clima desértico, caracterizado por verões extremamente quentes e invernos amenos. As temperaturas geralmente variam de 16 °C a 40 °C (F.67), raramente descendo abaixo de 13 °C ou subindo acima de 44 °C. Durante os meses de verão, muito frequentemente, são ultrapassados os 40°C, com elevados níveis de humidade a agravar o calor. Em contrapartida, as temperaturas no inverno são muito mais moderadas, variando entre 14°C e 24°C, o que proporciona um clima mais agradável para atividades ao ar livre. A precipitação é pouco frequente, ocorrendo maioritariamente entre novembro e março. Este clima molda as estratégias de planeamento arquitetónico e urbano da cidade, influenciando a conceção de edifícios e espaços públicos para fazer face ao calor extremo e garantir o conforto durante todo o ano. (Weather Spark, s.d.; Armstrong, 2013)



«O Médio Oriente é um ambiente implacável para os edifícios de vidro e, embora um edifício com um rácio janela-parede mais baixo pudesse ser mais adequado ao clima local, o requisito de maximizar as vistas para o exterior levou a equipa de projeto a procurar soluções que resolvessem o problema dos ganhos solares e do encandeamento do sol sem recorrer a uma fachada de vidro ultra escuro.» - Rafail Bakolas (Apêndice VI)

Após a análise do contexto cultural, climático e arquitetónico e do desenvolvimento do *briefing* lançado pelo CIAD, nasceram as *Al Bahr Towers*, que são o reflexo das condições onde se encontram e dos desejos do cliente. Um edifício imponente e vanguardista, composto por duas torres com 145,1m de altura, implantado num terreno com uma área de 100,080 m², da qual foram construídos 56000 m² na interseção entre a rua Al Saada e a rua Al Salam.

[F.66] Foto aérea de Abu Dhabi, com destaque no local das Al Bahr Towers. Oborn, 2013:103.

[F.67] Gráfico anual de temperaturas médias diurnas em Abu Dhabi. Armstrong, 2013:67.

Citando o Diretor Geral do CIAD, Khalifa M Al Kindi, *'O conceito de design selecionado pelo nosso conselho de administração foi uma escolha óbvia, demonstrando a sua previsão e confiança no futuro. Foi inventivo, sofisticado, ponderado e arrojado. Ao reinterpretar o maxarubi de uma forma contemporânea, os nossos arquitetos demonstraram como podem ser criadas novas formas de construção que mantêm um sentido de continuidade com o passado.'*⁵⁰ (AHR, s.d.)

A Aedas usou este projeto como uma oportunidade para criar um edifício inovador ao mesmo tempo que punha em prática uma visão mais eficiente de comunicação entre as disciplinas intervenientes. Deste modo, na fase inicial deste projeto foram tidos em conta vários aspetos contextuais específicos dos quais alguns se destacaram: o local, acesso, orientação e clima severo; a tradição da arquitetura Islâmica, como a composição geométrica e a arquitetura vernacular; o *Abu Dhabi 2030 Plan*⁵¹, que estava a ser implementado; e a insurgência das tecnologias renováveis. Estes aspetos contextuais traduzem-se nos três pilares fundamentais já mencionados: a biomimética, as tecnologias/*design* sustentáveis e a arquitetura islâmica.

Iniciou-se uma busca por um princípio de *design* inspirado na natureza, onde os organismos vivos se adaptam aos ambientes locais, e nas formas geométricas do contexto onde se insere, remetendo para técnicas tradicionais usadas ao longo dos séculos para produzir conforto no deserto. Estes princípios foram determinantes na busca e definição de formas que viriam a definir o projeto arquitetonicamente, tal como afirma Bryan Hamilton, arquiteto da Aedas, *'A inspiração para as torres, do ponto de vista do design formal, veio realmente da tradição islâmica nas artes e na arquitetura. Olhando para o círculo e os objetos rotativos e o círculo da vida na natureza.'*⁵² (CNBC, 2014)

A arquitetura islâmica é reconhecida pelos seus intrincados padrões geométricos, pátios extensos e minaretes elevados. Nela as formas são encontradas através da otimização do desempenho combatendo a exposição excessiva aos raios solares diretos combinando, assim, a beleza artística com a funcionalidade prática. A maioria desses padrões geométricos são definidos por composições de círculos⁵³ e esferas.

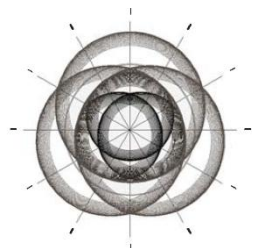
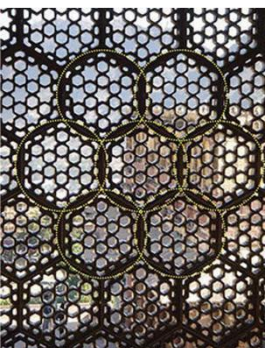
⁵⁰ "The design concept selected by our board was an obvious choice, demonstrating both their foresight and confidence in the future. It was inventive, sophisticated, thoughtful, and bold. By reinterpreting the mashrabiya in a contemporary manner our architects have demonstrated how new forms of building can be created that maintain a sense of continuity with the past." (AHR, s.d.)

⁵¹ "Plan Abu Dhabi 2030 - Urban Structure framework Plan" foi concebido para ajudar o Governo de Abu Dhabi a filtrar e responder às necessidades de desenvolvimento atuais e futuras, estabelecer uma cultura de planeamento e introduzir princípios orientadores sólidos para o novo desenvolvimento." (U.AE.,2023)

⁵² "The inspiration to the towers from the formal design side really came from Islamic tradition in arts and architecture. Looking at the circle and rotational objects and the circle of life within the nature."

⁵³ O círculo é uma forma geométrica simples, simétrica e versátil, cuja presença na natureza, na cultura e na história da humanidade reflete a sua universalidade e simboliza conceitos fundamentais como unidade cósmica, universo,

(pág. seguinte)
[F.68] *Taj Mahal - exemplo icónico de uma abordagem geométrica universal ao design.* Karanouh et al., 2015:191.
[F.69] a [F.71] *Padrão e sombreamento tradicional (mashrabiya).* Fox, 2016:91.
[F.72] *Desenvolvimento da secção horizontal das Al Bahr Towers.* Oborn, 2013:108.



Estas formas representam a expressão mais simples da forma universal, sendo possível encontrá-las desde o microcosmo do átomo até ao macrocosmo das galáxias. (Karanouh & Kerberb, 2015:190) No património do Médio Oriente é possível encontrar elementos verticais que seguem a forma de um casulo, ainda que muitos a tomem uma forma mais alargada à medida que chegam ao solo, o que provavelmente se deve ao facto do material usado, o adobe tradicional, ser menos robusto que a pedra. (Oborn, 2013)

Destas bases começaram a ser esculpidas as torres, consistindo a composição geométrica *'na intersecção de infinitos arranjos e populações de círculos (2D) e esferas (3D), que por sua vez geram infinitos arranjos de nódulos que, quando conectados, seguem uma lógica matemática que produz padrões e formas islâmicas familiares. As placas de piso e o perfil vertical de cada torre são constituídos por arcos tangenciais que também obedecem a regras matemáticas especialmente elaboradas, resultando em uma forma inteligente e fluida que maximiza a relação volume-envelope e distribuição de iluminação natural, minimizando o impacto da carga do vento na estrutura e na infraestrutura do edifício.'*⁵⁴ (Fox, 2016:95)

Na natureza é possível encontrar exemplos que definem esta forma, como catos, ananases, flores e outros sistemas naturais. O cato possui *'caraterísticas semelhantes a um guarda-chuva para proteger a sua pele delicada. Certas 'flores abrem e fecham em resposta às alterações das condições climatéricas'. O 'invólucro hexagonal do ananás cobre eficazmente uma superfície de dupla curvatura', sendo esta forma também retirada dos padrões dos favos de mel, o que fornece uma estrutura altamente eficiente e redundante.* (CTBUH, 2012)

Perante a dificuldade de transmitir todos estes componentes entre as várias equipas participantes no projeto e de cruzar todos os elementos matemáticos e orgânicos num desenho, foram usadas e desenvolvidas técnicas sofisticadas de modelação, em particular o CODE (*Construction, Operation and Design Execution*) que surgiu como uma nova forma de comunicar entre a construção, operação e a execução do Projeto. (Karanouh & Kerberb, 2015:206,207)

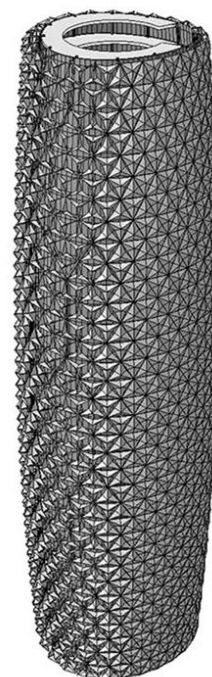
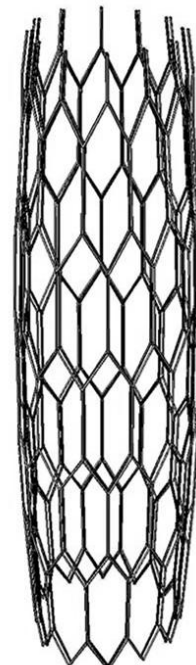
infinidade, totalidade, perfeição, divindade, equilíbrio, movimento e continuidade. Disponível em: <https://escolalbk.com.br/glossario/o-que-e-circulo/>

⁵⁴ "The geometric composition of the buildings consists of the intersection of infinite arrangements and populations of circles (2-D) and spheres (3-D), which in turn generate infinite arrangements of nodes that, when connected, follow a mathematical logic that produces familiar Islamic patterns and forms. The floor plates and vertical profile of each tower are made of tangential arcs that also adhere to specially devised mathematical rules, resulting in an intelligent, fluid form that maximizes the volume-to-envelope ratio and natural-lighting distribution while minimizing wind-load impact on the building skin and infrastructure."

Assim, foi possível articular a forma e estrutura do edifício com o sistema de sombreamento dinâmico, o que permitiu criar um modelo integrado que era afinado ao longo do processo de desenvolvimento. Após a criação da geometria unificada e do modelo integrado, foi criado um *script* no *Rhinceros*, de modo a automatizar a geração de componentes de construção de princípios. Este modelo tornou-se inestimável, permitindo trabalhar na geometria à medida que o *design* era desenvolvido e coordenando os vários elementos principais. Em forma de diagrama, foram geradas as placas de pavimento, o revestimento, a estrutura e a reparação em massa, tudo a partir de um modelo integrado. (CTBUH, 2012)

As abordagens e métodos exclusivos de comunicação no processo de conceção foram elaborados para responder precisamente às exigências programáticas e funcionais definidas inicialmente (Oborn, 2013:101). O edifício é um complexo de escritórios composto por dois níveis de cave, situados por debaixo de um pódio, e duas torres de 25 pisos com funções distintas: uma alberga o CIAD e a outra um banco islâmico de propriedade integral do Conselho. Na torre do CIAD, os espaços distribuem-se em três zonas – a primeira abrange a cave, o rés-do-chão e o primeiro piso; a segunda está destinada aos andares de escritórios; e a terceira reservada a áreas especiais para a alta gestão e VIP, localizadas no topo –, enquanto na torre do banco a divisão programática contempla quatro zonas - (1) cave, rés-do-chão e piso-mezanino; (2) auditório, sala multifunções e recursos humanos; (3) andares de escritórios; e (4) escritórios da alta direção (Oborn, 2013:101). O projeto inclui ainda um sistema de elevadores, segmentado para gestão, público e serviço, e uma estrutura autónoma para estacionamento, integrada com áreas de paisagismo.

A criação de um bloco de pódio⁵⁵ (F.74), através de uma laje, originou-se da necessidade de responder aos variados requisitos de entrada e acesso, tanto para o público geral como para os VIPs (CTBUH, 2012). No interior deste pódio encontram-se as áreas de receção, um auditório com capacidade para 200 lugares e duas salas de oração, separadas para homens e mulheres, garantindo assim a adequação aos diferentes usos e funções. Por cima da entrada, num mezanino, situa-se uma cafeteria, complementada por dois restaurantes que servem os utilizadores das torres. Este espaço de pódio, com pé-direito duplo e configurado como uma zona semiprivada e semipública, integra e harmoniza as diferentes partes do edifício, facilitando o fluxo e a circulação dos utilizadores. Os acessos ao edifício são cuidadosamente planeados:



⁵⁵ Um pódio é uma plataforma utilizada para elevar algo a uma curta distância acima do que o rodeia. Na arquitetura, um edifício pode assentar num grande pódio. ("Maxarubi", in [Wikipédia, 2025] <https://en.wikipedia.org/wiki/Podium>, consultado a 3/01/2025)

[F.73] Estrutura em layers. Karanouh et al., 2015:197.

colaboradores não-VIP, provenientes da cave, utilizam escadarias rolantes e visitantes regulares entram pela porta principal, que conduz a um amplo átrio; os VIPs, por sua vez, acedem diretamente através de elevadores especiais ou são deixados num piso superior do pódio, onde uma recepção exclusiva os encaminha para as torres (Oborn, 2013:127; Armstrong, 2013:63).



No interior, os espaços de escritórios foram concebidos para acomodar cerca de 1.000 colaboradores, seguindo as orientações do *British Council for Offices*, e promovem áreas de trabalho flexíveis, bem iluminadas e com vistas panorâmicas. Cada piso integra áreas de recepção e espera, escritórios individuais, salas de reunião e espaços funcionais – como armazéns e áreas de impressão – complementados por pontos de convívio, sendo possível a divisão com sistemas flexíveis que minimizam alterações futuras (Oborn, 2013:128,129). Cada torre possui, ainda, gabinetes de direção com revestimento em vidro branco, nove elevadores, com velocidades até cinco metros por segundo, e jardins internos na fachada sul que proporcionam sombra e amenizam os efeitos solares (CTBUH, 2012).

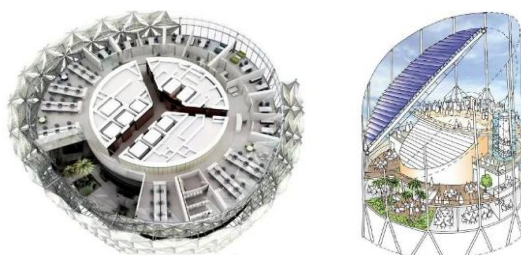
Nos pisos superiores, do 21.º ao 25.º, encontram-se os escritórios da alta gestão com vistas para a praia de Al Qurum. Na torre do Conselho, o primeiro piso executivo abriga salas de reunião e uma área de restauração privada, seguido pelos escritórios e culminando, no 24.º piso, na Suite Presidencial, complementados por um espaço de recepção e entretenimento com pé-direito duplo. Assim, o projeto procura integrar as diversas zonas programáticas, aliando elevada qualidade dos materiais e acabamentos a uma estética contemporânea e atemporal, refletindo os elevados padrões exigidos pelo CIAD (Oborn, 2013:128,129).

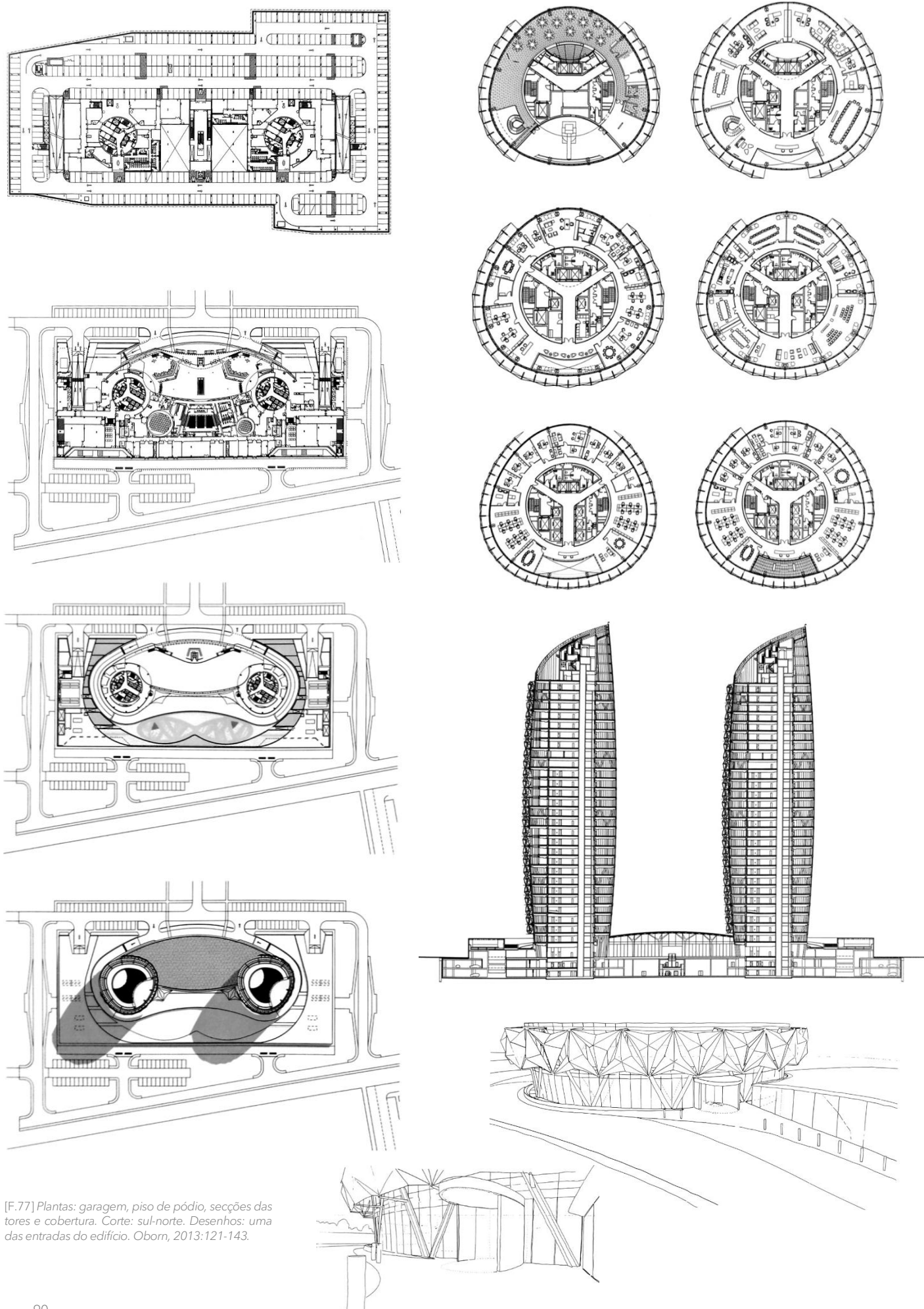
[F.74] Entrada nos pisos de pódio. AHR, s.d.

[F.75] Secção em 3D, de uma das torres.

Armstrong, 2013:65.

[F.76] Projeto para o topo das torres. Meinhold, 2010.





[F.77] Plantas: garagem, piso de pódio, secções das tores e cobertura. Corte: sul-norte. Desenhos: uma das entradas do edifício. Oborn, 2013: 121-143.



5.3 | FACHADA

No Médio Oriente as fachadas tradicionais são caracterizadas pelas soluções que respondem ao clima extremo a que os edifícios estão sujeitos. Uma solução amplamente aplicada é a utilização de vidros muito tingidos que proporcionam uma luz natural muito fraca e causam um aumento da absorção de calor pelo material, o que paradoxalmente resulta no consumo elevado de luz artificial e na utilização excessiva de persianas internas, que limitam a visualização do espaço exterior (CTBUH, 2012). Outro método utilizado é a tradicional treliça esculpida, património cultural da arquitetura islâmica, caracterizada pelos seus padrões geométricos. Para além de conferir privacidade, favorece a entrada de luz difusa e a circulação de ar, mantendo a temperatura mais fresca. Um elemento arquitetónico que utiliza esta treliça é apelidado de "مشربية" (árabe), em inglês *mashrabiya* ou *Shanasheel*, que se traduz em português como muxarabi, e representa um balcão suspenso e vazado colocado adiante de portas ou janelas.⁵⁶

Uma problemática abordada desde o início reside na necessidade de controlar a fachada perante o clima severo onde o edifício se encontra, sendo este aspeto agravado pela altura das torres.

«Utilizámo-lo nas Torres Al Bahr porque é uma torre de escritórios. Não posso deixar que toda a gente a 140 metros de altura abra as janelas e ajuste as persianas a seu bel-prazer. O edifício está exposto a velocidades de vento de 140 km/h ou mais [...]. Em locais como o Dubai, por exemplo, abrir uma janela em agosto ou setembro significa que se está a deixar entrar 100% de humidade. Isso pode estragar tudo.» - Karanhouh (Apêndice VII)

A Aedas explorou três opções para a envolvente do edifício: uma fachada de vidro exposto, uma fachada de vidro com sombreamento estático e uma fachada de vidro com sombreamento externo adaptável. Embora as fachadas de vidro sejam icónicas

[F.78] Fachada: sistema muxarabi. Karanhouh, s.d.

⁵⁶ ("Muxarabi", in [Wikipédia, 2025, jan 14] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Muxarabi>, consultado a 23/01/2025)

em climas temperados e utilizadas amplamente em edifícios de escritórios, são problemáticas em regiões quentes como o Médio Oriente, exigindo uma coloração pesada que reduz a visibilidade e aumenta as necessidades de arrefecimento. Esta opção chegou a ser apresentada por alguns participantes do concurso. Os sistemas de sombreamento estáticos, como as persianas, atenuam alguns problemas, mas obstruem as vistas e limitam a flexibilidade do projeto, especialmente no caso de formas complexas. A Aedas propôs um sistema de sombreamento dinâmico, que se adapta às condições ambientais de forma automatizada, reduzindo os ganhos solares, melhorando a visibilidade e diminuindo as cargas de arrefecimento. Apesar de à data ainda não ter sido testada ou experimentada, esta abordagem inovadora prometia uma melhor eficiência energética, um maior conforto e uma redução da pegada de carbono, satisfazendo simultaneamente as exigências escultóricas dos arranha-céus modernos. (Oborn, 2013:111,112)

«Do ponto de vista do bem-estar, é aqui que se obtém o melhor resultado; se tivermos o sol a meio do céu, os estores normais não serão capazes de o bloquear, teremos de o fechar completamente. Mas com o sistema Mashrabiya, vai sempre reduzir o impacto do sol sem ter de fechar toda a fachada. Terá sempre visibilidade e uma luz difusa no interior do edifício.» - Karanouh (Apêndice VII)

Quando falamos de fachadas dinâmicas, existem já exemplos da tentativa de aplicar um sistema que melhore a eficiência global do edifício. Um deles, já referido, é o Instituto do Mundo Árabe em Paris, concluído em 1987, que é pioneiro nesta área e usa, também, os padrões islâmicos. Um aspeto que o arquiteto Abdilmajid Karanouh destacou foi a colocação do sistema de sombreamento em aço inoxidável polido após uma camada de vidro exterior, lançando, assim, a questão se o sistema deve ser colocado interiormente ou exteriormente.

A resposta foi clara: *'Quando uma envolvente de vidro é colocada no exterior do edifício, o calor e a luz solar podem penetrar na envolvente exterior. Consequentemente, qualquer sombreamento no interior apenas servirá para reter o calor entre o vidro exterior e a tela de sombreamento interior, anulando o seu objetivo. [...] essa disposição retém o calor no interior da fachada de pele dupla, que precisa de ser purgado de alguma forma, certo? Ventilá-la externamente enche-a de pó e areia, enquanto ventilá-la internamente de forma mecânica requer cargas de arrefecimento substanciais.'* (Apêndice VII). Deste modo, o gasto energético será superior do que se à partida se evitasse a entrada do calor. Para além disto, é necessária 4 vezes mais energia para descer 1°C do que para subir um.

Assim, Karanhou, afirma que *'Não permitir que o sol incidisse diretamente sobre a pele do edifício, causando sobreaquecimento e encandeamento, era um conceito simples e é por isso que a utilização do muxarabi, inspirada no passado e inspirada na natureza, foi uma decisão óbvia.'*⁵⁷ (CNN, 2012).

Neste contexto e perante os três pilares conceptuais lançados pelo CIAD, já mencionados, a equipa de projeto começou por desenvolver um sistema de fachada à semelhança do muxarabi tradicional da arquitetura islâmica, capaz de se adaptar perante as alterações do meio. Bryan Hamilton, Diretor de Produção da Aedas, reforça esta ideia. *'O muxarabi é uma solução muito tradicional para o problema do combate ao sol no Médio Oriente, mas é estático. Queríamos que o maxurabi estivesse posicionado apenas quando o sol estivesse a brilhar, pelo que precisava de ser uma solução dinâmica.'*⁵⁸ (CNBC, 2014).

Sempre tendo em vista a vontade do cliente de criar um edifício icónico e que fosse ao encontro das políticas sustentáveis implementadas na região e principalmente do bem-estar de quem viria a usufruir das torres, o muxarabi foi projetado para ser a primeira camada que filtra o clima envolvente, o que consequentemente significou realizar um edifício mais eficiente.⁵⁹

Sendo o muxarabi um sistema de sombreamento, interessava espelhar as constantes alterações do movimento do sol ao longo do dia e de estação para estação. Assim, os arquitetos inspiraram-se na natureza, em particular, no modo como as flores respondem ao sol, as nossas pupilas se ajustam à luz e no movimento de abrir e fechar asas, usando a biomimética para criar um sistema adaptativo. Para melhor corresponder ao descrito foram desenhadas formas tridimensionais (3D) para oferecer mais flexibilidade. (CNN, 2012)

A decisão de adotar um muxarabi dinâmico foi cristalizada quando Abdulmajid Karanouh teve a ideia de um componente semelhante a um guarda-chuva, que reage ao movimento do sol numa combinação de *design* inspirado no origami (F.79) com tecnologia (CTBUH, 2012). A equipa de projeto procurou precedentes que de certa forma se assemelhassem e impulsionassem esta abordagem. *'O exemplo mais antigo é o dos guarda-sóis dinâmicos da Mesquita Sagrada do Profeta em Medina, concebidos por Frei Otto, SL-Rasch e Buro Happold. Estes guarda-sóis hidráulicos foram concebidos*



[F.79] Origami da unidade dinâmica muxarabi. Oborn, 2013:113

⁵⁷ "Not allowing the sun to land directly on the skin of the building causing overheating and glare was a simple concept and that's why using the Mashrabiya inspired from the past and inspired from nature was a no brainer."

⁵⁸ "Musubi is a very traditional solution to the problem of solar control in the Middle East, but it is static. We only wanted to Mashrabiya to be in place when the sun was absolutely shining on so it needed to be a dynamic solution."

⁵⁹ "It's about using an ancient technique in a modern way, which also responds to the emirate's aspiration to take a leading role in the field of sustainability" - Peter Oborn, Aedas (CTBUH, 2012)

e desenvolvidos em 1978 e substituídos' em 1998, perdurando vinte anos com uma manutenção mínima que 'se resumia a lubrificação e engraxamento de cinco em cinco anos'⁶⁰. (Oborn, 2013)

Em seguida, a investigação e desenvolvimento associados ao projeto procuraram 'ajustar parametricamente o design do muxarabi para maximizar a sua eficiência em função do clima e das condições específicas do local. [...] Durante o processo, foram testadas diversas formas e configurações geométricas para garantir que os elementos do sistema de sombreamento funcionassem de forma eficaz e integrada'⁶¹(CNBC, 2014). Adicionalmente, foi desenvolvida uma aplicação em JavaScript para simular o funcionamento do sistema de sombreamento ao longo do ano, demonstrando como os painéis dinâmicos responderiam ao percurso solar (F.80 e F.81). Foi identificada a necessidade de proteção solar mais intensa nas fachadas orientadas a Este e Oeste, enquanto a fachada Norte, com menor exposição, foi deixada sem dispositivos adicionais de sombreamento. Para modelar e testar a viabilidade técnica e funcional do projeto, foi utilizado BIM, que facilitou a modelação paramétrica e o desenvolvimento de geometrias complexas, permitindo a criação de painéis móveis altamente responsivos. (CTBUH, 2012).

«No entanto, o desenvolvimento de tais sistemas é dispendioso e moroso. No caso das Al Bahr Towers, a criação de protótipos, os testes e o desenvolvimento da fachada exigiram recursos e empenhamento significativos. Sem um cliente que investisse totalmente no conceito, teria sido quase impossível concretizá-lo.» - Mike Oades (Apêndice VIII)

As Al Bahr Towers apresentam a maior fachada dinâmica computadorizada do mundo, composta por mais de 1.049 protetores solares individuais em cada torre, controlados pelo sistema de gestão do edifício. A experiência da Arup permitiu à Aedas provar que a fachada dinâmica melhorou o desempenho ambiental do edifício. Como referido, as indicações preliminares mostraram que reduzia significativamente os ganhos solares, o que diminuía a carga de arrefecimento e a necessidade de iluminação artificial, contribuindo para uma redução significativa do consumo de energia. Quando

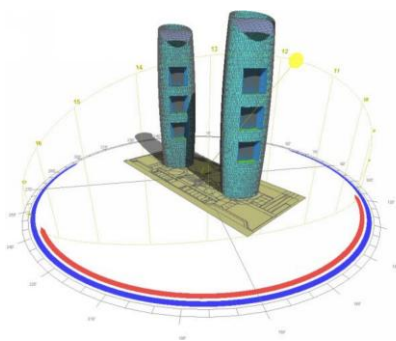
⁶⁰ "The oldest example was the dynamic sunshades at the Prophet's Holy Mosque in Medina designed by Frei Otto, SL-Rasch and Buro Happold. These hydraulic umbrellas were conceived and developed in 1978 and replaced 15 years ago. The designer and manufacturer, SL-Rasch, who have over 30 years' experience developing complex dynamic structures in the Middle East, confirmed that the required maintenance was minimal and amounted to oiling and greasing once every five years.» (Oborn, 2013)

⁶¹ "Our research and development arm looked out parametrically adjusting that design to make it as efficient as possible for the climate and epidemic. Origami was one of the tools that we were using when we were hoping the design for Mashrabiya and the research and development guys and the designers were always testing different shapes and forms of the Mashrabiya to make sure they would unfold precisely and all linked together. Currently we're seeing maybe fifty to sixty percent reduced air-conditioning. It means that we're able to use a lighter tint to the glass and that gives us more daylight into the building. Makes the building more pleasant environment on the inside." - Hamilton

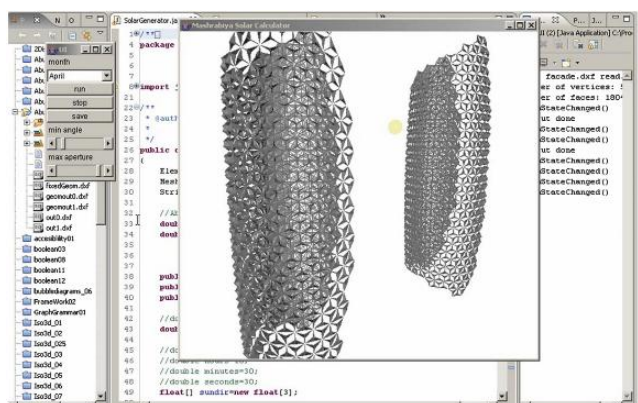
extrapolado para todo o edifício, estas poupanças representavam uma redução global das emissões de dióxido de carbono de 20 a 25% por ano, o equivalente a aproximadamente 1.140 toneladas de CO₂, e uma redução de 15% na dimensão das instalações mecânicas.⁶² Outra vantagem convincente do maxarubi foi o seu efeito no ambiente interno. A prevenção do encandeamento solar permitiu que os vidros fossem menos coloridos e aumentou significativamente a área interna que podia ser utilmente iluminada por luz natural difusa. (Oborn, 2013:114)

«Os arquitetos carecem frequentemente das competências necessárias para calcular os benefícios de todo o ciclo de vida de um edifício. A sua atenção tende a centrar-se nos custos de capital, no desempenho técnico e no consumo de recursos, como a energia e a água, sem compreenderem plenamente como traduzi-los em benefícios tangíveis. Embora a poupança de energia e de água possa agradar a alguns clientes, o impacto mais alargado - como a melhoria do bem-estar dos ocupantes - muitas vezes não é quantificado. [...] num edifício de escritórios, a melhoria do bem-estar dos empregados pode reduzir as baixas por doença e aumentar a produtividade, conduzindo a ganhos financeiros significativos a longo prazo. No entanto, os arquitetos não têm formação para quantificar ou comunicar eficazmente esses benefícios.» - Karanouh (Apêndice VII)

Esta cortina, a dois metros da fachada envidraçada, que cobre as duas torres é alimentada por energia renovável a partir de painéis fotovoltaicos. Em resposta direta à posição do sol, os painéis geométricos móveis, revestidos em fibra de vidro, contraem-se e expandem-se ao longo do dia. Ao anoitecer, a fachada dinâmica fecha-se, permitindo uma maior visibilidade das superfícies envidraçadas do edifício. Durante a manhã, com o nascer do sol no lado Este, os painéis começam a fechar-se progressivamente para oferecer proteção, este movimento é sincronizado com o percurso solar. (CTBUH, 2012)



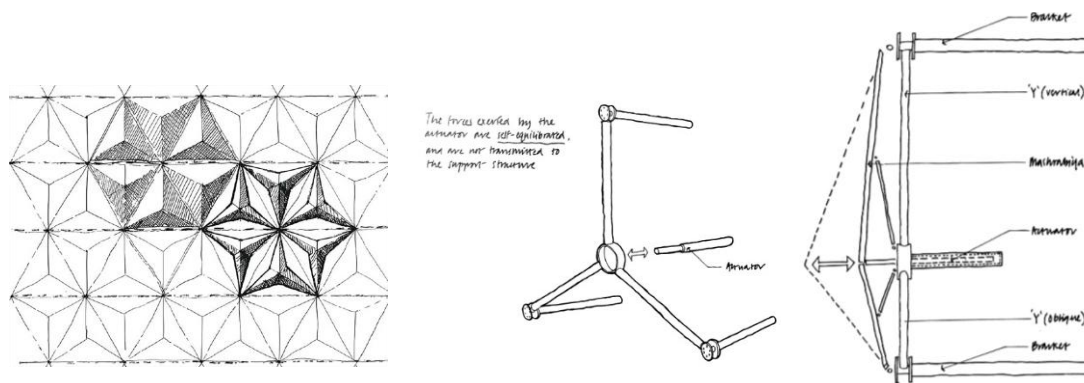
[F.80] *Análise da exposição solar.*



exposição solar.

[F.81] Aplicação que simula o funcionamento do muxarabi e a sua resposta ao movimento do sol. Karanouh et al., 2015:193

⁶² Ao reduzir os ganhos solares e melhorar a eficiência energética, a carga global de arrefecimento do edifício diminui. Isto significa que pode ser instalado equipamento de arrefecimento mais pequeno ou menos potente para manter o conforto interior, o que leva a uma "redução de 15% na dimensão das instalações". Esta redução traduz-se em menores custos iniciais de construção, menor consumo de energia operacional e uma menor pegada ambiental do edifício.



A concepção e execução do projeto também envolveu desafios estruturais e técnicos. 'Cada dispositivo semelhante a um guarda-chuva é montado como um sistema unificado com 4200 mm de altura e uma largura que varia entre 3600 mm e 5400 mm. Cada unidade é subdividida em seis estruturas triangulares que se desdobram através de um atuador e de um pistão posicionados centralmente. A maior unidade pesa cerca de 625 kg.'⁶³ (Karanouh & Kerberb, 2015:195). Assim, foi necessário integrar os atuadores responsáveis pelo movimento dos painéis sem comprometer a estrutura do edifício ou obstruir as vistas internas.

«Para as Al Bahr Towers, quisemos assegurar o alinhamento das grelhas - uma interface simples e vertical entre a fachada e a grelha estrutural. Isto melhorou a eficiência em termos de adaptabilidade ao longo do tempo, permitindo que o edifício evoluísse com a organização.» - Oades (Apêndice VIII)

Mais uma vez, a equipa colaborou com engenheiros especializados da Arup, que desenvolveram soluções estruturais, geotécnicas e de revestimento adaptadas às exigências do clima extremo do Médio Oriente. O sistema mecânico que movimenta os painéis inclui braços em consola em forma de Y, que garantem o deslizamento e dobragem precisos dos elementos triangulares do maxarubi (F.82 e F.83). (Arup, 2011)

«A estrutura metálica de cada unidade de sombreamento maxarubi é composta por uma estrutura fixa em aço inoxidável e uma estrutura móvel em alumínio que é acionada por um atuador central. Os caixilhos foram concebidos à medida para reduzir o peso da estrutura global e são suportados por escoras em consola, montadas nas lajes estruturais compósitas do edifício. Cada estrutura é revestida com um tecido de malha de fibra de vidro bege semitransparente, revestido com politetrafluoroetileno (PTFE) pelas suas propriedades duráveis, hidrofóbicas e incombustíveis.» - Bakolas (Apêndice VI)

⁶³"Each umbrella-like device is assembled as a unitized system 4200mm in height and varying between 3600mm and 5400mm in width. Each unit is sub-divided into six triangular frames that unfold through a centrally positioned actuator and piston. The largest unit weighs around 625kg. Cantilever struts fixed to the main structure of the building protrude through the curtain-wall to support the dynamic units."

[F.82] Desenho das unidades muxarabi e do mecanismo e atuador que permitem o movimento do sistema. Oborn, 2013: 111, 114.

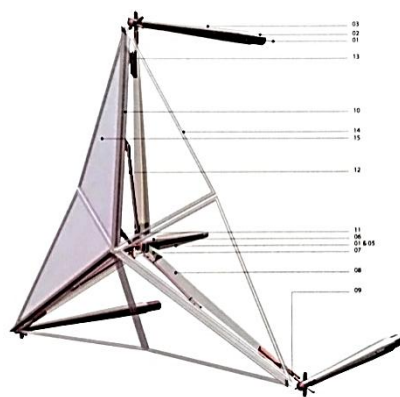
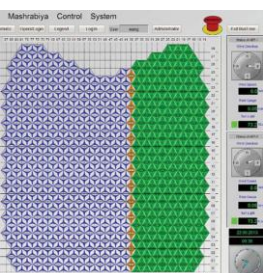


Diagram showing the 15 main components of a mashrabiya unit.

- | | |
|--|---|
| 01 Actuator + Power & Control; cable connection back to the tower | 08 Y-Structure Arms; support the whole mechanism |
| 02 Strut Sleeves; penetrate the curtain wall & connect to the main structure | 09 Y-Node Pin-Connection; pins to the star connection |
| 03 Supporting Cantilever Struts; hook on the sleeves | 10 Y-Mobile Tripod; drives and supports the fabric mesh frames |
| 04 Star Pin-Connection; receives the unitised unit's Y-arm ends | 11 Actuator Head Pin-Connection; pin to the mobile tripod |
| 05 Actuator Casing; protects the actuator | 12 Stabiliser; takes the loads to the hub releasing the actuator shear forces |
| 06 Y-Structure Ring-Hub; joins the Y-arms and actuator together | 13 Slider; allows the mobile tripod to travel along the Y-arms |
| 07 Y-Structure Sleeves; connect the Y-arms to the hub | 14 Fabric Mesh Frame & Sub-Frame; supporting the fabric mesh |
| | 15 Fabric Mesh |

Em termos de controlo, as unidades funcionam com base em sequências pré-programadas que consideram a previsibilidade do movimento solar. Cada painel é endereçável por IP e pode ser ajustado ou desativado individualmente, se necessário. Apesar de infinitamente ajustável, o sistema oferece três configurações principais, aberto, entreaberto e fechado, garantindo que os movimentos são suaves e praticamente impercetíveis para os utilizadores do edifício (Arup, 2011).

«O sistema de sombreamento é operado por um Sistema de Gestão de Edifícios (BMS) especialmente desenvolvido, que recebe leituras de sensores montados no edifício e opera as unidades do maxarubi em zonas [...]. A equipa de conceção calibrou o número de passos entre os maxarubis totalmente fechados e totalmente abertos para garantir a máxima eficiência do sistema. Efetuámos simulações informáticas que abrangeram um período de um ano, para garantir que os maxarubis permanecem na posição fechada ou semi-fechada o maior tempo possível, sem comprometer o desempenho global do sistema. Por último, garantimos que o BMS não reage excessivamente às alterações temporais das condições de luz locais devidas, por exemplo, a nuvens em movimento.» - Bakolas (Apendice VI)



Foram realizados testes exaustivos para validar a durabilidade e funcionalidade do sistema. Entre os mais relevantes incluem-se ensaios em túneis de vento de grande escala em França, testes de resistência ao clima extremo na Suíça e análises de materiais, como a utilização de PTFE revestido a teflon para os painéis. Estes testes simularam uma vida útil de pelo menos 60 anos, expondo os materiais a condições adversas, como água salgada e areia do deserto (CTBUH, 2012).

Pelos desafios técnicos e económicos que a implementação da fachada dinâmica representa, para contexto desta dissertação, foi relevante perceber como esta se comportou ao longo do tempo em termos de eficiência e manutenção. Apesar de não termos obtido respostas concretas relativamente a dados energéticos atuais, Oades e Karanauh foram explícitos em relação a questões de manutenção.

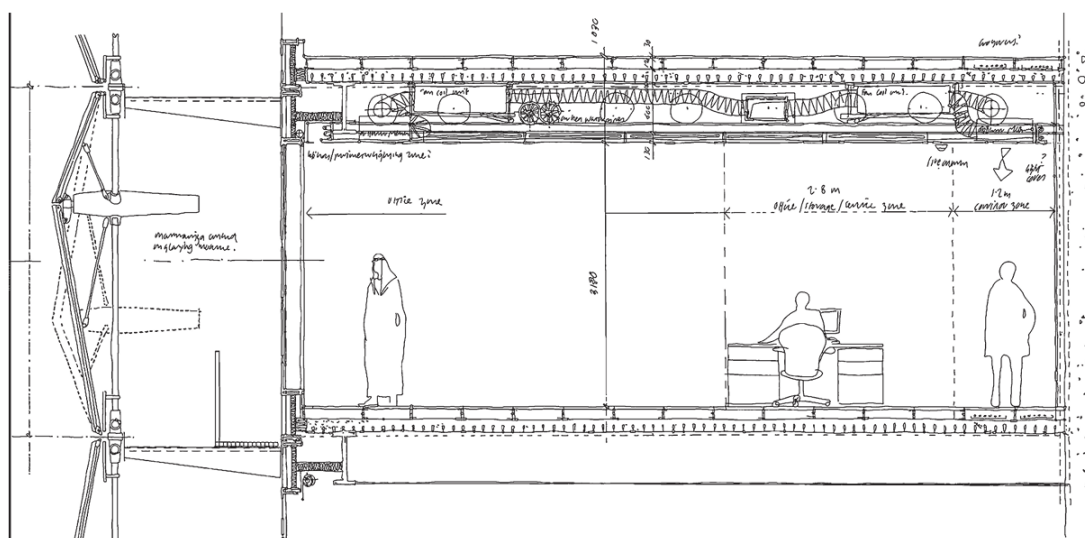
[F.83] Diagrama dos quinze principais componentes de uma unidade muxarabi. Oborn, 2013:201.

[F.84] Sistema de Gestão de Edifícios: software para a fachada dinâmica. Karanauh et al., 2015:202.

«Reparei que nem todos os painéis estão a funcionar. Falei com Abdulmajid Karanouh, que está em contacto com o cliente, e ele referiu alguns problemas de manutenção. A maquinaria é relativamente simples e foi testada o melhor possível, mas qualquer edifício, quer tenha ou não uma fachada dinâmica, necessita de manutenção.» - Mile Oades (Apêndice VIII)

«Até agora, tem corrido bastante bem. O edifício nunca sobreaqueceu e nunca houve calor excessivo. [...] Visitei há algumas semanas e a maior parte dos estores estavam abertos, pelo que é evidente que o sistema está a funcionar. Mesmo no deserto, não senti qualquer corrente de ar condicionado, o que mostra que está a funcionar como previsto. No entanto, não estaria a ser sincero se dissesse que não houve problemas. Surgiram alguns problemas, principalmente devido ao facto de o empreiteiro de acessibilidades e manutenção não ter sido devidamente comissionado desde o início. Não compreenderam completamente como manter o edifício tal como foi projetado inicialmente. [...] Estes problemas são menores e podem ser facilmente resolvidos, mas uma melhor manutenção poderia tê-los evitado. De um modo geral, o edifício continua a cumprir a sua função e a ter um bom desempenho.» - Karanouh (Apêndice VII)

O desenvolvimento do maxarubi foi além da funcionalidade básica de sombreamento e incorporou princípios de sustentabilidade, biomimética e *design* avançado, refletindo a ambição de criar uma solução arquitetónica inovadora que une tradição e tecnologia. Assim, as *Al Bahr Towers* não representam apenas um marco em termos de eficiência energética, mas também reafirmam a liderança de Abu Dhabi na aplicação de tecnologias arquitetónicas avançadas no contexto do Médio Oriente.



[F.85] Corte esquemático a sul. Integração da fachada com a estrutura e serviços mecânicos. Karanouh et al., 2015:197.

5.4 | SUSTENTABILIDADE

Como referido no início do capítulo, a escolha deste edifício advém da forma exímia como a fachada foi desenvolvida e testada em simbiose com o edifício, sendo uma parte fundamental para a otimização do projeto. Outro aspeto é a contradição que o edifício no seu todo representa, ainda que um dos pilares conceptuais requisitado pelo cliente seja a integração de tecnologias sustentáveis. Apesar de, muitas vezes, as *Al Bahr Towers* serem denominadas de sustentáveis, pela definição de sustentabilidade⁶⁴, 'Modelo de sistema que tem condições para se manter ou conservar' é possível perceber que este termo não se aplica ao edifício em questão.

«Nunca me ouvirão dizer que as Al Bahr Towers são um edifício sustentável, porque isso seria falso.» - Karanouh (Apêndice VII)

Embora este edifício não seja sustentável, muito devido à condição inicial de ter duas torres envidraçadas no clima extremo do Médio Oriente, existem vários aspetos que otimizaram as *Al Bahr Towers* e a tornaram mais eficiente, reduzindo o seu impacto ambiental. Um dos elementos mais marcantes deste projeto é o maxarubi dinâmico, um sistema de sombreamento cinético inspirado nos tradicionais maxarubis árabes, mas adaptado às exigências contemporâneas.

«Não foi por estarmos a tentar fazer um edifício sustentável em si. Porque construir uma torre totalmente envidraçada suportada por uma estrutura de aço e betão armado no meio do deserto é, para começar, um oxímoro do ponto de vista da sustentabilidade pura. Mas se o programa do concurso de conceção pede duas torres, então é esse o ponto de partida.» - Karanouh (Apêndice VII)

O design eficiente das *Al Bahr Towers* obteve a certificação LEED Silver em abril de 2018, pelo *US Green Building Council*, para Novas Construções, versão 2.2 (NC v2.2), em janeiro de 2024 foi alvo de recertificação na versão 4.1 (v4.1 Recertification), alcançando a classificação Gold (USGBC, 1996-2025b). Entre as medidas implementadas para alcançar esta certificação destacam-se a instalação de painéis solares térmicos no pódio para aquecimento de água, a redução no consumo de água, a utilização de materiais com elevado conteúdo reciclado e de origem regional e o uso de madeira certificada pelo *Forest Stewardship Council* (FSC) (MGS Architecture, 2010; Arup, 2015). Os topos das torres, orientados a Sul, foram truncados num ângulo que

⁶⁴ 1. Qualidade ou condição do que é sustentável; 2. Modelo de sistema que tem condições para se manter ou conservar. ("sustentabilidade", in [Priberam, 2008-2025] <https://dicionario.priberam.org/sustentabilidade>, consultado a 3/01/2025)

maximiza a exposição solar, pois estes também estão equipados com células fotovoltaicas e painéis solares térmicos que geram cerca de 5% da energia necessária para o aquecimento de água. (CTBUH, 2012)

«Se olharmos para a planta, verificamos que não é muito eficiente. Por um lado, é circular e o núcleo é bastante grande. Mas reduzimos a quantidade de tratamento de ar, espaço para condutas e outros sistemas dentro do próprio edifício. Por isso, houve alguma eficiência.» - Oades (Apêndice VIII)

O arquiteto Abdulmajid Karanouh sublinhou a eficiência energética e o impacto positivo do sistema maxarubi. Segundo este, cada unidade do maxarubi consome menos de 90 watts, o que equivale a uma lâmpada elétrica doméstica, e funciona apenas 90 segundos por dia. Assim, o sistema completo não consome mais de 3 lâmpadas domésticas por 24 horas. (Apêndice VII)

As unidades do sistema, quando completamente abertas, cobrem 85% de área exposta, promovendo a entrada de luz natural difusa e reduzindo o calor gerado pela radiação solar em até 50%, o que é diretamente proporcional à redução das cargas de arrefecimento. Assim, proporciona-se uma poupança de energia de 50% apenas para espaços de escritório e até 20% para todo o edifício e uma redução de 40% nas emissões de carbono, o que se traduz na redução da emissão de 1750 toneladas de CO₂ por ano. Quando estes benefícios são aplicados a todo o edifício, incluindo áreas não afetadas pelo maxarubi, estes representam 20% de redução nas emissões de carbono, 15% de redução na dimensão global das instalações mecânicas e no custo de capital e 20% de redução nos materiais e no peso total devido ao *design* altamente fluido, racional e otimizado (CNN, 2012; Aedas, 2012; AHR, s.d.; Karanouh & Kerberb, 2015:203). Por fim, *'a natureza pré-racionalizada da fachada dinâmica inovadora, com o seu enfoque desde o início numa "abordagem de conceção para a construtibilidade", permitiu a redução do desperdício de material. Uma média de 10% de desperdício é comum para edifícios normais, chegando a 30% de desperdício para edifícios feitos à medida. A equipa de conceção do Al-Bahr conseguiu reduzir o nível de resíduos para 3% a 5% neste projeto ambicioso e complexo.'*⁶⁵ (Karanouh & Kerberb, 2015:204).

Os benefícios proporcionados pelo maxarubi dinâmico não são apenas quantitativos, mas também qualitativos. O sistema contribui significativamente para a melhoria do ambiente interno e do bem-estar dos seus utilizadores ao reduzir o

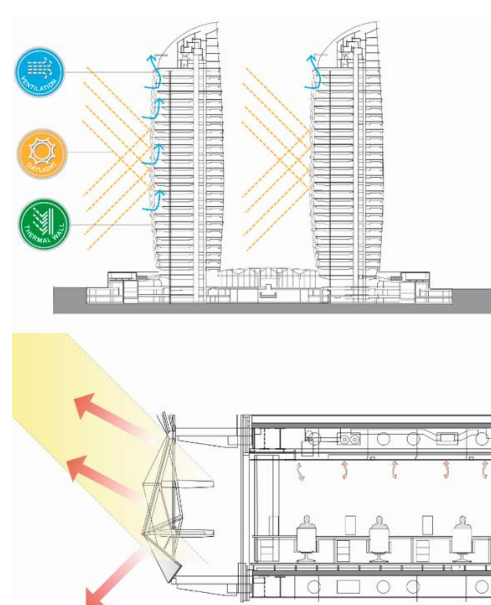
⁶⁵ "The pre-rationalized nature of the innovative dynamic facade, with its focus from the very beginning on a 'design for constructability approach' allowed the reduction of material waste. An average of 10% waste is common for regular buildings reaching up to 30% waste for bespoke buildings. The Design Team of the Al-Bahr was able to bring the level of waste down to 3% to 5% on this ambitious and complex project."

encandeamento, melhorar a penetração da luz natural e diminuir a necessidade de iluminação artificial e de persianas internas, além de garantir vistas para o exterior. Também melhora o conforto ao reduzir a necessidade de ar condicionado. (Fox, 2016)

«A fachada foi definitivamente uma estratégia para tornar o edifício mais eficiente, reduzindo significativamente os ganhos de calor. Ao mesmo tempo, tornou-se a identidade do edifício, quase como o seu logótipo. Cumpriu múltiplas funções em termos de desempenho, imagem e presença física.» - Oades (Apêndice VIII)

A escolha deste sistema para as *Al Bahr Towers* foi cuidadosamente pensada para responder às condições climáticas extremas da região, como ventos que podem atingir 140 km/h e elevados níveis de humidade. Além disso, o projeto reflete a integração harmoniosa de elementos culturais locais com soluções tecnológicas avançadas (Aedas, 2012; Apêndice VII). A equipa de *design*, que contou desde o início com um profissional acreditado pelo LEED - para determinar a classificação pretendida e aconselhar a equipa de conceção sobre os requisitos de especificação e documentação - assegurou que o projeto fosse simultaneamente funcional, eficiente e culturalmente relevante, tornando-se um exemplo paradigmático de como a arquitetura adaptativa pode criar edifícios resilientes e eficientes. (Arup, 2015)

[F.86] Diagrama
conceitual da fase de
concurso. Ilustra os
princípios orientadores
da ideia de conceção.
Karanouh et al.,
2015:194.
[F.87] Impacto da
aplicação do muxarabi.
Armstrong, 2023



6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS



A arquitetura desempenha um papel determinante na mitigação das alterações climáticas, assumindo-se como uma disciplina-chave na criação de soluções sustentáveis para o ambiente construído. Atualmente, o setor da construção é responsável por cerca de 40% do consumo global de energia e 38% das emissões de carbono, um peso significativo que exige medidas urgentes e eficazes. Assim, mais do que uma oportunidade, os arquitetos têm a responsabilidade de liderar mudanças que reduzam o impacto ambiental dos edifícios, promovendo práticas que combinem eficiência energética, conforto e inovação tecnológica.

«Os edifícios contribuem para uma grande parte das emissões através da sua construção, mas sobretudo através do seu funcionamento. Isto significa que uma conceção ponderada e cuidadosa pode garantir que um edifício minimiza passivamente o seu impacto ambiental, mas também incentiva os seus utilizadores a operá-lo de forma sustentável.» -Bakolas (Apêndice VI)

Neste contexto, a adoção de estratégias passivas destaca-se como um ponto de partida essencial. Estas incluem, como referido por Bob Gysin, a otimização da orientação dos edifícios e da ventilação e iluminação naturais, bem como o uso de massa térmica para controlar a temperatura de forma eficiente. A escolha dos materiais e dos métodos de construção também pode ter impactos significativos na redução de emissões de carbono (Apêndice I.d). Segundo Mike Oades, *'A melhor abordagem começa frequentemente com medidas passivas, como a utilização de massa térmica ou a conceção de sombreamento natural'* (Apêndice VIII). Estas soluções, para além de simples e economicamente viáveis, reduzem consideravelmente o consumo energético, constituindo-se como a base para a sustentabilidade arquitetónica.

Soluções simples, como janelas com mecanismos manuais ou sistemas básicos de sombreamento externo, já provaram o seu valor na sustentabilidade dos edifícios. Por outro lado, a transição para estratégias mais complexas, como as fachadas interativas automatizadas, representa um avanço significativo no progresso da arquitetura em direção a um *design* mais adaptável e responsivo. Os edifícios *'podem crescer e atualizar-se por si próprios, abrem-se como flores com bom tempo e fecham-se antes da tempestade'*⁶⁶, como destacou Nicholas Negroponte no seu livro *Soft Architecture Machines* (1975). As fachadas destacam-se por serem sistemas dinâmicos que, através de sensores, atuadores e outros mecanismos, respondem automaticamente a variações climáticas e às necessidades dos utilizadores. O caso das *Al Bahr Towers*, aprofundado nesta dissertação, exemplifica como estas fachadas podem ser cruciais

(pág. anterior)
[F.88] Imagem gerada
com IA. Copilot da
Microsoft. Autora, 2025.

⁶⁶ "Buildings that can grow and upgrade themselves, that open up like flowers in fine weather and clamp down before the storm, that seek to delight as well as serve you." (Negroponte, 1975:128,129)

para reduzir o ganho térmico em climas extremos, enquanto elevam os padrões de eficiência energética e inovação arquitetônica.

«Dito isto, elementos interativos cuidadosamente selecionados podem desempenhar um papel de apoio quando melhoram claramente o desempenho do edifício. Por exemplo: Sistemas de ventilação inteligentes que respondem aos níveis de CO₂ e à ocupação; sombreamento exterior automatizado que otimiza os ganhos solares; sistemas de iluminação inteligentes que minimizam o desperdício de energia.» - BGP (Apêndice I.d)

Além dos benefícios energéticos, as fachadas interativas também podem promover o bem-estar e o conforto dos utilizadores. Soluções como sistemas de ventilação *smart*, que ajustam o fluxo de ar com base nos níveis de CO₂, e sistemas de iluminação automatizados, que minimizam o desperdício energético, não só melhoram a qualidade ambiental dos espaços interiores como também incentivam uma utilização mais sustentável dos edifícios. Estas características refletem uma abordagem que coloca o utilizador no centro do *design* arquitetónico, criando uma experiência mais personalizada e eficiente.

No entanto, os desafios associados a estas soluções não podem ser ignorados. A complexidade tecnológica inerente a sistemas interativos, como sensores automatizados e algoritmos avançados, implica custos muito elevados de projeção, implementação e manutenção, o que os torna inacessíveis para muitos projetos, especialmente em contextos com restrições orçamentais. Além disso, existe um impacto ambiental adicional relacionado com a sua fabricação, operação, substituição periódica e descarte.

«A questão fundamental é que a adição de sistemas interativos aumenta frequentemente o impacto ambiental de um edifício, em vez de o diminuir. Estes sistemas requerem: Materiais e componentes eletrónicos adicionais que têm a sua própria pegada de carbono; Manutenção e substituição regulares, criando necessidades contínuas de material; Consumo constante de energia para operar sensores, processadores e atuadores. [...] A chave é evitar a complexidade tecnológica nos casos em que soluções arquitetónicas simples funcionariam melhor.» - BGP (Apêndice I.d)

Assim, é fundamental que os arquitetos adotem uma postura crítica e estratégica, selecionando apenas soluções tecnológicas que comprovadamente melhoram o desempenho do edifício.

Na presente dissertação, foi realizado um enquadramento e análise exaustivos de diversos casos de estudo que ilustram como as fachadas interativas podem contribuir para a sustentabilidade arquitetônica, integrando materiais e soluções passivas com tecnologia avançada. Estes casos reforçam a importância de conciliar inovações interativas e passivas, com soluções práticas e economicamente viáveis, evitando dependências excessivas de tecnologias que podem tornar-se rapidamente obsoletas. Estes também corroboram a perspectiva de Michael Miscamble, de que a fachada interativa *'Por si só, não é uma resposta, mas parte de uma solução adequada, em função das necessidades profissionais'* (Apêndice I.e). Esta abordagem reforça a ideia de que estas fachadas devem ser vistas como complementos e não como substitutos das soluções passivas. Quando utilizadas de forma criteriosa, estas tecnologias podem potenciar a sustentabilidade, mas nunca substituir completamente os fundamentos básicos do *design* passivo.

«A nossa experiência mostra que as soluções de alta tecnologia necessitam normalmente de uma monitorização e de um reajustamento sérios para atingir os objetivos. Para uma gama mais vasta de edifícios, será importante aplicar sistemas que sejam simples e robustos e que forneçam informações completas ao utilizador.» - Geister (Apêndice I.a)

A análise dos casos de estudo evidenciou ainda, que a aplicação das fachadas interativas é muito condicionada, não só pela localização geográfica, mas principalmente pelo desejo do cliente. Segundo Mike Oades *'para os novos projetos, o ponto de partida deve continuar a ser as medidas passivas. As soluções dinâmicas só devem ser consideradas quando forem a melhor forma de atingir os objetivos do projeto'* (Apêndice VIII), que foi exatamente o que aconteceu nas *Al Bahr Towers*.

«Desde a fase de concurso, o cliente investiu profundamente no conceito [maxarubi dinâmico] e manteve esse compromisso, mesmo quando houve oportunidades para o abandonar. [...] O processo foi valioso como projeto de investigação para a arquitetura, mesmo que as gerações futuras o revejam de forma diferente. Olhando para trás, talvez seja mais relevante agora do que quando foi concluído pela primeira vez.» - Oades (Apêndice VIII)

Rafail Bakolas partilha, em parte, da opinião de Oades, afirmando que em última análise *'alguns clientes estão dispostos a correr riscos para inovar e diferenciar-se, enquanto outros preferem uma abordagem conservadora, confiando apenas em sistemas comprovados'* (Apêndice VI), ou seja, a aplicação das fachadas interativas,

com todos os seus benefícios e desafios, está essencialmente dependente da vontade do cliente.

Apesar de já ser claro que a utilização de fachadas interativas nem sempre representa uma solução viável, quando o é, apresenta um futuro muito promissor. O avanço contínuo da tecnologia, incluindo o desenvolvimento de materiais inteligentes e sistemas de automação mais eficientes, pode tornar estas soluções mais acessíveis e viáveis. *‘As coisas tornar-se-ão populares quando estiverem a funcionar bem e forem fáceis de utilizar’*, como destacou Tom Geister (Apêndice I.a). Além disso, a crescente pressão para reduzir as emissões de carbono no setor da construção está a impulsionar a procura por inovações que combinem sustentabilidade e desempenho.

A popularização destas soluções interativas também depende fortemente da sensibilização e educação de arquitetos e profissionais do setor da construção. A inclusão destes temas nos currículos académicos de arquitetura é essencial para garantir que os futuros profissionais possuam não só o conhecimento técnico necessário, mas também uma compreensão profunda do impacto ambiental das suas decisões. É igualmente crucial divulgar amplamente projetos exemplares de fachadas interativas como instrumento para a sustentabilidade, evidenciando não só a sua viabilidade técnica, mas também os benefícios que oferecem em termos de eficiência energética, conforto ambiental e redução de emissões de gases.

«Acho que a exploração destes temas na educação do arquiteto é importante para tornar estas possibilidades mais populares.» - José Sousa (Apêndice I.c)

Além disso, a normalização de componentes interativos no mercado pode facilitar a sua adoção. *‘Os edifícios são protótipos. Não estamos a fabricar carros ou telefones que passam por testes exaustivos antes de chegarem ao utilizador. O nosso objetivo é acertar à primeira, o que é um desafio. Talvez uma fachada dinâmica possa tornar-se mais como um produto pronto a usar - um componente testado e eficiente que pode ser integrado num edifício’*, sugeriu Mike Oades (Apêndice VIII), apontando para a necessidade de desenvolver soluções padronizadas e de alta qualidade que possam ser facilmente incorporadas em diferentes projetos. Esta evolução pode reduzir os custos e simplificar o processo de instalação, tornando as fachadas interativas uma opção viável para um maior número de edifícios.

Numa perspetiva contrária à apresentada por Oades, Tom Geister defende que como *‘Existe um vasto leque de complexidade no que diz respeito às fachadas interativas. Uma boa conceção de fachada é sempre uma solução individual’* (Apêndice I.a). Também Karanouh defende a personalização para cada situação específica.

«É preciso ter consciência do contexto. É necessário compreender a física dos edifícios e o ambiente em que se está a trabalhar para tomar a decisão certa - quer se trate de uma fachada dinâmica, de uma fachada operável manualmente ou de outra coisa qualquer. Por isso, não se concentre apenas em popularizar as fachadas dinâmicas. Funcionou para as Al Bahr Towers, mas pode não ser adequado para um edifício de dois ou três andares em Portugal.» - Karanouh (Apêndice VII)

Por fim, o futuro das fachadas interativas dependerá da implementação de políticas públicas que incentivem a utilização de tecnologias sustentáveis, como subsídios e regulamentos específicos, que serão cruciais para promover a adoção destas soluções.

«Sem requisitos como regras de arte pública ou incentivos à construção ecológica, os promotores centram-se frequentemente na redução de custos para maximizar o lucro. Mas quando esses requisitos se alinham com a necessidade de tornar um projeto mais único e coerente, estão mais dispostos a investir.» - Ned Kahn (Apêndice I.b)

Assim, percebemos, que em situações muito específicas e em que o cliente tem um verdadeiro interesse na implementação de tecnologias sustentáveis, mais concretamente fachadas interativas, estas são uma solução para uma arquitetura sustentável. No entanto, é impossível ignorar os desafios estéticos, técnicos e económicos que a sua implementação representa, o que revela que esta estratégia não é uma solução para ser aplicada em larga escala, pelo menos nos moldes que se apresenta atualmente. Com a evolução da tecnologia, existe o potencial de pode vir a tornar-se mais acessível, ainda que seja necessário ultrapassar muitas barreiras. Sozinhas, estas fachadas nunca serão uma solução para tornar a arquitetura sustentável, mas em complemento com outras tecnologias, sejam elas passivas ou ativas, podem certamente contribuir para edifícios mais eficientes.

A conclusão mais ampla deste estudo é que a transição para uma arquitetura verdadeiramente sustentável depende de uma abordagem holística que envolva todos os agentes do setor. Arquitetos, engenheiros, construtores, fabricantes e governos devem trabalhar em conjunto para criar soluções que não sejam apenas tecnológicas, mas também éticas e inclusivas. A educação desempenha um papel fundamental neste processo, garantindo que os profissionais do futuro estejam equipados com as competências e valores necessários para enfrentar os desafios ambientais e sociais do século XXI. Como apontou Ned Kahn, *'Como podemos reduzir o consumo energético de um edifício de uma forma que não pareça um compromisso? Tornemo-lo belo!*

Tornemo-lo interessante! Criemos algo que as pessoas apreciem profundamente' (Apêndice I.b). Esta visão sintetiza a essência da arquitetura sustentável: um esforço contínuo para criar espaços que respeitem o planeta e enriqueçam a experiência humana.

Conclui-se, assim, que a arquitetura não é apenas um reflexo das necessidades e valores da sociedade, mas também uma ferramenta poderosa para moldar o futuro. Ao adotar fachadas interativas e outras soluções inovadoras, a arquitetura pode liderar a transição para um mundo mais equilibrado e consciente, onde o ser humano e o ambiente coexistem em harmonia. Este trabalho reafirma o papel dos arquitetos como agentes de mudança, capazes de transformar desafios em oportunidades e de construir um legado de sustentabilidade e inovação para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

Bibliografia

- Aelenei, L., Aelenei, D., Romano, R., Mazzucchelli, E. S., Brzezicki, M., & Rico-Martinez, J. M. (eds.). (2018). *Case studies: adaptive facade network*. Delft, Netherlands: TU Delft Open, COST Action 1403 (European Cooperation in Science and Technology). <http://hdl.handle.net/10400.9/3130>
- Afonso, A. & Rodrigues, E. (2024). Is public investment in construction and in R&D, growth enhancing? A PVAR approach. *Applied Economics, Taylor & Francis Journals*, 56(24), pages 2875-2899. <https://doi.org/10.1080/00036846.2023.2203455>
- Almeida, Luísa B. (2014). coberturas rígidas adaptáveis na arquitectura. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto]. <https://hdl.handle.net/10216/76863>
- Al-Obaidi, Karam M., Azzam Ismail, M., Hussein, H., & Abdul Rahman, A. M. (2017). Biomimetic building skins: an adaptive approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1472-1491. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.028>
- Alotaibi, F. (2015, ago 22). The Role of Kinetic Envelopes to Improve Energy Performance in Buildings. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 4(3): 149, 1-5. <https://www.omicsonline.org/open-access/the-role-of-kinetic-envelopes-to-improve-energy-performance-inbuildings-2168--9717-1000149.php?aid=59139>
- Antonino Bontempo. Luce Dinamica e Media Superfici. [Tese de Doutoramento, Facoltà di Architettura "Valle Giulia" Università di Roma La Sapienza]. <http://www.arc1.uniroma1.it/dottorato/composizione/architettonica/Dissertazioni/25BontempoSchedeMediaSuperfici%20.pdf>
- Anwar, N., Rajbhandari, A. M., & Sapkota, A. (2022). A Machine Learning Based Approach to the Preliminary Design of High-Rise Buildings. *TECHNOLOGY: Artificial Intelligence: Promises & Challenges*, (dez), 14-18. AIT Solutions Asian Institute of Technology. <https://solutions.ait.ac.th/wp-content/uploads/2024/06/AITS-TMDecember2022-Final.pdf>
- Armstrong, A., Buffoni, G., Eames, D., James, R., Lang, L., Lyle, J., & Xuereb, K. (2013). The Al Bahar towers: multidisciplinary design for Middle East high-rise. *The Arup Journal*, 48(2), 60-73. <https://www.arup.com/projects/the-arup-journal-2010s/the-arup-journal-2013-issue-2/>
- Attia, Shady. (2017). Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE. *Glass on Web*, (nov 10). <https://www.glassonweb.com/article/evaluation-adaptive-facades-case-study-al-bahr-towers-uae>
- Attia, S., Lioure, R., Declaude, Q. (2020). Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Sci Eng*, 8(9), 3255-3272. <https://doi.org/10.1002/ese3.725>
- Aung, Theingi; Liana, S. R.; Htet, A. & Bhaumik, A. (2023). Implementing Green Facades: A Step Towards Sustainable Smart Buildings. *Journal of Smart Cities and Society*, 2(1), 41-5. <https://doi.org/10.3233/SCS-230014>
- Barber, Daniel A. (2020). *Modern architecture and climate: design before air conditioning*. Princeton: Princeton University Press.
- Başarır, B., & Altun, C. M. (2018). A Redesign Procedure to Manufacture Adaptive Façades with Standard Products. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6(3), 77-100. <https://doi.org/10.7480/jfde.2018.3.2530>
- Bauer, Michael, Möslle, Peter, & Schwarz, Michael. (2010). *Green Building - Guidebook for Sustainable Architecture*. Berlim: Springer.

- Berardi, U. (2012, nov). Sustainability Assessment in the Construction Sector: Rating Systems and Rated Buildings. *Development Sustainable Development*, 20(6), 411-424. <https://doi.org/10.1002/sd.532>
- Bienvenido-Huertas, D., & Rubio-Bellido, C. (2021). The Influence of the Envelope Thermal Properties on Building Energy Performance. Em *Optimization of Thermal Properties of the Building Envelope* (p. 1-2). Springer Nature Switzerland AG.
- Brites, Catarina. (2018). *A Caminho de uma Arquitectura Interativa*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto]. <https://hdl.handle.net/10216/119050>
- Butera, Federico M. (2014). *Sustainable Building Design for Tropical Climates: Principles and Applications for Eastern Africa*. Nairobi: UN-Habitat.
- Calder, Barnabas. (2021). *Architecture: From Prehistory to Climate Emergency*. Londres: Pelican Books
- Drozdowski, Z. (2011). The Adaptive Building Initiative: The Functional Aesthetic of Adaptivity. *Architectural Design*, 81(6), 118-123. <https://doi.org/10.1002/ad.1329>
- Ferreira, Cristina Marlene G. (2009). *Artefactos digitais e espaços interactivos. Para lá da arquitectura*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto]. <https://hdl.handle.net/10216/149239>
- Figueiredo, Luísa A. L. T. (2023). *Fronteiras da Criatividade: Interferências da Inteligência Artificial na Prática da Arquitectura*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto]. <https://hdl.handle.net/10216/157289>
- Fortmeyer, Russell, & Linn, Charles D. (2014). *Kinetic Architecture: Design for Active Envelopes*. Australia: Images Publishing Group. https://books.google.pt/books?id=xeU-LgEACAAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Fox, Michael, & Kemp, Miles. (2009). *Interactive architecture*. Nova Iorque: Princeton Architectural Press. <https://archive.org/details/interactivearchi0000foxm>
- Fox, Michael. (2016) *Interactive Architecture: Adaptive World*. Nova Iorque: Princeton Architectural Press. <https://pdfcoffee.com/interactive-architecture-adaptive-world-pdf-free.html>
- Furtado, G., Muller, A., & Póvoas, R., (Eds). (2009). *Gordon Pask: on science and art*. Porto: FAUP.
- Furtado, Gonçalo, & Braz, Rui (Coord.). (2006). *Arquitectura - Máquina e Corpo: Notas sobre as Novas Tecnologias na Arquitectura*. Porto: FAUP Publicações.
- Furtado, Gonçalo. (2000). *Notas sobre o Espaço da Técnica Digital*. Porto: E.A.
- Furtado, Gonçalo. (2007). *Envisioning an evolving environment: the encounters of Gordon Pask, Cedric Price and John Frazer*. [Tese de Doutoramento, University College of London] https://discovery.up.pt/discovery/fulldisplay?docid=alma990001144180108801&context=L&vid=351PUCS_INST:UPorto&lang=pt1&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=any%2Ccontains%2Cpask%20gon%C3%A7alo%20furtado&offset=0
- Giacomini, Eliana. (s.d.). *Material O Vidro*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto]. https://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce04008_O_vidro.pdf
- Griffa, Cesare. (2012). *Smart Creatures: Progettazione parametrica per architetture sostenibili*. Roma: EDILSTAMPA.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013, set). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Haque, Usman (2007). The Architectural Relevance of Gordon Pask. *Architectural Design*, 77(4), 54-61. <https://doi.org/10.1002/ad.487>

- Hashemi, N., Fayaz, R., Sarshar, M. (2010, out). Thermal behaviour of a ventilated double skin facade in hot arid climate. *Energy and Buildings*, 42 (10), 1823-1832, 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.019>
- Henriques, Gonçalo C. (2013). *Tetra Script: Sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos*. [Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10400.5/11762>
- Henriques, Gonçalo C. (2015, nov). Sistemas responsivos: relevância, estado da arte e desenvolvimentos. *Blucher Proceedings*, 2(3), 200-206. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2015-60042>
- Henriques, Gonçalo C., Duarte, J. P., & Leal, V. (2012, dez). Strategies to control daylight in a responsive skylight system. *Automation in Construction*, 28, 91-105. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.06.002>
- Hensen, J., & Lamberts, R. (Eds.). (2011). *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Reino Unido: Spon Press.
- Herzog, T., Krippner, R., Lang, W. (2021). *Façade Construction Manual* (3ª.ed.). Munique: DETAIL. https://issuu.com/detail-magazine/docs/978-3-95553-369-4_bk_facade_costruction_manual_en
- Karanouh, A., & Kerber, E. (2015). Innovations in dynamic architecture. *Journal of Facade Design and Engineering*, 3(2), 185-221. <https://doi.org/10.7480/jfde.2015.2.1017>
- Kim, K., & Jarrett, C. (2014). Energy performance of an adaptive façade system. *ARCC Conference Repository*, ago, 179-186. <https://www.arcc-repository.org/index.php/repository/article/view/330>
- Kızılörenli, E., & Maden, F. (2021). A Comparative Study on Responsive Façade Systems. *Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism-ICCAUA*, 4(1), 15-23. <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2021124N3>
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., Auer, T. (2007). *Façades: Principles of Construction*. Berlim: Birkhauser.
- Kronenburg, R. (2005). Flexible Architecture: The Cultural Impact of Responsive Building. *Open House International*, 30(2), 59-65. <https://doi.org/10.1108/OHI-02-2005-B0008>
- Luís Silva, J., & Eloy, S. (2012). *Arquitetura flexível: movimento e sistemas cinéticos*. *arq.Urb*, (8), 190-199. <https://www.revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/345>
- Mateus, Ricardo, & Bragança. Luís. (2006). A Construção Sustentável. Em *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. (pp. 23-36). Coleção PROMETEU/5. Ermesinde: Edições Ecopy.
- McLennan, J. F. (2004). *The Philosophy of Sustainable Design: The Future of Architecture*. Kansas: Ecotone Publishing Company.
- Moreira, Renata. (2013). *Novas possibilidades na arquitetura. Reação, interação e inteligência*. [Dissertao de Mestrado, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto]. <https://hdl.handle.net/10216/80267>
- Ndilimeke, Novícia. (2019). *O Impacto das Condições de Trabalho na Satisfação dos Trabalhadores. Estudo de caso: Externato lvares Cabral*. [Dissertao de Mestrado, Instituto Superior de Gestão]. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/31666>
- Negroponte, N. (1976). *Soft Architecture Machines*. The Massachusetts Institute of Technology. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6317.001.0001>
- Oborn, Peter (2013). *Al Bahr Towers: The Abu Dhabi Investment Council Headquarters* (1ª.ed.). Itália: Wiley.
- Oliveira, Maria J. M. (2019). *Towards a Bio-Shading System Concept Design Methodology*. [Tese de Doutorado, ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10071/20600>
- Pawlyn, Michael. (2016). *Biomimicry in Architecture* (2ª.ed.) RIBA Publishing

- Pereira, António A. M. S. A. (2019). *Desempenho Energético. Atualização da Metodologia MC_FEUP*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/122835/2/358311.pdf>
- Pohl, Göran, & Nachtigall, Werner. (2015). *Biomimetics for Architecture & Design*. Springer.
- Prieto, A., Knaack, U., Auer, T., & Klein, T. (2017). Solar façades - Main barriers for widespread façade integration of solar technologies. *Journal of Facade Design and Engineering*, 5(1), 51-62. <https://doi.org/10.7480/jfde.2017.1.1398>
- Ramzy, N., Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Society*, 1(3), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.004>
- Ripley, R. L., & Bhushan, B. (2016). Bioarchitecture: bioinspired art and architecture—a perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2073). <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0192>
- Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E. S. (2018). What is an adaptive façade? Analysis of Recent Terms and definitions from an international perspective. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6(3), 65-76. <https://doi.org/10.7480/jfde.2018.3.2478>
- Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E. S. (2018). What is an adaptive façade? Analysis of Recent Terms and definitions from an international perspective. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6(3), 65-76. <https://doi.org/10.7480/jfde.2018.3.2478>
- Rosendo, Beatriz. (2022). *Supra-Arquitetura: Influências da Inteligência Artificial na Arquitetura*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto]. <https://hdl.handle.net/10216/146972>
- SAGGIO, A. (2003). Other Challenges. Em Kolaveric, B. (ed.), *Architecture in the digital age: design and manufacturing* (pp. 221-237). Nova Iorque: Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203634561>
- Saggio, Antonino. (2022). *Thoughts on a Paradigm Shift: The IT Revolution in Architecture* (2ª.ed.). Roma: Vita Nostra Edizioni.
- Shakirova, I. (2020). Three waves of theoretical architecture and design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 890(1), 1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/890/1/012010>
- Shan, Rudai. (2014). Optimization for Heating, Cooling and Lighting Load in Building Façade Design. *Energy Procedia*, 57, 1716 - 1725. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214015094>
- Silva, Camile A. (2005). *Liquid architectures: Marcos Novak's territory of information*. [Dissertação de Mestrado, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College] https://repository.lsu.edu/gradschool_theses/902
- Steenson, Molly W. (2014). *Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, and Nicholas Negroponte & MIT's Architecture Machine Group*. [Tese de Doutorado, Faculty of Princeton University]. <http://arks.princeton.edu/ark:/88435/dsp01pn89d6733>
- Sterk, T. d'E. (2003). Using Actuated Tensegrity Structures to Produce a Responsive Architecture. Em Klinger, K. (ed), *Connecting >> Crossroads of Digital Discourse* (pp. 84-92). USA, Indianapolis: ACADIA. https://pages.sandpoints.org/sandpoints/acadiaarchive-46619c43/library/BROWSE_LIBRARY.html#/book/74db894f-ad53-4a19-bbaf-47e939f5eec9
- Sterk, T. d'E. (2006). Responsive Architecture: User-centred Interactions with in the Hybridized Model of Control. Em Oosterhuis, K., Feireiss, L. (eds), *Game Set and Match II. On Computer Games, Advanced Geometries, and Digital Technologies* (pp. 494-501). Netherlands: Delft University Of Technology. https://www.orambra.com/survey/~gsm2/media/sterkGSM2_06.pdf
- Sterk, T. d'E. (2005). Building upon Negroponte: a hybridized model of control suitable for responsive architecture. *Automation in Construction*, 14(2), 225- 232. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.003>

- Tabasi, S. Fattahi, & Banihashemi, S. (2022, dez). Design and mechanism of building responsive skins: State-of-the-art and systematic analysis. *Frontiers of Architectural Research*, 11(6), 1151-1176. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.05.006>
- Toffler, Alvin (1980). *The Third Wave*. New York: William Morrow. https://ia801200.us.archive.org/9/items/TheThirdWave-Toffler/The-Third-Wave_-_Toffler.pdf
- United Nations. (2024, jan 04). World Economic Situation and Prospects 2024. *United Nations publication*, Sales No. E.24.II.C. https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/WESP_2024_Web.pdf
- van Hinte, E., Neelen, M., Vink, J., & Vollaard, P. (2003). *Smart Architecture*. Rotterdam: 010 Publishers. <https://books.google.it/books?id=Jmn1GgMGFRAC&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q&f=false>; <https://books.google.pt/books?id=YA13AgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q&f=false>
- Vazquez, E., & Duarte, J. (2019). Computational tools for designing shape- changing architectures. *ARCC Conference Repository*, 1(1). <https://arcc-repository.org/index.php/repository/article/view/624>
- Wiener, Norbert (1965). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine* (2ª.ed.). Cambridge: MIT Press.
- Xuereb, K. (2014). *Sustainable Energy 2014: The Ise Annual Conference. The Al Bahr Towers - Enhancing Sustainability Through Innovation*. Institute for Sustainable Energy, University of Malta. https://www.um.edu.mt/library/oar/bitstream/123456789/22981/1/2_1_Xuereb.pdf
- You, W., Qin, M., & Ding, W. (2013). Improving building facade design using integrated simulation of daylighting, thermal performance and natural ventilation. *Building Simulation*, 6, 269-282. <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0135-6>
- Zvironaite, K., Knol, A., Kneepens, S (2014). *Kinetica: A playful way through the world of moving facades*. TU Delft: Library.

Webgrafia

- ABB. (2024). *Empresas que investem na eficiência energética estão a aumentar*. Jornal de negócios: <https://new.abb.com/news/pt/detail/116479/empresas-que-investem-na-eficiencia-energetica-estao-a-aumentar> (consultado a 13/11/24)
- Aedas. (2012). *Abu Dhabi Investment Council: New Headquarters, Al Bahr Towers*. https://assets.newatlas.com/archive/ADIC_Press_pack_10_12.pdf
- Aedas. (s.d.). *About Us*. <https://www.aedas.com/en/about-us> (consultado a 3/12/2024)
- AHR. (s.d.). *Al Bahr Towers*. <https://www.ahr.co.uk/projects/al-bahr-towers> (consultado a 7/12/2024)
- Alcatel-Lucent Enterprise. (2024). *Rumo ao Edifício Inteligente 5.0 Uma visão tecnológica para edifícios regenerativos*. https://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/smart-building-of-the-future-whitepaper-ptbr.pdf?utm_source=chatgpt.com (consultado a 17/12/24)
- Aon. (2021). *Bem-estar dos colaboradores: da preocupação à implementação da mudança*. <https://www.aon.com/portugal/observatorio/artigos/bem-estar-dos-colaboradores-da-preocupacao-a-implementacao-da-mudanca.html> (consultado a 13/11/24)
- ArchDaily. (2015, dez 08). *Edifício Bosco Verticale / Boeri Studio*. ArchDaily Brasil: <https://www.archdaily.com.br/br/778367/edificio-bosco-verticale-boeri-studio> (consultado a 02/07/2025)
- ArchDaily. (s.d.). Aedas. <https://www.archdaily.com.br/br/tag/aedas> (consultado a 3/12/2024)

- Architizer. (s.d). *Sharifi-ha House*. <https://architizer.com/projects/sharifi-ha-house-1/>
- Arup. (2015). *Al Bahar Towers*. https://fidic.org/sites/default/files/5pages_Al%20Bahar%20Towers_Arup.pdf (consultado a 3/01/2025)
- Arup. (s.d.). *About us*. <https://www.arup.com/about-us/>, <https://www.arup.com/about-us/history/> (consultado a 3/12/2024)
- Atomik Architecture. (s.d.). *Mike Oades*. <https://atomikarchitecture.com/about/people/mike-oades/> (consultado a 3/12/2024)
- Bakolas, Rafail. (s.d.). *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/in/rafaelbakolas/?originalSubdomain=uk> (consultado a 3/12/2024)
- BREEM. (2024). *A guide to how BREEAM works*. <https://breeam.com/about/how-breeam-works> (consultado a 19/11/24)
- Brodowicz, M. (Eds.). (2024, jun 1). *Difference Between Intelligence VS Smart*. Aithor: <https://aithor.com/essay-examples/difference-between-intelligence-vs-smart> (consultado a 07/01/2025)
- CAA. (s.d). *Canadian Centre for Architecture*. <https://www.cca.qc.ca/en/>
- CarbonBrief. (2024). *Analysis: Global CO2 emissions will reach new high in 2024 despite slower growth*. <https://www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-will-reach-new-high-in-2024-despite-slower-growth/> (consultado a 02/12/2024)
- CCENERGIA. (2023). *Vantagens da eficiência energética para as empresas*. <https://ccenergia.com/conhecimento/vantagens-eficiencia-energetica-empresas> (consultado a 13/11/24)
- CEMS. (2022). *Leading for the future of our planet*. The Global Alliance in Management Education: <https://www.cems.org/news-events/news/leading-future-our-planet> (consultado a 30/10/24)
- CERV (Associação de Reciclagem dos Resíduos de Embalagens de Vidro). (s.d.) *Reciclagem do Vidro*. <http://cerv.pt/reciclagem-do-vidro/> (consultado a 19/11/24)
- CNBC. (2014). *Skyscrapers Come Alive | The Edge*. <https://www.youtube.com/watch?v=t5tLY9lyxl4> (consultado a 15/07/2024).
- CNN. (2012). *Cooling buildings in Abu Dhabi's heat*. <https://www.youtube.com/watch?v=BSEVoFi9MpQ> (acedido em 14/07/2024).
- CTBUH. (2012). *CTBUH 11th Annual Awards - Oborn & Chipchase, "Al Bahar: Innovating the Intelligent Skin"*. <https://www.youtube.com/watch?v=-SSRUICLUI4&t=277s> (consultado a 11/07/2024)
- CTCN. (s.d.). *Building Energy Management Systems (BEMS)*. UN Climate Technology Centre & Network: <https://www.ctc-n.org/technologies/building-energy-management-systems-bems> (consultado a 03/12/2024)
- d.gTerritório. (s.d.). *Normas e especificações técnicas para a cartografia topográfica - Versão 2.0.2: Dicionário de objetos. Direção-Geral do Território* <https://www.dgterritorio.gov.pt/recart/CONSTRU%C3%87%C3%95ES/Edificio.html> (consultado a 21/12/2024)
- dECOi. (2011). *Hyposurface*. dECOi Architects: <http://www.decoi-architects.org/2011/10/hyposurface/> (consultado a 25/02/25)
- DGEG. (2020). *Guia SCE - Indicadores de Desempenho Energético (REH)*. Direção-Geral de Energia e Geologia: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/4.4-Guia-SCE-Indicadores-de-desempenho-REH_V1-1.pdf (consultado a 23/12/24)
- DGEG. (2024) *Certificação Energética de Edifícios*. Direção-Geral de Energia e Geologia: www.dgeg.gov.pt (consultado a 19/11/24)

DGEG. (s.d.). *Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios*. Direção-Geral de Energia e Geologia: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/> (consultado a 23/12/24)

DGNB. (2023). *German Sustainable Building Council*. www.dgnb.de (consultado a 19/11/24)

Dicionário de Oxford. (s.d.). *Interactivity*. Dicionário de Inglês de Oxford: <https://www.oed.com/information/about-the-oed/history-of-the-oed/?tl=true> (consultado a 15/12/2024)

Estidama. (2023). *Pearl Rating System*. www.estidama.org <https://pages.dmt.gov.ae/en/Urban-Planning/The-Pearl-Rating-System-for-Estidama> (consultado a 19/11/24)

EUR-Lex. (s.d.). *Protocolo de Quioto*. União Europeia | EUR-Lex website: <https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/glossary/kyoto-protocol.html> (consultado a 23/10/24)

European Commission. (2024). *EDGAR - The Emissions Database for Global Atmospheric Research*. Europa.eu: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024 (consultado a 02/12/2024)

Event Point. (2022). *Estudo da QSP mostra as preocupações das empresas no futuro*. <https://www.eventpointinternational.com/home/estudo-da-qsp-mostra-as-preocupacoes-das-empresas-no-futuro> (consultado a 13/11/24)

GBCA. (2024). *Green Star Certification*. Green Building Council Australia: www.gbca.org.au (consultado a 19/11/24)

Greenjump. (2022). *EEWH certification*. <https://www.greenjump.com.tw/en/service/eewh-service> (consultado a 19/11/24)

Holdsworth, J., & Scapicchio, M. (2024, jun 17). *What is deep learning?*. IBM: <https://www.ibm.com/think/topics/deep-learning> (consultado a 19/12/2024)

IAPMAEI. (s.d.). *O que são os fatores ESG?*. <https://www.iapmei.pt/Paginas/fatores-ESG.aspx> (consultado a 30/10/24)

IISD. (2020). *Adaptation Futures Conference*. SDG Knowledge Hub: <https://sdg.iisd.org/events/adaptation-futures-2020/> (consultado a 17/12/24)

Karanouh, Abdulmajid. (s.d.). *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/in/abdulmajid-karanouh-52876110/> (consultado a 3/12/2024)

Khan, A. (s.d.). *MegaFaces*. Asif Khan: <https://www.asif-khan.com/project/sochi-winter-olympics-2014/> (consultado a 22/12/2024)

Latini, Francesca. (2015, jan 29). *Facciate dinamiche: l'architettura diventa viva*. Architettura Ecosostenibile: <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/innovativi/facciate-dinamiche-215> (consultado a 3/06/24)

Livin Spaces. (2017, set 25). *Discussing the Design: An Indepth Look at the Design of the Al Bahar Towers in Abu Dhabi by Aedas*. <https://livinspace.net/design-stories/lv-tv/discussing-the-design-an-indepth-look-at-the-design-of-the-al-bahar-towers-in-abu-dhabi-by-aedas-architects/>

Metal Distendido. (2024). *Como funciona e por que é importante a reciclagem de metais*. <https://metaldistendido.pt/2024/09/24/reciclagem-de-metais/> (consultado a 19/11/24)

MetalsCut4U. (2024). *Properties Of Metals And Nonmetals*. <https://metalscut4u.com/blog/post/properties-of-metals-and-nonmetals.html> (consultado a 15/11/24)

Mezaian, A. (2017, Out 28). *ARCH 653 - Building Information Modeling in Architecture*. <https://arch653-ahmedmz-fall2017.blogspot.com/2017/10/building-information-modeling-arch653.html> (consultado a 28/08/2024)

MGS Architecture. (2010, nov-dez). *Al Bahr Towers Abu Dhabi Investment Council New Headquarters*. <https://www.mgsarchitecture.in/architecture-design/projects/511-al-bahr-towers-abu-dhabi-investment-council-new-headquarters.html>

- MIT. (s.d.). *Person Overview* < *Nicholas Negroponte*. MIT Media Lab: <https://www.media.mit.edu/people/nicholas/overview/> (consultado a 15/12/24)
- Monoskop. (2019). *Norbert Wiener*. [https://monoskop.org/Norbert Wiener](https://monoskop.org/Norbert_Wiener) (consultado a 11/12/2024)
- Movimento Doco. (2023). *o que é programa de arquitetura*. <https://docomomo.org.br/glossario/o-que-e-programa-de-arquitetura> (consultado a 29/10/24)
- Mucci, T., & Stryker, C. (2024, abr 5). *What is big data analytics?*. <https://www.ibm.com/topics/big-data-analytics> (consultado a 19/12/2024)
- NEOM. (2022). *A New Future: Redefining livability, business and conservation*. NEOM: an accelerator of human progress: <https://www.neom.com/en-us> (consultado a 17/12/24)
- NowoFol. (s.d.). *What is ETFE?*. <https://www.nowofol.com/en/etfe-architecture/etfe-membrane/> (consultado a 15/11/24)
- Oxman, Neri. (2018). *Material Ecology*. MIT Media Lab. <https://www.media.mit.edu/publications/material-ecology/> (consultado a 15/12/24)
- PIXEL. (s.d.). *innovative+iconic*. <https://www.pixelbuilding.com.au/innovative.html> (consultado a 21/11/24)
- Priberam. (2008-2025). In *Dicionário Priberam da língua portuguesa*. <https://dicionario.priberam.org/>
- REHVA. (2024). *Primary energy and operational CO₂ indicators calculation in revised EPBD*. [https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/2024/EPBD Guidance 2024.pdf](https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/2024/EPBD_Guidance_2024.pdf) (consultado a 23/12/24)
- Reiman. (s.d.). *Design Generativo: O que é, quais as vantagens e aplicações reais*. <https://reiman.pt/pt/blog/fabrico-aditivo/design-generativo-o-que-e-quais-as-vantagens-e-aplicacoes-reais> (consultado a 19/12/2024)
- Requena, G. (s.d.). *Criatura de Luz: Fachada interativa que reflete a paisagem sonora de uma das avenidas ícones de São Paulo*. Estudio Guto Requena: <https://gutorequena.com/criaturadeluz/> (consultado a 22/12/2024)
- Rios, Pedro. (2008, jun 27). *A primeira torre giratória do mundo vai nascer no Dubai*. JornalismoPortoNet: <https://www.jpn.up.pt/2008/06/27/a-primeira-torre-giratoria-do-mundo-vai-nascer-no-dubai/> (consultado a 21/12/2024)
- Ruiz-Geli, Enric. (s.d.). *Projects Media-ICT building CZFB, 22@, Barcelona*. Enric Ruiz-Geli: <https://www.ruiz-geli.com/projects/built/media-tic#conten> (consultado a 23/12/2024)
- Schoof, Jakob. (2021, abr 4). *High-Tech for Cultural Exchange - Institut du Monde Arabe in Paris (1987)*. DETAIL: https://www.detail.de/de_en/from-our-archives-high-tech-for-cultural-exchange-institut-du-monde-arabe-in-paris-1987 (consultado a 15/09/24)
- SGBC. (2024). *Certifiering*. Sweden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/certifiering/> (consultado a 19/11/24)
- Souza, Eduardo. (2019). *Como funcionam as fachadas duplas ventiladas?*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com.br/br/922852/como-funcionam-as-fachadas-ventiladas> (consultado a 12/11/24)
- Spatial Agency. (2010). *Cedric Price*. <https://www.spatialagency.net/database/why/pedagogical/price> (consultado a 15/12/24)
- studio505. (s.d.). *PIXEL*. <https://www.studio505.com.au/work/project/pixel/8.html> (consultado a 21/11/24)
- U.AE. (2023). *Plan Abu Dhabi 2030*. <https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/transport-and-infrastructure/plan-abu-dhabi-2030> (consultado a 11/12/2024)
- USGBC. (1996-2025a). *LEED Certification*. US Green Building Council: www.usgbc.org (consultado a 19/11/24)

- USGBC. (1996-2025b). *Al Bahr Towers*. US Green Building Council: <https://www.usgbc.org/projects/al-bahr-towers> (consultado a 16/09/24)
- vector foiltec. (2024). *Texlon® ETFE*. <https://www.vector-foiltec.com/texlon-etfe/> (consultado a 12/11/24)
- Venturewell. (s.d.). *Building Orientation | Sustainability Workshop*. <https://sustainabilityworkshop.venturewell.org/buildings/building-orientation.html> (consultado a 31/10/24)
- WBDG. (s.d.). *Curtain walls*. Whole Building Design Guide: <https://www.wbdg.org/guides-specifications/building-envelope-design-guide/fenestration-systems/curtain-walls> (https://pt.wikipedia.org/wiki/Muro_cortina) (consultado a 13/10/24)
- Weather Spark (s.d.). *Climate and Average Weather Year Round in Abu Dhabi*. <https://weatherspark.com/y/105360/Average-Weather-in-Abu-Dhabi-United-Arab-Emirates-Year-Round> (consultado a 7/12/2024)
- WFM Media. (s.d.). *Abdulmajid Karanouh*. <https://wfmmedia.com/writer/abdulmajid-karanouh/> (consultado a 3/12/2024)
- Woods Bagot. (s.d.). *South Australian Health and Medical Research Institute*. <https://www.woodsbagot.com/projects/south-australian-health-and-medical-research-institute/> (consultado a 22/12/2024)
- WorldGBC. (2019). *Embodied Carbon: Bringing embodied carbon upfront*. World Green Building Council: <https://worldgbc.org/advancing-net-zero/embodied-carbon/> (consultado a 02/12/2024)
- WorldGBC. (2023). *Sustainable Building Certifications*. World Green Building Council: <https://worldgbc.org/sustainable-building-certifications/> (consultado a 02/11/24)
- Wu, Hongyuan. (2020, set 23). *Case Study Analysis - Car Park of Brisbane Domestic Airport*. Issuu: https://issuu.com/thewilliamwu/docs/marc5101_assessment_1_williamwu_sid470198933_final (consultado a 22/12/2024)
- ZKM. (s.d.). *Gordon Pask*. ZKM | Center for Art and Media Karlsruhe: <https://zkm.de/en/person/gordon-pask> (consultado a 12/12/2024)

LISTA E REFERÊNCIAS ICONOGRÁFICAS

- [CAPA] Al Bahr Towers. Fonte: Richters, Christian. (s.d.) *Abu Dhabi Investment Council New Headquarters. Al Bahr Towers.* <https://archello.com/nl/project/abu-dhabi-investment-council-new-headquarters-al-bahr-towers> (consultado a 31/07/2024)
- [F.01] Imagem gerada com IA. Copilot da Microsoft. Fonte: Autora. (2025, jan). OpenAI DALL-E. <https://www.bing.com/images/create?FORM=GENILP> - pp. 2
- [F.02] Time Line da realização da dissertação de mestrado. Fonte: Autora, 2024. - pp. 5
- [F.03] Emissões globais de gases com efeito de estufa por setor e utilização final, 2021. Fonte: Ge, M., Friedrich, J., & Vigna, L. (2024). *Where Do Emissions Come From? 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Sector.* https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors?utm_campaign=socialmedia&utm_source=facebook&utm_medium=worldresources (consultado a 02/12/2024) - pp. 8
- [F.04] Emissões globais de CO₂ dos edifícios. Fonte: Autora. (2024). Fonte dos dados: IEA. (2023). *Global CO₂ emissions from buildings, including embodied emissions from new construction, 2022.* <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-buildings-including-embodied-emissions-from-new-construction-2022> (consultado a 02/12/2024) - pp. 8
- [F.05] Emissões de gases com efeito de estufa. Fonte: Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2020). *Greenhouse gas emissions.* OurWorldinData: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions> (consultado a 02/12/2024) - pp. 10
- [F.06] Diagrama da Conversation Theory de Pask. Fonte: (Haque, 2007) - pp. 16
- [F.07] Soft Architecture Machine. Fonte: (Negroponte, 1975) - pp. 16
- [F.08] Fun Palace, Price (1961-1974). Fonte: CAA. (s.d.) *Fun Palace Project. 201 Image Results.* <https://www.cca.qc.ca/en/search?page=1&digigroup=399301> (consultado a 17/12/24) - pp. 16
- [F.09] ABI. Fonte: *Adaptive Building Initiative.* (2022). Facebook: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=204063285295566&set=a.204063278628900> (consultado a 17/12/24) - pp. 16
- [F.10] Adaptive Fritting™ (Harvard GSD). Fonte: *Adaptive Building Initiative.* (2009). Facebook: <https://www.facebook.com/112499393257/photos/pb.100070756876910.-2207520000/188881178257/?type=3> (consultado a 17/12/24) - pp. 16
- [F.11] The Line. Fonte: (NEOM, 2022) - pp. 16
- [F.12] Evolução histórica do tema da interatividade em arquitetura. Fonte: Autora (2025) - pp. 22
- [F.13] Esquema de conceitos. Fonte: Autora (2025) - pp. 23
- [F.14] Edifícios estáticos otimizados. Fonte: Autora (2025) - pp. 24
- [F.15] Arquitetura Flexível. Fonte: Autora (2025) - pp. 24
- [F.16] Ação por: manipulação, força da natureza, sazonalidade. Fonte: Autora (2025) - pp. 25
- [F.17] Graus cognitivos dos sistemas adaptativos: Reação, Interação, Inteligência. Fonte: Autora (2025) - pp. 27
- [F.18] Fachada Casa Sharifi-há (2013), Alireza Taghaboni. Fonte: nextoffice. (2014, jul 7). Sharifi-ha House / Next Office-Alireza Taghaboni. ArchDaily: <https://www.archdaily.com/522344/sharifi-ha-house-nextoffice> (consultado a 21/12/2024) - pp. 32
- [F.19] Elementos móveis Casa Sharifi-ha. Fonte: Ibidem - pp. 32
- [F.20] Dynamic Tower (2008), David Fisher. Fonte: (Rios, 2008). - pp. 32

- [F.21] SAHMRI (2014), Woods Bagot. Fonte: Ortiz, Hanner. (2023). https://lh3.googleusercontent.com/p/AF1QipNpKY0N5FkWAxWn7r7kOmxGUw-Rpt8Ti9Eg3_nz=s1360-w1360-h1020 (consultado a 26/01/2025) – pp. 33
- [F.22] Aegis Hyposurface (2001), Mark Goulthorpe. Fonte: (dECOi, 2011) – pp. 33
- [F.23] MegaFaces (2014), Asif Khan. Fonte: (Khan, s.d.) – pp. 33
- [F.24] Hotel WZ Jardins (2015), Estúdio Guto Requena. Fonte: (Requena, s.d.) – pp. 33
- [F.25] Turbulent Line (2012), Ned Kahn. Fonte: See, Rachel, & Burrows, Scott. (s.d.). *Ned Kahn. Turbulent Line*. UAP: <https://www.uapcompany.com/projects/turbulent-line#project-summary> (consultado a 4/07/2024) – pp. 34
- [F.26] Bosco Verticale (2014), Boeri Studio. Fonte: SPCON. (2023). *Construindo o futuro: descubra como a arquitetura sustentável pode transformar o ambiente*. <https://spcon.com.br/arquitetura-sustentavel/> (consultado a 29/01/2025) – pp. 34
- [F.27] *Institut du Monde Arabe* (1987), Jean Novel. Fonte: Santos, Constança M. L. (2024, nov) – pp. 34
- [F.28] Media-Tic (2007), Enric Ruiz Geli. Fonte: (Ruiz-Geli, s.d.) – pp. 34
- [F.29] Al Bahr Towers (2012), Aedas. Fonte: (Arup, 2015) – pp. 34
- [F.30] Esquema de conceito em relação às terminologias das fachadas. Fonte: Autora (2025) – pp. 35
- [F.31] One Ocean (2012), SOMA Lima. Fonte: Transsolar. (s.d.). *One Ocean - Pavilion EXPO 2012, Yeosu, South Korea*. <https://transsolar.com/projects/one-ocean-pavillon-expo-2012> (consultado a 6/01/2025) – pp. 38
- [F.32] PIXEL (2010), studio505. Fonte: Hosking, Ben. (2011, dez 14). *Pixel / studio505*. ArchDaily: <https://www.archdaily.com/190779/pixel-studio505> (consultado a 6/01/2025) – pp. 38
- [F.33] SDU'S Campus Kolding (2014), Henning Larsen. Fonte: Henning Larsen. (s.d.) *University of Southern Denmark - Campus Kolding*. <https://henninglarsen.com/projects/university-of-southern-denmark-campus-kolding> (consultado a 6/01/2025) – pp. 38
- [F.34] *Institut du Monde Arabe* (1987), Jean Novel. Fonte: Santos, Constança M. L. (2024, nov) – pp. 38
- [F.35] Manitoba Hydro Place (2009), KPMB Architects. Fonte: KPMB. (s.d.). *Manitoba Hydro Place*. KPMB Architects: <https://www.kpmb.com/project/manitoba-hydro-place/> (consultado a 6/01/2025) – pp. 38
- [F.36] Global Bank Santa Maria (2019), Forza Creativa. Fonte: Forza Creativa. (2020). Facebook: https://www.facebook.com/photo.php?fbid=2832594040143181&id=175520205850591&set=a.357577087644901&locale=da_DK (consultado a 6/01/2025) – pp. 38
- [F.37] Media-Tic (2007), Enric Ruiz Geli. Fonte: (Ruiz-Geli, s.d.) – pp. 38
- [F.38] Q1 Thyssenkrupp Quarter (2010), Chaix & Morel et Associés, JSWD Architekten. Fonte: Wett, Günter. (2013, fev 4). *Q1, ThyssenKrupp Quarter Essen / JSWD Architekten + Chaix & Morel et Associés*. ArchDaily: https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associés?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (consultado a 6/01/2025) – pp. 38
- [F.39] Esquema das categorias do estudo. Fonte: Autora (2025) – pp. 41
- [F.40] Friso cronológico com a distribuição da amostra. Fonte: Ibidem – pp. 44 e 45
- [F.41] Mapa mundo da distribuição da amostra. Fonte: Ibidem – pp. 48 e 49
- [F.42] Programa arquitetônico dos edifícios da amostra. Fonte: Ibidem – pp. 50
- [F.43] Análise das crescentes preocupações das empresas. Fonte: (CEMS, 2022) – pp. 51
- [F.44] Orientação das fachadas interativas da amostra. Fonte: Autora (2025) – pp. 53
- [F.45] Geometria solar anual e diária. Fonte: Ibidem – pp. 53

- [F.46] Tipologia de fachada da amostra. Fonte: Ibidem – pp. 55
- [F.47] Dimensionalidade do sistema interativo de fachada. Fonte: Ibidem – pp. 57
- [F.48] Dimensionalidade: 1D, 2D, 3D. Fonte: Ibidem – pp. 57
- [F.49] Input do sistema interativo. Fonte: Ibidem – pp. 59
- [F.50] Tipos de movimento. Fonte: Ibidem – pp. 61
- [F.51] Tipo de movimento: único ou híbrido. Distribuição pelos tipos de movimento. Fonte: Ibidem – pp. 61
- [F.52] Tempo de reação do sistema interativo. Fonte: Ibidem – pp. 64
- [F.53] Materiais utilizados nos sistemas interativos. Fonte: Ibidem – pp. 65
- [F.54] Eficiência energética nos edifícios. Fonte: Milheiro, A. (2021, jun 8). *Eficiência energética nos edifícios*. adene: <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica-nos-edificios/> (consultado a 23/12/24) – pp. 68
- [F.55] Sistemas de certificação. Fonte: Woodall, James. (2017, jan 8). *Evolution of Green Building Rating Systems: A New Frontier?*. LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/evolution-green-building-rating-systems-new-frontier-james-woodall/> (consultado a 8/01/2025) – pp. 69
- [F.56] Certificação de sustentabilidade dos edifícios da amostra. Fonte: Autora (2025) – pp. 72
- [F.57] Desenhos e fotografias da fachada do edifício Pixel (2010). Fonte: (studio505, s.d.) – pp. 73
- [F.58] Fachada das Al Bahr Towers (2012), Aedas. Fonte: Guttridge, Nick. (2020). *Al Bahar Towers, EAU*. <https://nickguttridgearchive.com/al-bahar-towers-eau> (consultado a 8/01/2025) – pp. 78
- [F.59] Al Bahr Towers (2012), Aedas. Fonte: (AHR, s.d.) – pp. 80
- [F.60] Abu Dhabi Investment Council. Fonte: CTBUH. (s.d.). *CTBUH Silver Member. Abu Dhabi Investment Council*. <https://www.skyscrapercenter.com/company/5608> (consultado a 17/12/2024) – pp. 80
- [F.61] Mike Oades. Fonte: (Atomik Architecture, s.d.) – pp. 82
- [F.62] Rafail Bakolas. Fonte: (Bakolas, s.d.) – pp. 82
- [F.63] Abdulmajid Karanouh. Fonte: (WFM Media, s.d.) – pp. 82
- [F.64] Logo Arup. Fonte: (Arup, s.d.) – pp. 83
- [F.65] Esquema de parcerias e colaboração para o projeto das Al Bahr Towers. Fonte: (Armstrong, 2013:61) – pp. 83
- [F.66] Foto aérea de Abu Dhabi, com destaque no local das Al Bahr Towers. Fonte: (Oborn, 2013:103) – pp. 85
- [F.67] Gráfico anual de temperaturas médias diurnas em Abu Dhabi. Fonte: (Armstrong, 2013:67) – pp. 87
- [F.68] Taj Mahal – exemplo icónico de uma abordagem geométrica universal ao design. Fonte: (Karanouh et al., 2015:191) – pp. 87
- [F.69] a [F.71] Padrão e sombreamento tradicional (muxarabi). Fonte: (Fox, 2016:91) – pp. 87
- [F.72] Desenvolvimento da secção horizontal das Al Bahr Towers. Fonte: (Oborn, 2013:108) – pp. 87
- [F.73] Estrutura em layers. Fonte: (Karanouh et al., 2015:197) – pp. 88
- [F.74] Entrada nos pisos de pódio. Fonte: (AHR, s.d.) – pp. 89
- [F.75] Secção em 3D, de uma das torres. Fonte: (Armstrong, 2013:65) – pp. 89
- [F.76] Projeto para o topo das torres. Fonte: Meinhold, Bridgette. (2010). *Solar-Powered Crystalline Towers Unveiled for Abu Dhabi*. <https://inhabitat.com/solar-powered-crystalline-towers-unveiled-for-abu-dhabi/> (consultado a 29/02/2025) – pp. 89

- [F.77] Plantas: garagem, piso de pódio, secções das tores e cobertura. Corte: sul-norte. Desenhos: uma das entradas do edifício. Fonte: (Oborn, 2013:121-143) – pp. 90
- [F.78] Fachada: sistema muxarabi. Fonte: (Karanouh, s.d.) – pp. 91
- [F.79] Origami da unidade dinâmica muxarabi. Fonte: (Oborn, 2013:113) – pp. 93
- [F.80] Análise da exposição solar. Fonte: (Xuereb, 2014:12) – pp. 95
- [F.81] Aplicação que simula o funcionamento do muxarabi e a sua resposta ao movimento do sol. Fonte: (Karanouh et al., 2015:193) – pp. 95
- [F.82] Desenho das unidades muxarabi e do mecanismo e atuador que permitem o movimento do sistema. Fonte: (Oborn, 2013: 111, 114) – pp. 96
- [F.83] Diagrama dos quinze principais componentes de uma unidade muxarabi. Fonte: (Oborn, 2013:141) – pp. 97
- [F.84] Sistema de Gestão de Edifícios: software para a fachada dinâmica. Fonte: (Karanouh et al., 2015:202) – pp. 97
- [F.85] Corte esquemático a sul. Integração da fachada com a estrutura e serviços mecânicos. Fonte: (Karanouh et al., 2015:197) – pp. 98
- [F.86] Diagrama conceptual da fase de concurso. Ilustra os princípios orientadores da ideia de conceção. Fonte: (Karanouh et al., 2015:194) – pp. 101
- [F.87] Impacto da aplicação do muxarabi. Fonte: Armstrong, 2023 (ilustração), em Ali, M. M., Al-Kodmany, K., & Armstrong, P. J. (2023). *Energy Efficiency of Tall Buildings: A Global Snapshot of Innovative Design*. *Energies*, 16(4), 2063. <https://doi.org/10.3390/en16042063> – pp. 101
- [F.88] Imagem gerada com IA. Copilot da Microsoft. Fonte: Autora. (2025, fev). OpenAI DALL-E. <https://www.bing.com/images/create?FORM=GENILP> – pp. 104

APÊNDICES

I. Questionário Online

a. Tom Geister, b. Ned Kahn, c. José P. Sousa, d. Bob Gysin, e. Michael Miscamble, f. Gonçalo C. Henriques

II. Base de Dados

III. Casos de Estudo

IV. Ficha Técnica *Al Bahr Towers*

V. Entrevista *Al Bahr Towers*

VI. Entrevistas *Al Bahr Towers*: Rafail Bakolas

VII. Entrevistas *Al Bahr Towers*: Abdulmajid Karanouh

VIII. Entrevistas *Al Bahr Towers*: Mike Oades



INTERACTIVE FACADES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Short Survey

Student: Mariana Inácio Candeias

up201907137@g.uporto.pt

(+351)924417006

Identification (Name, Institution)

Architect Tom Geister - sauerbruch hutton

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

Architects will have to seek for technical solutions of building performances which work in a simple way and are self explanatory for all users.

2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?

Buildings always needed to adapt to climate changes during day and night, seasons and different uses. With the development of new facade constructions, the interaction of users and control by algorithms reached a new peak in the past years. Our experience shows that high-tech-solutions usually need a serious monitoring and readjustment in order to meet the targets. For the wider range of buildings, it will be important to apply systems which are simple and robust and to provide comprehensive information to the user.

3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

Architecture and the construction sector plays a major role in the solution of problems of the climate crisis. Architecture mirrors the way how we inhabit our planet. The overall systems of buildings, cities and their infrastructure are defining future consumption of energy and material. As architects we are responsible to allow future users to run their buildings in a highly efficient way.

4. Do you know examples where interactivity has been applied to facades to improve the sustainability of the building? What can be done to make them more popular?

There is a wide range of complexity regarding interactive facades. A good facade-design is always an individual solution, considering location, use, material, energy sources and budget. Even simple features like a manually operable window with different opening steps can be a good solution for many buildings.

Also an outer reversible sunshade is one of the basic elements in sustainable facade designs. Things will become popular when they are working well and are easy to use. Constructions will be well maintained if they additionally contribute to a high building culture by their inherent aesthetics.



INTERACTIVE FACADES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Short Survey

Student: Mariana Inácio Candeias

up201907137@g.uporto.pt

(+351)924417006

Identification (Name, Institution)

Artist Ned Kahn

Introduction

(Video call interview)

Mariana Candeias: I'm doing my master's thesis in architecture, and I'm studying interactive facades or responsive facades as a strategy for making buildings more efficient. Your work is of great interest to me because you have a lot of pieces and art forms that engage with nature, right? You work with wind, fire, sand, water, and fog. What I'm studying begins with the simple idea of interacting with nature, and your work represents this beautifully.

I also contacted you because you designed the facade of the Brisbane Airport Domestic Terminal Carpark, Turbulent Line. I have a big interest in facades like that. I'm studying several, and this one is particularly interesting to me because, without advanced technology, it manages to create something responsive to nature. I also read that this facade was fundamental to the car park's design, because it eliminated the need for HVAC and ventilation systems, making the interior more comfortable while blocking sunlight and offering numerous benefits.

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

I definitely think it's something we're all beginning to realize, at least those of us who are more thoughtful about the planet. Climate change is undeniable now. Here in California, we're during a crazy storm—15 inches of rain in the last few days. So, it's a new time for humanity. So, how can architecture respond in a way that doesn't feel like defeat? How can architecture make our built environment more in sync with nature, making it less brutal?

I didn't start with this as a goal, though. Right after college, I worked in a science museum in San Francisco. I've always been fascinated by nature, and I began creating kinetic sculptures that revealed natural patterns—things involving fog, sand, and water. These projects became small windows into the beauty of nature when you let it do its thing instead of imposing an artist's vision. The pieces I create are like musical instruments—I build them, but nature becomes the composer. Whether it's the atmosphere, ocean, rain, or light, nature completes the work.

Working at the museum for 12 years got me thinking about scaling these ideas up, which led me to architecture. I began applying for public art projects and collaborating with architects and engineers. I quickly

realized most architectural facades are super boring—flat planes of brick, glass, or metal. Nature, on the other hand, is dynamic, porous, and alive. A leaf's surface is an intricate interface with the atmosphere. That inspired me to ask: How could a building emulate nature?

Your focus on the Brisbane car park is a good example. Parking garages are brutal impositions on the landscape. Airports need to park thousands of cars, so we build these enormous concrete structures. And for many, they're the first thing people see when they arrive. In Brisbane, the city had a regulation requiring a portion of the budget to be spent on art. I proposed a facade that would move with the wind and reflect the patterns of the Brisbane River. I photographed the mast of a ship reflected in water, where waves created a beautiful, warped pattern and I was inspired by these ripples and reflections I saw on the river's surface, and I overlaid those patterns onto the facade. The result tied the artwork to the sense of place, and people appreciated how it resonated with Brisbane's identity.

There were also strict codes for ventilation because of the car exhaust. Each floor needed a different level of porosity to ensure airflow. It was an interesting challenge to balance the poetic, artistic vision with the technical requirements. This project also introduced me to amazing collaborators like UAP in Brisbane. They handled much of the nitty-gritty, like meetings with the airport authorities, which spared me from that side of things.

So, yeah, a lot of my work focuses on that kind of thing—cooling shade structures. As the earth heats, shade has become a much more crucial thing. So, a number of my projects have been shade structures for making outdoor spaces more habitable. But again, doing it in an interesting way, you know, instead of just building some static shade structure, make it, you know, kind of like it's a piece of the atmosphere. Since then, I've been exploring new materials, like bioplastics derived from plants instead of fossil fuels. These materials store carbon, keeping it out of the atmosphere, even if only symbolically. But it's a step in the right direction—creating pieces that get people thinking about sustainability in ways that are engaging and beautiful.

2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?

It's interesting to look at the tension between architects' ideals and the economic realities of construction. A lot of my work has happened because of public art requirements—like the 1% budget rule for art. Traditionally, that means placing a sculpture in a lobby, but I've approached it differently. I ask: what problems can we solve? Could the artwork reduce energy use, provide shade, or help a building breathe? Architects and developers often love this approach because it aligns with their goals and tells a compelling story about the project.

And so, it's kind of a win-win. Without requirements like public art rules or green building incentives, developers often focus on cutting costs to maximize profit. But when those requirements align with making a project more unique and coherent, they're more willing to invest. Systems like the green building movement's points-based incentives—adding bike racks, using recycled materials, or energy-efficient designs—have had some success.

Still, it often comes down to money, which is frustrating. But with these unprecedented climate phenomena, like the storm we're experiencing now—crazy flooding, the lowest Pacific air pressure ever recorded outside a hurricane—I think we're entering a time where climate-driven disasters are forcing a reevaluation. The economic costs of environmental damage are getting harder to ignore, and that might push more people to prioritize sustainable solutions.

3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

They can't solve it, but they're part of the equation. I don't see them as a solution, but more as a way to spark a deeper connection. As an artist, I often think about how I can help balance the damage we've done to the planet, even if it's just symbolically. A lot of my work, especially the facades and sculptural pieces, is designed to make people notice the beauty of the natural forces around us—like the wind. Most people never stop to appreciate the air they breathe, but if you can show them how it moves and how beautiful it is, maybe it will inspire a shift in how they relate to the environment.

The thing is, in today's world, many people are so disconnected from nature. We just had a traumatic election here, where half the country voted for a man whose approach to nature is destructive. Words alone don't seem to matter in these cases, but I think if you can bypass all the politics and just connect with people on a sensory level—show them how beautiful the air is—they might start to care more about preserving it. It's a symbolic effort, but I think it's worth trying.

4. Do you know examples where interactivity has been applied to facades to improve the sustainability of the building? What can be done to make them more popular?

Well, obviously, economics is a huge part of it, but there's more to it. To ensure human survival in any reasonable way, we're going to have to completely rethink how we generate and use energy. Technologies like solar panels and wind turbines need to become a regular part of our everyday lives, they need to be everywhere. But right now, most of these technologies in their current form are just plain unattractive, and that's a big barrier for people.

When you see solar panels on a roof, it often looks like just a practical solution—it doesn't feel integrated or beautiful. The challenge, as an artist, is to figure out how to take these energy-producing technologies and make them interesting, even beautiful. How can we shade a building in an interesting way? How can we reduce the energy consumption of a building in a way that doesn't feel like a compromise? Make it beautiful! Make it interesting! Make it something that people have a good vibe about.

The world is dying, and we're going to have to cover this whole place with ugly solar panels, or we're all going to die. Make it like, this could be magical. This could be like a beautiful, enchanted forest that's generating power. After all, it's remarkable that we even exist on this rock hurling through space, and if we can remind people of that beauty through design, maybe they'll be more invested in protecting it.



INTERACTIVE FACADES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Short Survey

Student: Mariana Inácio Candeias

up201907137@g.uporto.pt

(+351)924417006

Identification (Name, Institution)

Architect José Pedro Sousa

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

Os arquitetos são atores principais de uma indústria que é responsável pela maior fatia de emissões de gases-de-estufa para a atmosfera, e que está na base das alterações climáticas. Como tal, a sua responsabilidade é enorme, pois podem determinar mudanças essenciais para a transformação da construção rumo a uma fase ambientalmente mais sustentável.

2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?

A evolução tecnológica acelerada que atravessámos compreende sistemas cada vez mais avançados, baratos e práticos de implementar. Se somarmos a isto o advento da inteligência artificial cada vez mais acessível e ubíqua, o campo dos sistemas físicos interativos inteligentes aplicados à arquitetura será, certamente, uma realidade cada vez mais prática e viável.

3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

No seguimento do que afirmei no ponto anterior, estes sistemas físicos poderão ser complementares e/ou alternativas a outras abordagens interessadas em tornar a arquitetura e a construção mais sustentável. Através deles será possível calibrar de uma forma otimizada a relação entre o desempenho do edifício e as condições ambientais onde se insere.

4. Do you know examples where interactivity has been applied to facades to improve the sustainability of the building? What can be done to make them more popular?

Exemplos já foram discutidos durante o acompanhamento do trabalho.

Acho que a exploração destes temas na educação do arquiteto é importante para tornar estas possibilidades mais populares.



INTERACTIVE FACADES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Short Survey

Student: Mariana Inácio Candeias

up201907137@g.uporto.pt

(+351)924417006

Identification (Name, Institution)

Architect Bob Gysin - BGP (Bob Gysin Partner)

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

Architects and architecture have several crucial roles to play in addressing climate change. The built environment accounts for nearly 40% of global carbon emissions when considering both operational and embodied carbon, making it a critical frontier for climate action.

First, through design for energy efficiency and reduced operational carbon. This includes passive design strategies like optimizing building orientation, natural ventilation, daylighting, and thermal mass. It also means designing highly insulated building envelopes, incorporating renewable energy systems, and using smart building technologies to minimize energy consumption.

Second, by addressing embodied carbon through material choices and construction methods. This means selecting low-carbon materials, reusing existing buildings and materials where possible, designing for deconstruction and circular economy principles, and minimizing waste during construction.

Third, architects can design for climate resilience. As extreme weather events become more frequent, buildings need to withstand higher temperatures, more intense storms, flooding, and other climate impacts.

2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?

We maintain a measured skepticism towards interactive architecture. Buildings need to be robust and long-lasting, while interactive systems tend to become obsolete quickly, creating a mismatch between the building's lifespan and its interactive elements.

Meaningful architectural interactivity requires solving complex technical and maintenance challenges. Moving parts, sensors, and electronic systems all introduce potential points of failure. Nevertheless, we strategically integrate low-tech interactive elements where they serve clear functional purposes, particularly in environmental responsiveness - such as automated shading systems, natural ventilation controls, and adaptive lighting that respond to environmental conditions rather than direct user input.

Public spaces present another viable application, where interactive elements can serve specific programmatic needs - like reconfigurable spaces for different events or responsive environmental art installations. Here, the shorter expected lifespan of interactive elements aligns better with their purpose.

3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

The fundamental issue is that adding interactive systems often increases rather than decreases a building's environmental impact. These systems require: Additional materials and electronics that have their own carbon footprint; Regular maintenance and replacement, creating ongoing material demands; Constant power consumption to operate sensors, processors, and actuators.

More effective approaches to climate-responsive architecture often lie in passive design strategies that don't require complex interactive systems: Thoughtful orientation and massing to optimize solar gain and natural ventilation; Well-designed thermal mass to regulate temperature; Strategic placement of windows and shading; Selection of appropriate materials for the climate context.

That said, carefully selected interactive elements can play a supporting role when they clearly improve building performance. For example: Smart ventilation systems that respond to CO₂ levels and occupancy; Automated external shading that optimizes solar gain; Intelligent lighting systems that minimize energy waste.

But these should be implemented selectively and only where they demonstrably reduce environmental impact over simpler passive solutions. The key is to avoid technological complexity where straightforward architectural solutions would work better.

4. Do you know examples where interactivity has been applied to facades to improve the sustainability of the building? What can be done to make them more popular?

The Forum Chriesbach effectively demonstrates how passive and interactive design elements can work together in sustainable architecture. The building combines fundamental passive strategies - optimized orientation, thermal air preconditioning through a simple thermal register, and strategically zoned climate areas within the building - with thoughtfully integrated interactive elements. The technical installations remain visible, promoting maintenance accessibility, while the window-to-wall ratio is limited to 30% to optimize the building envelope's performance.

The interactive elements are purposefully simple yet effective: movable facade panels respond to both internal temperature and sun position, working in concert with automated window motors for natural ventilation. This approach demonstrates how interactive elements can enhance rather than complicate passive design strategies. The original glass panels in the movable facade system could today be replaced with photovoltaic panels, adding energy generation to their shading function - a good example of how such systems can evolve to serve multiple purposes while maintaining operational simplicity.



INTERACTIVE FACADES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Short Survey

Student: Mariana Inácio Candeias

up201907137@g.uporto.pt

(+351)924417006

Identification (Name, Institution)

Architect Michael Miscamble, UAP (personal opinion)

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

At the time of writing this, the construction sector contributes approximately 11% of annual global CO₂ emissions, however, another 28% through building operations. Architects play a key role with designing buildings to reduce both construction and operational CO₂ emissions. Architects can provide leadership with clients and collaborators to establish an agreed sustainability agenda for the project. As a guiding light and benchmark for siting, efficiency, consumption and material selection, Architects can play a critical role to ensure design, construction and occupation reduces climate change impacts.

2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?

Most simply, windows and doors act as architectural interactivity to mediate climate with interior comfort. Today's Building Energy Management Systems (BEMS) are capable of regulating and optimising internal comfort requirements depending on building class complexity and requirements. While these technological solutions can be programmed and spatially integrated with the architecture, traditional thermal efficiencies, facade design, natural ventilation, and orientation can contribute a lion's share of maintaining occupant comfort minimising energy use.

3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

Interactive Architecture that relies on systems, sensors, automation, monitoring, and maintenance can contribute to a technological solution as part of the architectural consideration. In and of itself, it is not an answer but part of an appropriate solution, depending on occupational requirements. Let's say we compare a museum to a hospital or a school; individual human occupants with various lighting, temperature, and acoustic comfort levels grouped within collective environments are always tricky to achieve. Given its humidity and light control constraints, the museum would be a more appropriate case for interactivity over a school. Automation with interactivity may be challenged by these variables, but as always, as much as without.

4. Do you know examples where interactivity has been applied to facades to improve the sustainability of the building? What can be done to make them more popular?

The Al Bahar Towers comes to mind as an example of an interactive facade that looks like it is seeking to be a sustainable building with a core driver to reduce heat load from extreme temperatures; however, postoccupancy analysis and stakeholder review seem to point to the complexity of such highly technical systems as problematic with contractor and engineering consultants. The lessons learned with this early prototype could lead to more streamlined and efficient construction and maintenance outcomes. As alluded to earlier, individual control over one's environment and visual-aspect, are key satisfaction markers that must be addressed with automated and interactive facade interfaces with the environment.



INTERACTIVE FACADES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Short Survey

Student: Mariana Inácio Candeias

up201907137@g.uporto.pt

(+351)924417006

Identification (Name, Institution)

Arquiteto Gonçalo Castro Henriques, FAU-UFRJ, LAMO

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

O arquiteto tem um papel crucial, na utilização das novas tecnologias, para tornar o planeta, um lugar mais sustentável, mais ecológico e mais belo. A adoção e desenvolvimento de tecnologias ecológicas, de bio-ecologias é fundamental para desenvolver cidades e habitações capazes de produzir a energia que necessitam e promover boas condições para atividade humana. A boa arquitetura pode neste sentido minorar também as alterações climáticas.

2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?

A interatividade está relacionada com a capacidade de interação, de adaptação para permitir melhores ambientes, e que se adequem melhor ao ser humano, num sentido holístico. Costumo dizer que temos dois tipos de adaptação: adaptação passiva e ativa. Como exemplo, podemos desenvolver com algoritmos genéticos uma forma esttica, altamente adaptada ao seu contexto. Caso precisemos de adaptar essa casa em tempo real, com mecanismo dinâmicos, num sistema *sentiente*, podemos aplicar adaptação dinâmica. Também podemos ter ambos os tipos de adaptação aplicados em simultâneo. Mas diria que uma arquitetura interativa por si só pode não ser mais evoluída, se não resultar num edifício melhor e mais ecológico, por exemplo.

3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

Acredito que a Arquitetura por si pode ser uma ótima resposta à crise climática. A questão de ser interativa, por si só não chega para ser uma resposta completa  crise climática. Desenvolvendo melhor esta ideia, a interatividade precisa ser coordenada para que se gaste menos energia e recursos para que se obtenha melhores condições, com menos recursos, o que está associado com a economia, no sentido mais lato, que se aproxima de ecologia.

4. Do you know examples where interactivity has been applied to facades to improve the sustainability of the building? What can be done to make them more popular?

Sim desenvolvi o sistema Tetra Script, com objetivo de criar uma pele tipo interface, que permita recriar melhores condições internas de iluminacia, contraste visual. Ver o artigo *Strategies to control daylight in a*

responsive skylight system www.researchgate.net/publication/257371544. E ver também um artigo sobre sistemas responsivos: *Responsive Systems: Foundations and Application - The importance of defining meta-systems and their methods* www.researchgate.net/publication/306413130. Entendo que para popularizar estratégias deste tipo precisamos também de trabalhar com o desenvolvimento de materiais e de processos de fabricação num todo integrado.

APÊNDICE II – BASE DE DADOS

Casos de Estudo Elegíveis - Amostra

[illegible]

Casos de Estudo Não Elegíveis

[illegible]

52 Casos de Estudo

Antes de 1999	Depois de 1999
Não são sistemas inteligentes, são passivos	Pioram a eficiência global do edifício
Não são uma parte significativa da superfície do edifício	Não são sistemas Inteligentes, são Bio-reativos
A construção ainda não está concluída	

APÊNDICE III – CASOS DE ESTUDO

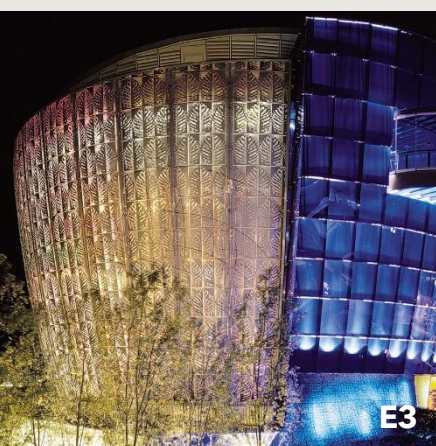
Fichas técnicas – Base de Dados



NOME: GSW Headquarters ANO: 1995-1999
LOCALIZAÇÃO: Berlim -Kreuzberg, Alemanha
CLIENTE: GSW Gemeinnützige Siedlungs- und Wohnungsbau- Gesellschaft Berlin mbH
CATEGORIA: Escritório, comércio
ARQUIETETURA: Sauerbruch Hutton
ENGENHARIA: Götz/Gefatec/Eternit, HRA Berlin GmbH, Ove Arup & Partner
MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio, vidro
INTERATIVO: Sol
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – Fachada dupla ventilada com painéis móveis
MEDIDAS DA OBRA: 48000m² área bruta, 24500 m² área útil (81,5m altura) – 85,6M€



NOME: NORDIC EMBASSIES
ANO: 1995-1999
LOCALIZAÇÃO: Berlim, Alemanha
CLIENTE: Five Nordic Countries
CATEGORIA: Governamental
ARQUIETETURA: Berger & Parkkinen
ENGENHARIA: IGH Ingenieurgesellschaft Höpfner; DEWI Ingenieurbüro (Fachada)
MATERIAIS EMPREGADOS: Metal
INTERATIVO: Luminosidade
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – eixo de rotação horizontal
MEDIDAS DA OBRA: 15551m²



NOME: Cyclebowl (EXPO 2000) ANO: jun 2000 – out 2000
LOCALIZAÇÃO: Hannover, Alemanha
CLIENTE: Duales System Deutschland AG
CATEGORIA: Exposição
ARQUIETETURA: ATELIER BRÜCKNER
ENGENHARIA: IPL Ingenieurplanung Leichtbau GmbH; Arup Ingenieure; Baustatik Relling
MATERIAIS EMPREGADOS: ETFE-foil
INTERATIVO: Luminosidade
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: 28 almofadas transparentes de membrana de 3 camadas, com sistema pneumático
MEDIDAS DA OBRA: 1600m²

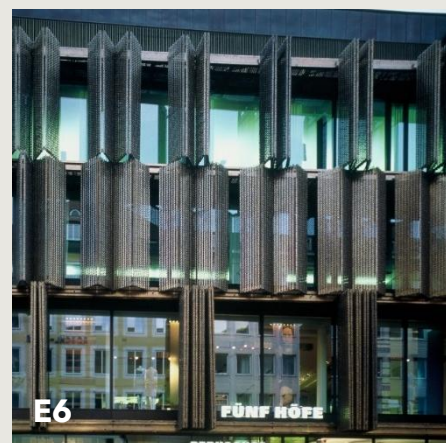
NOME: Quadracci Pavilion – Milwaukee Art Museum
ANO: dez 1996- maio 2001
LOCALIZAÇÃO: Milwaukee, Wisconsin, EUA
CLIENTE: Museu de Arte de Milwaukee
CATEGORIA: Cultural, Museu (centro educativo, conferências, escritórios, auditório, restaurante)
ARQUITETURA: Santiago Calatrava
ENGENHARIA: GRAEF, John Kissinger
MATERIAIS EMPREGADOS: Aço
INTERATIVO: Sol
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Forma e movimento de asas - 72 alhetas/vigas
MEDIDAS DA OBRA: 13.197m² – 109,5M€



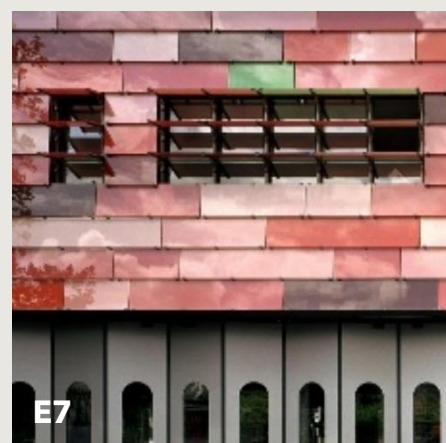
NOME: Expansão EURAC Research, Academia Europeia de Bozen
ANO: 1995 - 2003
LOCALIZAÇÃO: Bolzano, Itália
CLIENTE: Província Autónoma de Bolzano
CATEGORIA: Laboratório, Educacional
ARQUITETURA: Kadawittfeldarchitektur Aachen; Klaus Kada; HPP Architekten
ENGENHARIA: Fankhänel e Müller
MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Alumínio
INTERATIVO: Luminosidade
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – translação e eixo de rotação horizontal, persianas
MEDIDAS DA OBRA: 3.450 m² - 47,85M€

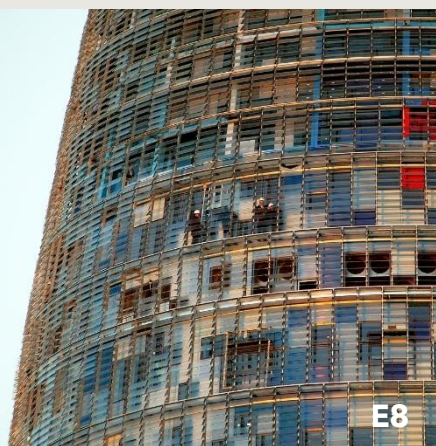


NOME: Fünf Höfe, Five Courtyards
ANO: 1994 – 2003
LOCALIZAÇÃO: Munique, Alemanha
CLIENTE: Fünf Höfe GmbH & Co. (HVB Immobilien AG)
CATEGORIA: Comercial
ARQUITETURA: Herzog & de Meuron; Memmert & Partner (Fachada)
ENGENHARIA: Obermeyer Planen + Beraten; KBP Ingenieure GmbH
MATERIAIS EMPREGADOS: Bronze
INTERATIVO: Luminosidade
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL:
MEDIDAS DA OBRA: 78000m² ab – >20M€



NOME: Fire and Police Station
ANO: jan 2001 – jun 2004
LOCALIZAÇÃO: Berlim, Alemanha
CLIENTE: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen
CATEGORIA: Governamental; Quartel de bombeiros, esquadra de polícia, edifício cívico
ARQUITETURA: Sauerbruch Hutton Architekten; Schälerbau Berlin GmbH (Fachada)
ENGENHARIA: Alexander Schmidt-Narischkin; Arup
MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro
INTERATIVO: Luminosidade
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – eixo horizontal, persinas retangulares
MEDIDAS DA OBRA: 6.900 m² ab – 11,8M€





NOME: Agbar Tower

ANO: 1999- jun 2005

LOCALIZAÇÃO: Barcelona, Espanha

CLIENTE: AGBAR Societat General d'Aigües de Barcelona, SA

CATEGORIA: Escritório, Centro de Conferências

ARQUITETURA: Jean Nouvel and Fermín Vázquez

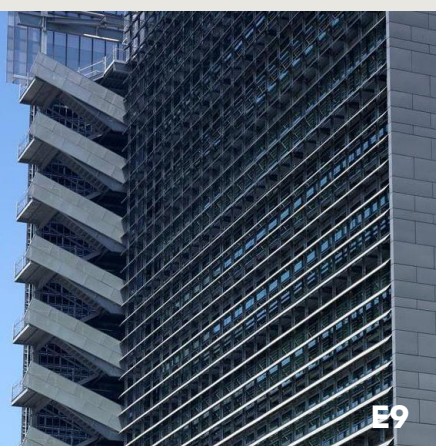
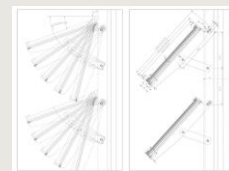
ENGENHARIA: R. Brufau & A. Obiol; Gepro BOMA; Biosca&Botey (Fachadas)

MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro

INTERATIVO: Temperatura e Luminosidade

TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – Estores horizontais com controlo do ângulo das lâminas

MEDIDAS DA OBRA: 50906 m², 33210m² de 32 pisos de escritório acima da terra (142m altura) – 132M€



NOME: Caltrans District 7 Headquarters

ANO: 2002-2005

LOCALIZAÇÃO: Los Angeles, Califórnia, Estados Unidos da América

CLIENTE: Estado da Califórnia, Departamento de Serviços Gerais

CATEGORIA: Governamental, Escritórios (Centro de conferências, Espaço de exposições, Comércio, Centro de dia)

ARQUITETURA: Morphosis Architecture

ENGENHARIA: John A. Martin & Associates; Arup; Fuscoe Engineering, Inc.

MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio

INTERATIVO: Temperatura, Radiação Solar

TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – eixo horizontal, painéis de alumínio perfurado

MEDIDAS DA OBRA: 111,484 m² - 149M€



NOME: Hochschule für Technik und Wirtschaft Aalen (Aalen University Extension)

ANO: jun 2004 – jun 2006

LOCALIZAÇÃO: Aalen, Alemanha

CLIENTE: VBA Schwäbisch Gmünd

CATEGORIA: Educação

ARQUITETURA: MGF Architekten

ENGENHARIA: Ingenieurgruppe Bauen Karlsruhe

MATERIAIS EMPREGADOS: Madeira

INTERATIVO: Luminosidade

TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – lâminas pivotantes com eixo vertical

MEDIDAS DA OBRA: 8500m² – 27M€



NOME: Forum Chriesbach

ANO: 2004 – 2006

LOCALIZAÇÃO: Duebendorf, Suíça

CLIENTE: Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology

CATEGORIA: Escritório (conferências, exposições, biblioteca, cantina)

ARQUITETURA: Bob Gysin Partner BGP Architekten ETH SIA BSA

ENGENHARIA: Henauer Gugler, Zürich; Büchler + Partner, Zürich

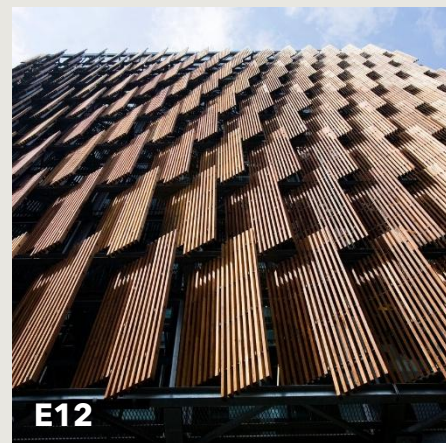
MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro

INTERATIVO: Radiação Solar

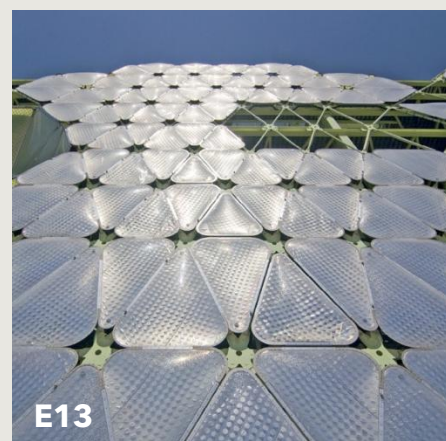
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - 1232 persianas de vidro azul (rodam em incrementos de 5° em torno do seu eixo vertical)

MEDIDAS DA OBRA: 8533m² – 31,6M€ - 88,7 kWh/m².a EP (128 kWh/m² a EF)

NOME: Council House 2 ANO: 2004-2006
 LOCALIZAÇÃO: Melbourne, Austrália
 CLIENTE: Cidade de Melbourne
 CATEGORIA: Escritório, Sede
 ARQUITETURA: City of Melbourne in association with Mick Pearce with DesignInc.
 ENGENHARIA: Bonacci Group, Lincolne Scott
 MATERIAIS EMPREGADOS: Ripas de madeira
 INTERATIVO: Sol
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - eixo vertical., cortinas de madeira reciclada não tratada, movidas por um sistema hidráulico controlado por computador
 MEDIDAS DA OBRA: 12536m² - 46,2M€ - ±60 kWh/m².a PF



NOME: Media-TIC ANO: 2007-2009
 LOCALIZAÇÃO: Barcelona, Catalunha, Espanha
 CLIENTE: Consorci de la Zona Franca, Barcelona
 CATEGORIA: Escritório (Armazém industrial, Incubadora de empresas, Indústria Comercial)
 ARQUITETURA: CLOUD 9, Enric Ruiz Geli
 ENGENHARIA: BOMA S.L., Agusti Obiols; PGI Engineering
 MATERIAIS EMPREGADOS: ETFE (Etileno Tetrafluor etileno)
 INTERATIVO: Temperatura, Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Deformação - Pele ETFE
 MEDIDAS DA OBRA: 23.104 m² - 20.791.486 € - 113,3 kWh/m².a EF



NOME: Museion - Museum of Modern and Contemporary Art of Bozen-Bolzano
 ANO: 2001 - maio 2008
 LOCALIZAÇÃO: Bolzano, Itália
 CLIENTE: Província Autónoma de Bolzano
 CATEGORIA: Cultural, Museu
 ARQUITETURA: KSV - Krüger Schubert Vandreike
 ENGENHARIA: Studio Tecnico Pohl; Rizzani de Eccher
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro
 INTERATIVO: Temperatura, Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - eixo horizontal, fachada dupla de vidro com lâminas móveis com acabamento mate
 MEDIDAS DA OBRA: 8.370 m² ab - 15M€



NOME: Manitoba Hydro Place ANO: ago 2005- sep 2009
 LOCALIZAÇÃO: Winnipeg, Manitoba, C
 CLIENTE: Manitoba Hydro
 CATEGORIA: Escritório, Torre
 ARQUITETURA: KPMB Architects (Arquitetos projetistas), Architecture49 (Arquiteto executivo)
 ENGENHARIA: Smith Carter Architects and Engineers Inc.; Crosier Kilgour/Halcrow Yolles
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro
 INTERATIVO: Temperatura, Vento
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional -Eixo horizontal, Janelas automatizadas
 MEDIDAS DA OBRA: 64.590m², 115m de altura - 184,3M€ - 85 kWh/m² PE





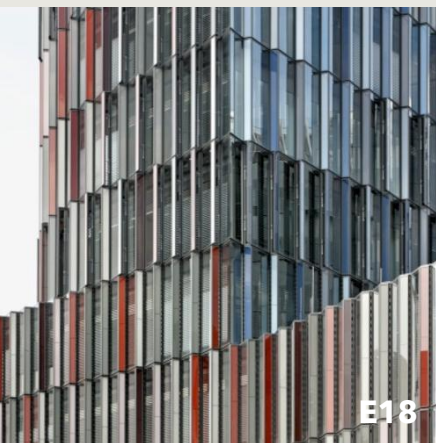
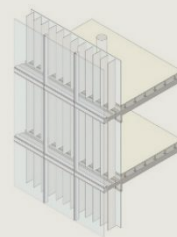
E16

NOME: Cologne Oval Offices ANO: 2007-2010
 LOCALIZAÇÃO: Cologne, Alemanha
 CLIENTE: DKV Deutsche Krankenversicherungs AG representada por MEAG Munich Ergo AssetManagement GmbH
 CATEGORIA: Escritórios
 ARQUITETURA: Sauerbruch Hutton Architects
 ENGENHARIA: Agne-Wahlen-Daubenbüchel (Climática - Transsolar Energietechnik)
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro colorido
 INTERATIVO: Sol
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: 5000 guarda-sóis coloridos
 MEDIDAS DA OBRA: 42.700 m² - 78M€ - 105kWh/m².a EP



E17

NOME: Palazzo Lombardia ANO: 2007 - jan 2010
 LOCALIZAÇÃO: Milão, Itália
 CLIENTE: Regione Lombardia (Infrastrutture Lombarde S.p.A.)
 CATEGORIA: Escritório
 ARQUITETURA: Pei Cobb Freed & Partners, Caputo Partnership
 ENGENHARIA: Thornton Tomasetti; Arup
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Alumínio
 INTERATIVO: Temperatura, Radiação Solar, Luminosidade.
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - rotação vertical, parede dupla de vidro com persianas no meio
 MEDIDAS DA OBRA: 72000m², 141000m² AB (161,3m altura) - 400M€ - 91 kWh/m².a



E18

NOME: KfW Westarkade ANO: mai 2007- jul 2010
 LOCALIZAÇÃO: Frankfurt, Alemanha
 CLIENTE: KfW Bankengruppe
 CATEGORIA: Complexo de Escritórios, Centro de Conferências
 ARQUITETURA: Sauerbruch Hutton (Matthias Sauerbruch, Louisa Hutton, Juan Lucas Young) & Architekten Theiss Planungsgesellschaft mbH
 ENGENHARIA: Werner Sobek Frankfurt GmbH & Co. KG; Reuter Rührgartner GmbH
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio, Vidro colorido, Moldura de betão
 INTERATIVO: Vento/Temperatura
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - Abas que abrem e fecham (double-layered, wind-pressurized)
 MEDIDAS DA OBRA: 39.100 m² (60,1m de altura) - 86M€ - 100 kWh/m².a PE



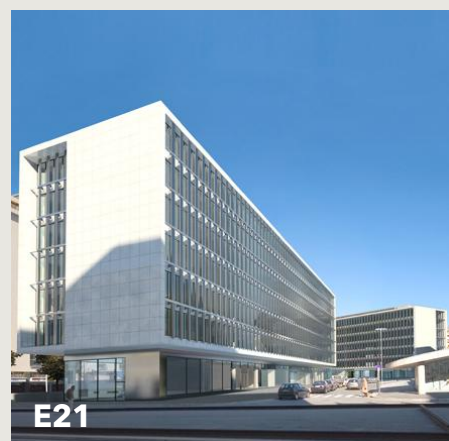
E19

NOME: Pixel ANO: jul 2010
 LOCALIZAÇÃO: Carlton, Melbourne, Austrália
 CLIENTE: Grocon Pty Ltd
 CATEGORIA: Comercial, Escritório
 ARQUITETURA: studio505
 ENGENHARIA: VDM Pty Ltd; Umow Lai & Associates
 MATERIAIS EMPREGADOS: Painéis compósitos de alumínio
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - eixo vertical, Painéis coloridos reciclados
 MEDIDAS DA OBRA: 1136.4 m² área bruta; 4 pisos -- 3,6M€ - 23 kWh/m².a EP (+84 kWh/m².a EP gerada)

NOME: SyracuseCoE
 ANO: 2010
 LOCALIZAÇÃO: Syracuse, Nova Iorque, EUA
 CLIENTE: Syracuse University Center of Excellence in Energy and Environmental Systems
 CATEGORIA: Escritórios, Laboratórios
 ARQUITETURA: Ashley McGraw Architects (Toshiko Mori, Joshua Uhl, Tilman Schmidt)
 ENGENHARIA: Arup; Stearns & Whelar
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - Fachada dupla de vidro com estores horizontais integrados, podendo funcionar com incrementos de 15 graus, de hora a hora.
 MEDIDAS DA OBRA: 5100m² - 37M€



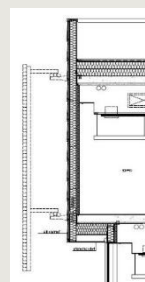
NOME: ADICAIS, Sede EDP Porto
 ANO: 2006 - 2011
 LOCALIZAÇÃO: Porto, Portugal
 CLIENTE: EDP
 CATEGORIA: Escritório, Comercial
 ARQUITETURA: APEL Arquitetura
 ENGENHARIA: afaplan
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - Laminas metálicas com eixo de rotação vertical
 MEDIDAS DA OBRA: 35 957m² ab - 4M€



NOME: F40 Office Building on Friedrichstreet (Friedrichstrasse 40)
 ANO: mar 2011
 LOCALIZAÇÃO: Berlim, Alemanha
 CLIENTE: ANH Hausbesitz GmbH & Co.KG
 CATEGORIA: Escritório
 ARQUITETURA: Petersen Architekten GESELLSCHAFT FÜR ARCHITEKTUR + URBANE STRATEGIEN; Dipl.-Ing. Christian Gerber
 ENGENHARIA: Ingenieurbüro Bauwesen Horn
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro
 INTERATIVO: Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - eixo vertical, lamelas de vidro verticais
 MEDIDAS DA OBRA: 1640m² ab - 3,3M€



NOME: Kuggen
 ANO: 2007 - mar 2011
 LOCALIZAÇÃO: Gotemburgo, Suécia
 CLIENTE: Chalmersfastigheter AB
 CATEGORIA: Escritório
 ARQUITETURA: Wingårdh Arkitektkontor
 ENGENHARIA: PEAB
 MATERIAIS EMPREGADOS: Células Fotovoltaicas, Metal, Painéis de vidro de terracota (cerâmica), Vidro, Alumínio.
 INTERATIVO: Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Painel/Ecrã fotovoltaico que corre, circundando os últimos 2 piso
 MEDIDAS DA OBRA: 5350 m² (4898 m² área útil) - 50000€ - 60 kWh/m² (73 kWhpe/m².a - 42 kWhfe/m².a)

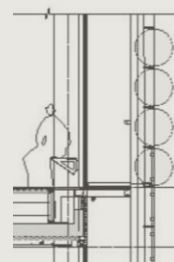




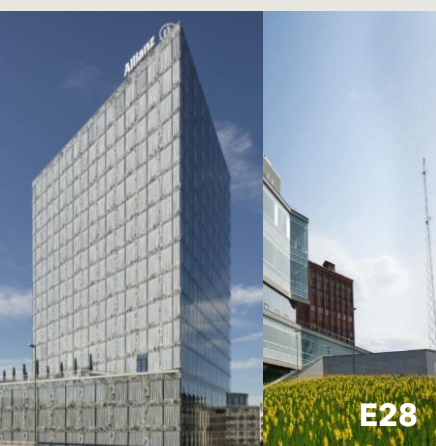
NOME: Q2, Forum Thyssenkrupp Quarter ANO: 2007-2011
 LOCALIZAÇÃO: Essen, Alemanha
 CLIENTE: ThyssenKrupp Real Estate GmbH
 CATEGORIA: Escritórios (Conferência, Evento, Cantina, Cafeteria, Sala do Silêncio)
 ARQUITETURA: JSWD Architekten + Chaix&Morel et Associés (Ingenieurbüro Franke- consultores da fachada)
 ENGENHARIA: IDN Ingenieurbüro
 MATERIAIS EMPREGADOS: Aço inoxidável
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - eixo vertical, placas perfuradas biseladas
 MEDIDAS DA OBRA: - 15000€



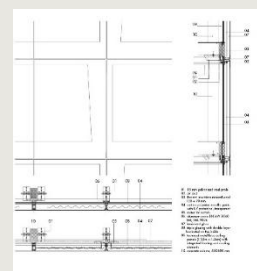
NOME: RMIT Design Hub (Royal Melbourne Institute of Technology)
 ANO: 2007-mai 2012
 LOCALIZAÇÃO: Melbourne, Austrália
 CLIENTE: RMIT University
 CATEGORIA: Educacional, institucional, cultural
 ARQUITETURA: Sean Godsell Architects, Peddle Thorp Architects
 ENGENHARIA: AECOM; Felicetti
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro areado, Alumínio e Aço
 INTERATIVO: Sol
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - discos lúcidos circulares
 MEDIDAS DA OBRA: 13000m2



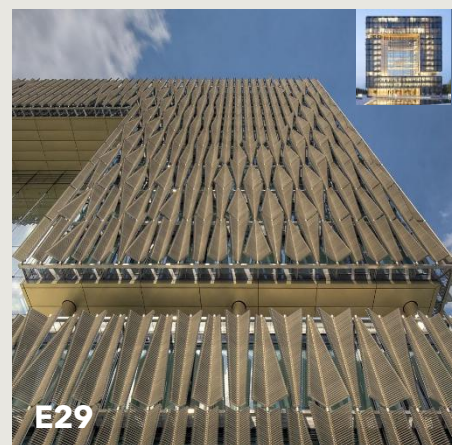
NOME: Thematic Pavilion Expo Yeosu (One Ocean)
 ANO: set 2010- apr 2012
 LOCALIZAÇÃO: Yeosu, Coreia do Sul
 CLIENTE: Comitê Organizador da EXPO Yeosu 2012
 CATEGORIA: Exposição
 ARQUITETURA: soma ZT GmbH
 ENGENHARIA: Brandstätter ZT GmbH (Climática - Transsolar; Fachada Cinética - Knippers Helbig GmbH)
 MATERIAIS EMPREGADOS: polímero reforçado com fibra de vidro
 INTERATIVO: Sol
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Material Flexível
 MEDIDAS DA OBRA: 5657 m² - 27,1M€



NOME: Allianz Headquarters ANO: 2008-2014
 LOCALIZAÇÃO: Wallisellen, Zurique, Suíça
 CLIENTE: Allreal Generalunternehmung AG, Allianz Suisse
 CATEGORIA: Escritório
 ARQUITETURA: WAA (Wiel Arets, Felix Thies, Maik Ilmer)
 ENGENHARIA: GKP Fassadentechnik AG, R+B Engineering AG, Jäger Partner Bauingenieure AG, GRP Ingenieure
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Alumínio, Prata
 INTERATIVO: Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Unidimensional - Fachada dupla de vidro de "cavidade fechada" com sistema interior de cortinas de alumínio revestidas a prata
 MEDIDAS DA OBRA: 72.000 m2



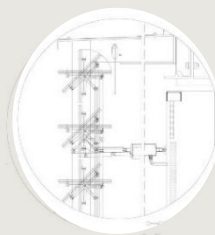
NOME: Q1 Thyssenkrupp Quarter ANO: 2008-2014
 LOCALIZAÇÃO: Essen, Alemanha
 CLIENTE: Thyssenkrupp AG, Essen
 CATEGORIA: Escritórios (Conferência, Evento, Restaurante, Cafeteria, Centro de dia)
 ARQUITETURA: JSWD Architekten + Chaix&Morel et Associés (Priedemann Fassadenberatung GmbH, Berlin und Werner Sobek – consultores da fachada)
 ENGENHARIA: IDN Ingenieurbüro
 MATERIAIS EMPREGADOS: Aço
 INTERATIVO: Sol
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – eixo vertical, 280 000 finas lamelas de aço inoxidável
 MEDIDAS DA OBRA: 11 048,494 m² (50,292m) - 85.2M€ - 139,6 kWh/m².a EP



NOME: SDU'S Campus Kolding ANO: 2009-2014
 LOCALIZAÇÃO: Kolding, Dinamarca
 CLIENTE: The Danish University and Property Agency
 CATEGORIA: Educação
 ARQUITETURA: Henning Larsen; Kristine Jensen (paisagista)
 ENGENHARIA: Orbicon
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Alumínio, Aço inox
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – rotação vertical, 1600 persianas de aço triangulares
 MEDIDAS DA OBRA: 13,700 m² - 38M€ (2.750 m²) - 38 kWh/m².a EP



NOME: Head Office of AGC Glass Europe ANO: 2010-2014
 LOCALIZAÇÃO: Louvain-La-Neuve, Bélgica
 CLIENTE: AGC Glass Europe; delegated client: Van Roey Vastgoed n.v.
 CATEGORIA: Escritório
 ARQUITETURA: Philippe SAMYN and PARTNERS
 ENGENHARIA: Philippe SAMYN and PARTNERS, SETESCO (INGENIEURSBUREAU MEIJER), FTI
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, serigrafia
 INTERATIVO: Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – eixo vertical/horizontal, estores de vidro duplo com superfície tratada e impressa com faixas alternadas de branco (serigrafia)
 MEDIDAS DA OBRA: 10.923 m² acima do nível do solo, 6.383 m² de estacionamento - ±25M€



NOME: Enervie Headquarters ANO: ago 2012 - mai 2014
 LOCALIZAÇÃO: Hagen, Alemanha
 CLIENTE: Enervie Südwestfalen Energie und Wasser AG
 CATEGORIA: Escritório
 ARQUITETURA: JSWD Architects
 ENGENHARIA: DBS Engineers; W + P Engineers, Gebr. Schmidt Bauunternehmen AG; IDK Kleinjohann
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio
 INTERATIVO: Sol
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – eixo horizontal, 2000 Großlouvre da Knapp; ripas verticais perfuradas
 MEDIDAS DA OBRA: 21.200 m² - 50M€ - 173,7 kWh/m².a

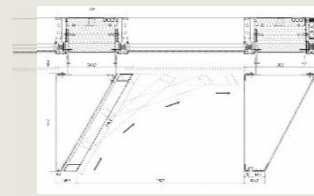




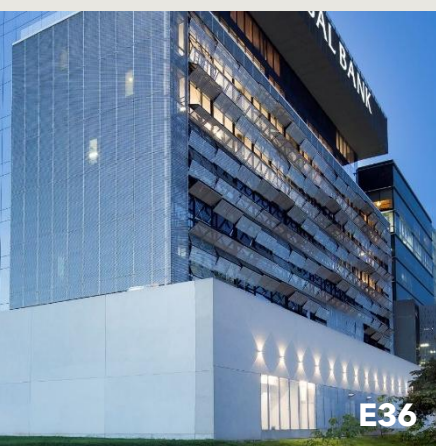
NOME: CJ Blossom Park ANO: 2010-mar 2016
 LOCALIZAÇÃO: Suwon, Gyeonggi Province, Coreia do Sul
 CLIENTE: CJ Cheiljedang Corporation
 CATEGORIA: Escritório, Sede, Laboratórios
 ARQUITETURA: Yazdani Studio, CannonDesign, Heerim Architects and Planners
 ENGENHARIA: Heerim Architects & Planners; ARUP
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio, Aço, Vidro
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - painéis de chapa de alumínio pintados e perfurados dobrados sobre estrutura de aço e estabilizadores
 MEDIDAS DA OBRA: 111500m²



NOME: Maersk Tower ANO: 2010-2017
 LOCALIZAÇÃO: Blegdamsvej, Copenhagen, Dinamarca
 CLIENTE: The Danish Property Agency, University of Copenhagen; supported by the A.P. Møller Foundation
 CATEGORIA: Educação
 ARQUITETURA: C.F. Møller Architects
 ENGENHARIA: Rambøll
 MATERIAIS EMPREGADOS: Cobre
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - persianas verticais
 MEDIDAS DA OBRA: 42,700 m² - 214M€ - 40 kWh/m².a EP



NOME: Customer Center Bosch Automotive Steering
 ANO: out 2012 - mar 2019
 LOCALIZAÇÃO: Schwäbisch Gmünd, Alemanha
 CLIENTE: Robert Bosch Automotive Steering GmbH
 CATEGORIA: Escritórios
 ARQUITETURA: wulf architekten; COLT International (fachada)
 ENGENHARIA: wh-p GmbH; Alber & Schulze Baumanagement GmbH
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio
 INTERATIVO: Temperatura, Radiação Solar, Luminosidade, Vento
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - rotação de eixo vertical, lâminas perfuradas
 MEDIDAS DA OBRA: 32422 m²

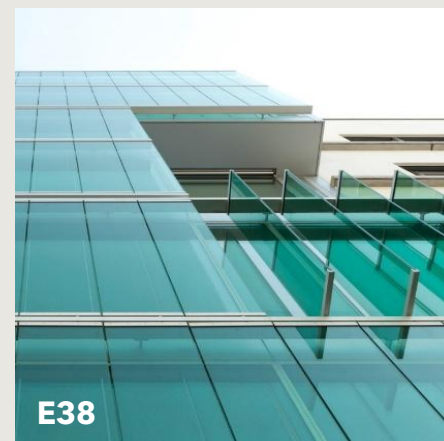


NOME: Global Bank Santa Maria
 ANO: 2014 - 2019
 LOCALIZAÇÃO: Santa María, Cidade do Panamá, Panamá
 CLIENTE: Global Bank
 CATEGORIA: Escritório, Comercial
 ARQUITETURA: Forza Creativa, Eduardo Quintero; Gradhermetic (Fachada)
 ENGENHARIA: I Group Investment
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio
 INTERATIVO: Radiação Solar, Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - painéis perfurados dobráveis horizontalmente
 MEDIDAS DA OBRA: 26700m²

NOME: Hive House
ANO: 2015-2019
LOCALIZAÇÃO: Surat, Índia
CLIENTE: Kamalbhai Mistry
CATEGORIA: Residencial
ARQUITETURA: OpenIdeas Architects
ENGENHARIA: Ensemble, WNeuron
MATERIAIS EMPREGADOS: Aço inoxidável com revestimento em pó
INTERATIVO: Radiação Solar
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Unidimensional - Inspirado nas portas de autocarro
MEDIDAS DA OBRA: 600m²



NOME: Building H - UN Geneva
ANO: 2021
LOCALIZAÇÃO: Genebra, Suíça
CLIENTE: Nações Unidas
CATEGORIA: Escritório
ARQUITETURA: Skidmore, Owings & Merrill (SOM), Burckhardt + Partner
ENGENHARIA: SOM, Ingeni Ingenierie Structurale
MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Alumínio
INTERATIVO: Temperatura, Luminosidade
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - eixo horizontal, fachada dupla de vidro com estores móveis e ajustáveis
MEDIDAS DA OBRA: 600m²

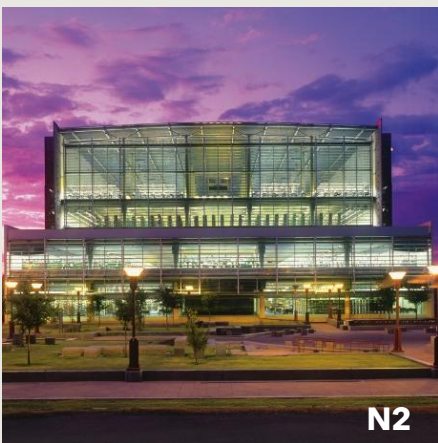


NOME: PARAL-LEL
ANO: 2020-2023
LOCALIZAÇÃO: Palma de Maiorca, Espanha
CLIENTE: Vivendes Bonanova SL
CATEGORIA: Residencial
ARQUITETURA: OHLAB / Paloma Hernaiz; Jaime Oliver
ENGENHARIA: DICAES; INGENIO consultores; GRUPO GUBIA
MATERIAIS EMPREGADOS: Madeira
INTERATIVO: Sol
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - portadas rebatíveis de ripas horizontais
MEDIDAS DA OBRA: 2800m²



OME: Institut du Monde Arabe
ANO: 1981-1987
LOCALIZAÇÃO: Paris, França
CLIENTE: Instituto do Mundo Árabe
CATEGORIA: Museu e Centro cultural
ARQUITETURA: Jean Nouvel, Architecture-Studio, Pierre Soria and Gilbert Lezenes
ENGENHARIA: Goppion
MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Alumínio, Aço inox
INTERATIVO: Luminosidade
TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Unidimensional - 240 quebra-sóis com 180x180 cm
MEDIDAS DA OBRA: 5000m² (32m altura) - 52M€





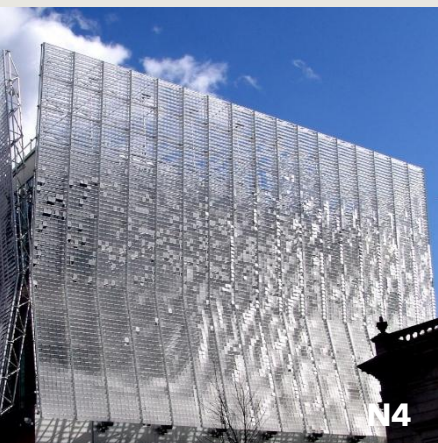
N2

NOME: Burton Barr Central Library
 ANO: 1989-1995
 LOCALIZAÇÃO: Phoenix, Arizona, EUA
 CLIENTE: Phoenix Public Library
 CATEGORIA: Cultural, Cívico - Biblioteca pública
 ARQUITETURA: bruderDWLarchitects
 ENGENHARIA: Ove Arup & Partners
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Aço inoxidável
 INTERATIVO: Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Persianas horizontais
 MEDIDAS DA OBRA: 26000m² - aproximadamente 25M€



N3

NOME: National Library of France
 ANO: 1989-1995
 LOCALIZAÇÃO: Paris, França
 CLIENTE: França
 CATEGORIA: Cultural, Biblioteca
 ARQUITETURA: Dominique Perrault Architecture
 ENGENHARIA: Eric Jacobsen; HGM Guy Huguet; Perrault Associes
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Madeira
 INTERATIVO: Luminosidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - perfis de madeira verticais com eixo de rotação
 MEDIDAS DA OBRA: 365173 m² - 1165,46M€



N4

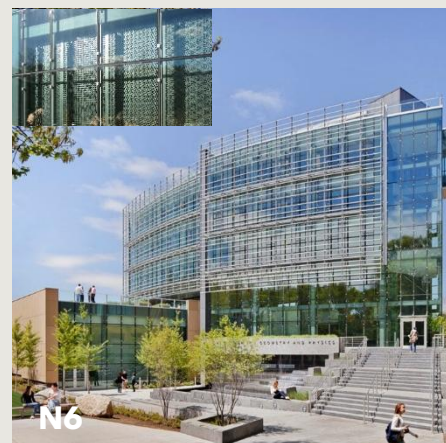
NOME: Articulated Cloud - Children's Museum of Pittsburgh
 ANO: 2003 - 2004
 LOCALIZAÇÃO: Pittsburgh, Pennsylvania, EUA
 CLIENTE: Children's Museum of Pittsburgh
 CATEGORIA: Cultural, Museu
 ARQUITETURA: Koning Eizenberg Architecture; Perkins Eastman; (Fachada: Ned Kahn)
 ENGENHARIA: Procore
 MATERIAIS EMPREGADOS: aço inoxidável, alumínio, acrílico
 INTERATIVO: Vento
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: quadrados de cinco polegadas, articulados no topo
 MEDIDAS DA OBRA: 8000m² - 20M€



N5

NOME: Kiefer Technic Showroom
 ANO: verão de 2007
 LOCALIZAÇÃO: Graz, Áustria
 CLIENTE: Kiefer technic GmbH
 CATEGORIA: Escritórios, exposição
 ARQUITETURA: Ernst Giselsbrecht + Partner ZT GmbH
 ENGENHARIA: Planungsbüro Greile, 9330 Althofen, CMB GmbH, 8330 Feldbach
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio perfurado
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - elementos dobráveis, acionados eletricamente
 MEDIDAS DA OBRA: 545 m² - 342 kWh/m².a EF

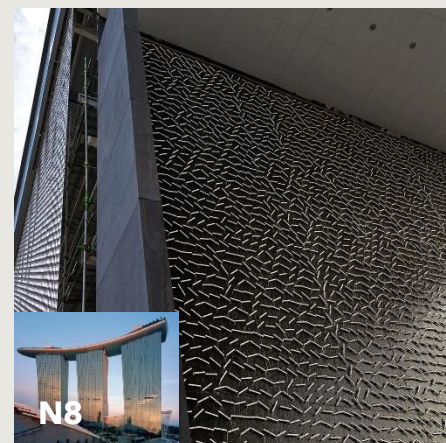
NOME: Simons Center for Geometry & Physics
 ANO: Jan 2009-sep 2010
 LOCALIZAÇÃO: Long Island, Nova Iorque, EUA
 CLIENTE: State University of New York at Stony Brook
 CATEGORIA: Educação
 ARQUITETURA: Perkins Eastman / ABI; Chuck Hoberman
 ENGENHARIA: Zahner
 MATERIAIS EMPREGADOS: Aço inoxidável perfurado
 INTERATIVO: Sol
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Unidimensional – Superfície metálica com 4 camadas de painéis, três das camadas são motorizadas para abrir e fechar com base nos requisitos de temperatura.
 MEDIDAS DA OBRA: 3100m² - 26,8M€



NOME: Viikin Ympäristötalo / nZEB Office Building Ympäristötalo
 ANO: 2009-2011
 LOCALIZAÇÃO: Helsínquia, Finlândia
 CLIENTE: Cidade de Helsínquia, Centro Ambiental da Cidade de Helsinque
 CATEGORIA: Escritórios
 ARQUITETURA: Ab Case Consult Ltd, Kimmo Kuismanen
 ENGENHARIA:
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, Painéis Fotovoltaicos
 INTERATIVO: Temperatura, Vento, Chuva, Usuário
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Dupla fachada de vidro com janelas motorizadas
 MEDIDAS DA OBRA: 6 791 m² (6 390 m² al) - 16,5M € - 85 kWh/m².a EP

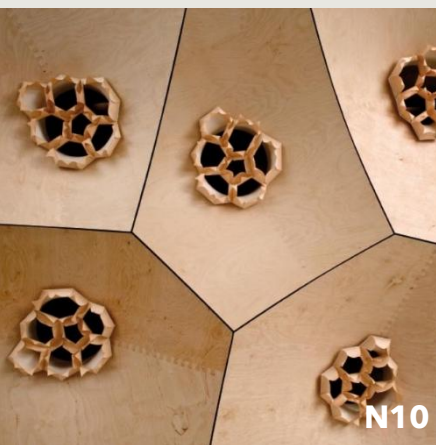


NOME: Tipping Wall / Marina Bay Sands
 ANO: 2011
 LOCALIZAÇÃO: Marina Bay, Singapura (Hotel Tower 3)
 CLIENTE: Las Vegas Sands Corporation
 CATEGORIA: Hotéis, Escritórios, Restaurantes e bares, Espaços de convenções e Exposição
 ARQUITETURA: NED KAHN STUDIOS / Safdie Architects
 ENGENHARIA: NED KAHN STUDIOS / Arup
 MATERIAIS EMPREGADOS: Betão, Vidro, Aço
 INTERATIVO: Água
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Unidimensional - 10.000 canais metálicos articulados
 MEDIDAS DA OBRA: 845,000 m² - 5129M€



NOME: Turbulent Line - Brisbane Domestic Airport Carpark
 ANO: 2012
 LOCALIZAÇÃO: Brisbane, Austrália
 CLIENTE: Brisbane Airport Corporation and Hassell
 CATEGORIA: Estacionamento
 ARQUITETURA: Urban Art Projects (UAP), Ned Kahn
 ENGENHARIA: Inhabit
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio, Aço
 INTERATIVO: Vento
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional – oscilação horizontal, 117 000 painéis suspensos
 MEDIDAS DA OBRA: ±147000m² - fachada 5000m² - 8 pisos





N10

NOME: HygroSkin - Meteorosensitive Pavilion ANO: 2011-2013
 LOCALIZAÇÃO: Permanent Collection, FRAC Centre Orleans, Orleans, França
 CLIENTE: FRAC Centre Orleans
 CATEGORIA: Exposição
 ARQUITETURA: Achim Menges Architect, Steffen Reichert, Boyan Mihaylov
 ENGENHARIA: Não se aplica
 MATERIAIS EMPREGADOS: Madeira
 INTERATIVO: Humidade
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - Natural, folhas de madeira pura
 MEDIDAS DA OBRA: 24,1384m² (2,97m altura, 4,22m largura, 5,72 comprimento)



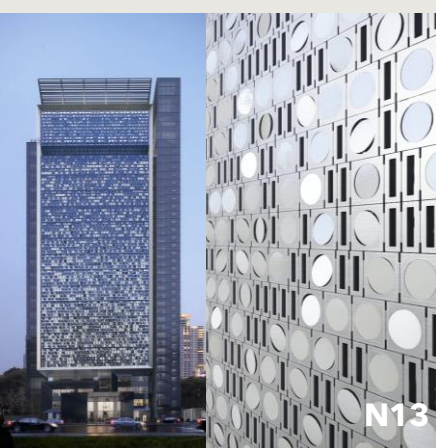
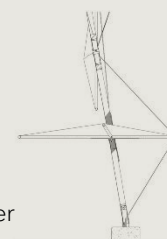
N11

NOME: BIQ - Das Algenhaus (The Clever Treefrog)
 ANO: dez 2011 - abr 2013
 LOCALIZAÇÃO: Hamburgo, Alemanha
 CLIENTE: KOS Wulff Immobilien GmbH; Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development, Germany
 CATEGORIA: Habitação
 ARQUITETURA: SPLITTERWERK Architects
 ENGENHARIA: Arup; Bollinger und Grohmann; B+G Ingenieure; Colt
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: fachada de biorreator de algas, PBR (fotobiorreactores) para o cultivo de microalgas.
 MEDIDAS DA OBRA: 1600 m² - 4,5M€



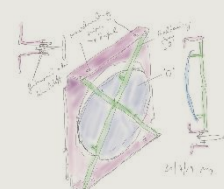
N12

NOME: Hazza Bin Zayed Stadium
 ANO: abr 2011 - mai 2014
 LOCALIZAÇÃO: Al Ain, EUA
 CLIENTE: BAM International (Abu Dhabi)
 CATEGORIA: Estádio
 ARQUITETURA: Pattern Design
 ENGENHARIA: Thornton Tomasetti, schlaich bergemann partner
 MATERIAIS EMPREGADOS: Vidro, PTFE, Aço
 INTERATIVO: Radiação Solar
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Bidimensional - painéis de membrana em losango, com eixo de rotação horizontal
 MEDIDAS DA OBRA: 46000m² - 145M€



N13

NOME: Qianhai Telecommunication Center (TCC)
 ANO: 2018-Projeto em curso
 LOCALIZAÇÃO: Qianhai, Shenzhen, China
 CLIENTE: Shenzhen Qianhai Development Investment Holding Co., Ltd
 CATEGORIA: Escritório/administração, Industrial, Data Center
 ARQUITETURA: Michael Schumacher, schneider+schumacher
 ENGENHARIA: China Northeast Architectural Design & Research Institute co., Ltd
 MATERIAIS EMPREGADOS: Alumínio anodizado
 INTERATIVO: Vento
 TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Tridimensional - círculos com eixo de rotação variável,
 MEDIDAS DA OBRA: 70.000 m²



Referências

(consultadas entre 5/08/2024 a 17/09/2024)

E1

<https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/gsw>
(imagem)

<https://en.wikiarquitectura.com/building/gsw-headquarters/>

E2

<https://berger-parkkinen.com/en/nordic-embassies/>
(imagem)

<https://www.miesarch.com/work/1929>

E3

<https://www.atelier-brueckner.com/en/projects/cyclebowl> (imagem)

<https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=4228>

https://en.worldfairs.info/expopavillondetails.php?expo_id=21&pavillon_id=488

https://tu1403.eu/wp-content/uploads/Vol-3-1_for-web-Open-Access-9789463661102.pdf

E4

<https://mam.org/info/architecture/quadracci-pavilion/#overview>

<https://en.wikiarquitectura.com/building/quadracci-pavilion-milwaukee-art-museum/>

<https://www.dezeen.com/2022/09/14/santiago-calatrava-day-milwaukee-art-museum/> (imagem)

<https://www.milwaukeeimag.com/calatrava-revisits-his-milwaukee-designs-over-20-years-later/>

E5

<https://www.eurac.edu/en/about-us-aurac-research/headquarter> (imagem)

https://en.wikipedia.org/wiki/Eurac_Research

<https://www.baunetz-architekten.de/hpp/31535/news/4012323>

<https://www.frener-reifer.com/referenze/accademia-europea-aurac/>

<https://casestudies.uli.org/wp-content/uploads/2016/06/Agbar-Tower.pdf>

E6

<https://www.herzogdemeuron.com/projects/143-funf-hofe-five-courtyards-for-the-munich-city-centre/> (imagem)

<https://www.filt3rs.net/case/drilled-and-corrugated-folding-sliding-panels-hdm-587>

<https://www.kbp.de/en/projekt/fuenf-hoefe-5-courts-munich/>

<https://casestudies.uli.org/wp-content/uploads/2016/06/Agbar-Tower.pdf>

E7

<https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/fpr>
(imagem)

<https://www.archiweb.cz/en/b/policejni-stanice-a-pozarni-zbrojnice>

<https://www.miesarch.com/work/1922>

E8

<https://www.jeannouvel.com/projets/tour-agbar/>

<https://arquitecturaviva.com/obras/torre-agbar>

<https://b720.com/es/b720-projects/torre-agbar/>
(imagem)

<https://casestudies.uli.org/wp-content/uploads/2016/06/Agbar-Tower.pdf>

E9

<https://www.morphosis.com/architecture/13/> (imagem)

<https://www.oma.com/projects/caltrans-district-7-hq>

<https://www.archdaily.com/206947/flashback-caltrans-district-7-headquarters-morphosis>

E10

<https://www.mgf-architekten.de/en/projects/Hochschule-f%C3%BCr-Technik-und-Wirtschaft-Aalen> (imagem)

<https://blog.naver.com/designmecca/120051538793>

E11

<https://www.eawag.ch/en/about-us/sustainability/sustainable-building/forum-chriesbach/>
(imagem)

<https://www.bgp.ch/en/projects/eawag-forum-chriesbach-dubendorf#>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001957>

E12

<https://www.mickpearce.com/CH2.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Council_House_2

<https://architecteduul.com/architecture/council-house-2>
(imagem)

<https://architecteduul.com/wp-content/uploads/2021/02/ch2-snapshot-05-energy-systems.pdf>

E13

<https://www.ruiz-geli.com/projects/built/media-tic#content> (imagem)

<https://pt.wikiarquitectura.com/constru%C3%A7%C3%A3o/media-tic/>

<https://www.youtube.com/watch?v=7VSoUxvtiNo>

E14

<https://www.museion.it/en/pages/5354-about#the-collection>
<https://www.ksv-network.de/project/museion-museum-fur-moderne-und-zeitgenossische-kunst/#> (imagem)
<https://www.niceforyou.com/en/projects/museion>
<https://rde.it/en/projects/modern-and-contemporary-art-museum/>
<https://www.project-syntropy.de/en/portfolio-item/museion-art-museum-interactive-media-facade/>

E15

<https://www.kpmb.com/project/manitoba-hydro-place/> (imagem)
https://www.hydro.mb.ca/corporate/history/mh_place_design_and_construction/
https://en.wikipedia.org/wiki/Manitoba_Hydro_Place
https://heritage.enggeomb.ca/index.php/Manitoba_Hydro_Place
<https://la2030studio.net/2017/01/09/767/>
<https://www.hpbmagazine.org/content/uploads/2020/04/11F-Manitoba-Hydro-Place-Winnipeg-Canada.pdf>

E16

<https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/coo> (imagem)
<https://www.architecturalrecord.com/articles/7334-oval-offices>
<https://www.ajbuildingslibrary.co.uk/projects/display/id/3475>
<https://www.yumpu.com/en/document/view/14763450/cologne-oval-offices-sauerbruch-hutton>

E17

<https://www.pcf-p.com/projects/palazzo-lombardia/> (imagem)
<https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/2f9a6b44-913e-4043-9d1e-436cae5d04b/palazzo+lombardia+Numeri.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-2f9a6b44-913e-4043-9d1e-436cae5d04b-IDvgJRa>
<https://www.skyscrapercenter.com/building/palazzo-lombardia/2690>
<https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/961-life-cycle-energy-analysis-of-tall-buildings-design-principles.pdf>
https://tu1403.eu/wp-content/uploads/Vol-3-1_for-web-Open-Access-9789463661102.pdf

E18

<https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/kfw> (imagem)
<https://www.archdaily.com/316143/kfw-westarkade-sauerbruch-hutton>
<https://cnn3ey.wordpress.com/2014/09/24/blog-post-2-kfw-westerkade/>

E19

<https://www.studio505.com.au/work/project/pixel/8.html> (imagem)
https://www.studio505.com.au/uploads/media/downloads/1093_120801_Green_Source_Magazine_Pixel_Perfect_spread_sm.pdf
<https://cdn.archilovers.com/projects/4b28f524-bfac-47eb-93db-cc44f16bd2e4.pdf>

E20

<https://tmarch.com/syracuse-coe>
https://centerofexcellence.syracuse.edu/wp-content/uploads/2015/08/SyracuseCoE_LEED_Score_Card.pdf
<https://centerofexcellence.syracuse.edu/building-features/> (imagem)

E21

<https://www.schueco.com/pt/arquitectos/referencias/adicais-2979>
<https://portugal.edp.com/pt-pt/noticias/nova-sede-da-edp-no-porto>
<https://www.anteprojectos.com.pt/search/artigos/52833/edificio-sede-edp-porto?offset=10&limit=10> (imagem)
https://l2m.com.pt/static/projects/sede_edp.php#

E22

<https://petersenarchitekten.de/projekt/f40-geschaftshaus-an-der-friedrichstrasse/> (imagem)
<https://www.archdaily.com/139547/friedrichstrasse-40-office-building-petersen-architekten>
<https://www.heinze.de/architekturobjekt/f40-geschaftshaus-a-d-friedrichstrasse/11661845/>
<https://www.baunetzwissen.de/fassade/objekte/buero-verwaltung/geschaftshaus-f40-in-berlin-3547771>

E23

<https://www.wingardhs.se/fresh/6-3-kuggen>
<https://en.wikiarquitectura.com/building/kuggen/> (imagem)
<https://www.construction21.org/case-studies/h/kuggen-ecopilot-energenious-building-automation-system.html>

E24

<https://jswd.de/en/projects/forum-q2-thyssenkrupp-quartier> (imagem)
<https://www.archdaily.com/329962/q2-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associés>

E26

<https://www.seangodsell.com/rmit-design-hub>
<https://archello.com/project/rmit-design-hub>
<https://www.archdaily.com/335620/rmit-design-hub-sean-godsell>
<https://www.peterclarke.com.au/project/rmit-design-hub/> (imagem)

E27

https://soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2#

https://www.detail.de/de_en/one-ocean-thematic-pavilion-for-expo-2012-16339?srltid=AfmBOOpJ9u3wbduDybVcwZJ3W7WioZiKY7jWIX9_ZxE0O9rQRBq5Fh1a

<https://transsolar.com/projects/one-ocean-pavillon-expo-2012> (imagem)

<https://www.designcurial.com/news/austrian-practice-wins-design-competition-for-south-korea-expo-2012-pavilion>

E28

https://www.wielaretsarchitects.com/en/projects/allianz_headquarters/ (imagem)

<https://www.area-arch.it/en/allianz-headquarters%E2%80%A8-3/>

E29

<https://jswd.de/en/projects/thyssenkrupp-quartier> (imagem)

https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associes?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

https://www.researchgate.net/publication/301375554_Integrated_Project_Delivery_and_Total_Building_Automation_for_the_Nearly_Net-Zero-Energy_Q1_ThyssenKrupp_Headquarters

E30

<https://henninglarsen.com/projects/university-of-southern-denmark-campus-kolding> (imagem)

https://www.researchgate.net/publication/353351041_Analysis_and_Review_of_the_Kinetic_Facades_in_Kolding_Campus_South_Denmark_University

<https://www.iaacblog.com/programs/syddansk-universitet-en-kolding-kolding-denmark-2014-henning-larsen-architects/>

E31

<https://samynandpartners.com/portfolio/head-office-of-agc-glass-europe-5/> (imagem)

<https://samynandpartners.com/wp-content/uploads/2018/03/fiche-credit.pdf>

<https://miesarch.com/work/1887>

E32

<https://www.kevee.com/wp-content/uploads/2024/01/DBZ-12-2017-Zentrale-Enervie.pdf>

<https://jswd.de/en/projects/zentrale-der-enervie-ag> (imagem)

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Neubau_der_Zentrale_der_Enervie_AG_Hagen-3066330.html

<https://www.german-architects.com/pt/architecture-news/praxis/lichtfilter-mit-durchblick-1>

E33

<https://yazdanistudio.com/portfolio/cj-corporation-cj-blossom-park/> (imagem)

<https://www.theplan.it/eng/award-2018-Office-Business/cj-corporation-cj-blossom-park>

<https://yazdanistudioresearch.wordpress.com/2011/11/15/cj-rd-center-kinetic-facade/>

E34

<https://www.cfmoller.com/p/-en/udbygning-af-panum-komplekset-koebenhavns-universitet-i2732.html>

(imagem)

https://www.cfmoller.com/log/attachments_CFM/108/Maersk%20Tower%20-%20Booklet.pdf

<https://facademap.cbe.berkeley.edu/building/mersk-tower/>

<https://www.bbfiberbeton.dk/en/projects/maersk-tower>

E35

<https://www.wulfarchitekten.com/en/work/detail/show/customer-center-bosch-automotive-steering> (imagem)

<https://colt.info/de/de/projekte/bosch-schwaebisch-gmuend-vertikale-sonnenschutzfassaden/>

<https://www.archdaily.com/935721/bosch-automotive-steering-customer-center-wulf-architekten>

E36

<https://forzacreativa.net/global-bank-sm/>

<https://gradhermetic.com/pt/node/3271> (imagem)

<https://www.prensa.com/contenido-patrocinado/torre-global-bank-mejor-obra-del-ano-obra-excelsa-en-el-concurso-mejores-obras-de-arquitectura/>

E37

<https://openideas.co.in/portfolio/hive/> (imagem)

<https://homeadore.com/2020/07/29/hive-by-openideas-architects/>

<https://amazingarchitecture.com/houses/hive-sustainable-family-home-at-surat-gujarat-by-openideas>

E38

<https://www.istructe.org/structural-awards/projects/2022/united-nations-office-at-geneva-new-office-build/> (imagem)

<https://sites.ungeneva.org/shp/building-h/#smart-image>

<https://sites.ungeneva.org/shp/building-h/documents/Building-H-brochure.pdf>

https://www.youtube.com/watch?v=Mv-HdISh_zk

E39

<https://ohlab.net/en/project/paral%20b7lel/> (imagem)

<https://www.archdaily.com.br/br/1010856/edificios-paral-star-lel-ohlab>

N1

<https://www.imarabe.org/en/architecture>

https://www.detail.de/de_en/from-our-archives-high-tech-for-cultural-exchange-institut-du-monde-arabe-in-paris-1987 (imagem)
<https://ojmm.wordpress.com/wp-content/uploads/2009//institut-du-monde-arabe.pdf>

N2

<https://willbruderarchitects.com/project/burton-barr-phoenix-central-library/#0>
<https://sah-archipedia.org/buildings/AZ-01-013-0014> (imagem)
https://www.architectmagazine.com/awards/burton-barr-phoenix-central-library-wins-2021-aia-twenty-five-year-award_o
[Burton Barr Central Library / bruderDWLarchitects | ArchDaily](#)

N3

https://www.perraultarchitecture.com/en/projects/3491-la-bibliotheque-nationale-de-france-_portrait-of-a-project-1988-1998-bnf.html (imagem)
<https://miesarch.com/work/898>
<https://arquitecturaviva.com/works/biblioteca-nacional-de-francia-2>

N4

<https://www.kearch.com/childrens-museum-of-pittsburgh> (imagem)
<https://nedkahn.com/portfolio/articulated-cloud>
<https://www.perkinseastman.com/projects/childrens-museum-of-pittsburgh/>
<https://www.rudybruneraward.org/wp-content/uploads/2007/01/03-Childrens-Museum-of-Pittsburgh-1.pdf>

N5

<https://www.designindaba.com/articles/creative-work/dynamic-solar-shading-kiefer-technic-showroom>
<https://www.architonic.com/en/project/ernst-giselbrecht-partner-dynamic-facade-kiefer-technic-showroom/5100449> (imagem)
<https://moremorexless.blogspot.com/2017/01/kiefer-technic-showroom-dynamic-facade.html>

N6

<https://www.perkinseastman.com/projects/stony-brook-university-simons-center-for-geometry-physics/> (imagem)
<https://www.azahner.com/works/stony-brook>
<https://scgp.stonybrook.edu/about/about-the-building>

N7

<https://www.hel.fi/static/ymk/esitteet/ymparistotalo-fi.pdf>
<https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/nzeb-office-building-ymparistoetalo-in-helsinki-finland>
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134034/Salonpaa_Laura.pdf;jsessionid=BBBBA0B4B1FB9B76C91809354F048863?sequence=1 (imagem)

N8

<https://nedkahn.com/portfolio/tipping-wall> (imagem)
<https://www.archdaily.com/70186/marina-bay-sands-safdie-architects>
<https://vincentloy.wordpress.com/2016/05/25/sudden-interest-into-ned-kahns-works/>

N9

<https://www.uapcompany.com/projects/turbulent-line> (imagem)
<https://inhabitgroup.com/project/brisbane-airport-domestic-terminal-carpark-brisbane-australia/>
https://issuu.com/thewilliamwu/docs/marc5101_assessment_1_williamwu_sid470198933_final

N10

<https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/hygroskin-meteorosensitive-pavilion/> (imagem)

N11

<https://www.arup.com/projects/solarleaf/>
https://static.dgnb.de/fileadmin/de/dgnb_ev/Veranstaltungen/bau/2015/Praesentationen/12Uhr_Werkbericht_Splitterwerk.pdf
https://pocacito.eu/sites/default/files/BIQhouse_Hamburg.pdf
<https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html>
<https://ciclovivo.com.br/arg-urb/arquitetura/predio-alemao-tem-fachada-de-algas-para-gerar-energia-limpa/> (imagem)

N12

<https://www.archdaily.com/604755/hazza-bin-zayed-stadium-pattern-design>
<https://bdp-pattern.com/project/hazza-bin-zayed-stadium/>
<https://www.sbp.de/en/project/hazza-bin-zayed-stadium-in-al-ain/> (imagem)
https://stadiumdb.com/designs/uae/hazza_bin_zayed_stadium#google_vignette

N13

<https://now-near-next.com/articles/tcc-qianhai-telecommunication-center-shenzhen-china/> (imagem)
<https://www.schneider-schumacher.com/projects/project-details/828-qianhai-telecommunication-center/>
<https://www.goldtrezzini.ru/en/nominees/shenzhen-qianhai-telecommunication-center-shenzhen-china/>

APÊNDICE IV - FICHA TÉCNICA AL BAHR TOWERS

Código: E25

NOME: Al Bahr Towers (ou Al-Bahr Towers, ou Al Bahar Towers)

FINALIZAÇÃO DO PROJETO: 2008

CONSTRUÇÃO: 2008 - 2013

LOCALIZAÇÃO: Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos

CLIENTE: Abu Dhabi Investment Council

CATEGORIA: Edifício de escritórios

ATELIER DE ARQUITETURA: Aedas Architects, London

LÍDER DE PROJETO: Abdulmajid Karanouh, Head of Ramboll Innovation Design

EQUIPA DE PROJETO: Pablo Miranda, Diar Consult

FACHADA: Ancient & Modern, Reef, London

GESTOR DE PROJETOS: Mace, London

ENGENHERIAS: Arup

EMPREITEIRO PRINCIPAL: Al-Futtaim Carillion LLC

EMPREITEIRO DA FACHADA: Yuanda China Holdings Limited, Shenyang, China

MATERIAIS EMPREGADOS: Aço, vidro

MEDIDAS DA OBRA: 145,1m de altura; 25 pisos + 2 níveis da cave

ÁREA TOTAL: 56.000 m² (construída); 100,080 m² (área do terreno)

INTERATIVO: Exposição solar

TIPO DE FACHADA: Dinâmica, responsiva

TIPO DE ESTRUTURA MÓVEL: Sistema de guarda-chuva

CUSTO TOTAL: £300M (360M€)

CONSULTOR DE CUSTOS: Abu Dhabi office of AECOM (anteriormente Davis Langdon)

PRÊMIOS: Urban Habitat's "Innovative 20" lista de edifícios que "challenge the typology of tall buildings in the 21st century" do Council on Tall Buildings and Urban Habitat;

"Best Tall Building in Middle East and Africa" 2012 - Finalista;

Best Innovation Award 2012 - Council for Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH).

Emporis Skyscraper Award 2012 - 2º Lugar;

Middle East Architect Awards 2013 - Best Overall Project in the Middle East

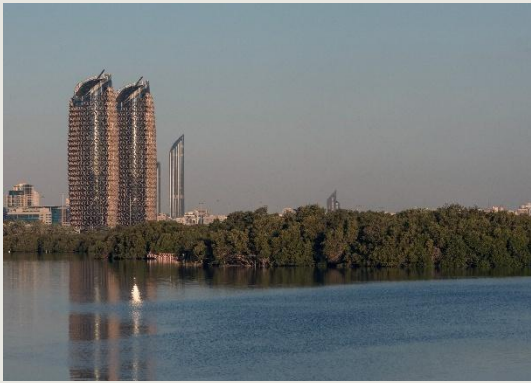
Middle East Architect Awards 2013 - Commercial Project of the Year

The International Award for Facade Engineering Excellence 2013 - Project of the Year

Architizer A+ Awards 2014 - Office Building High Rise

The Chicago Athenaeum 2014 - International Architecture Award

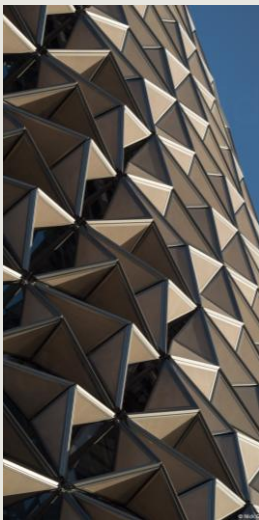
RTF Sustainability Awards 2014 - Commercial Design



Guttridge, 2020



Guttridge, 2020



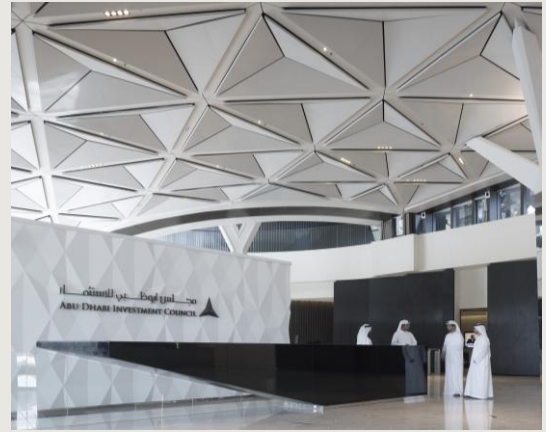
Guttridge, 2020, ARH, s.d.



ARH, s.d.

EXTERIOR

INTERIOR



ARH, s.d.



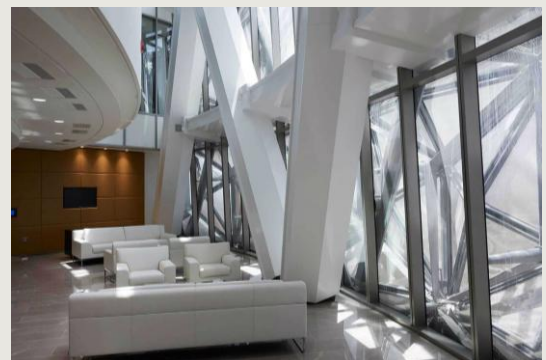
ARH, s.d.



ARH, s.d.



ARH, s.d.



Living Spaces, 2017

Survey

INTERACTIVE FACADES FOR A SUSTAINABLE ARCHITECTURE

INTERACTIVITY & SUSTAINABILITY

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?
2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?
3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

AL BAHR TOWERS

4. What were the main goals and inspirations for the Al Bahr Towers and how did the idea of interactivity come about? How was the design process to conceive such an interactive system?
5. Can you explain how the dynamic shading system works in terms of energy consumption? Is the facade self-sufficient, and how is the energy generated?
6. How has the Mashrabiya system performed over time in terms of energy efficiency and durability? Would you make any design or technology improvements today?
7. From a cost-benefit perspective, how do you justify the investment in dynamic facades to clients or developers?
8. How has been the public reaction to the building?

FUTURE

9. What advancements are needed to make interactive facades more popular?
10. Did you explore interactivity in other projects? Are you going to in the future?

APÊNDICE VI - ENTREVISTA AL *BAHR TOWERS*: RAFAIL BAKOLAS

Arquiteto da Aedas-UK no projeto das *Al Bahr Towers*.

Please note that the below responses derive from my personal experience and observations and I don't represent the companies which have been involved in the projects mentioned.

- Rafail Bakolas

INTERACTIVITY & SUSTAINABILITY

1. We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

Architects can play a significant role in the fight to reverse climate change. Buildings contribute a large proportion of emissions through their construction but mostly through their operation. This means that a considerate and thoughtful design can ensure that a building passively minimizes its environmental impact but also nudges its users to operate it in a sustainable way. The construction industry has a duty to come up with meaningful solutions that address climate change related challenges.

2. How do you see the evolution of architecture towards interactivity?

Interactivity has always been an integral part of Architecture. We want to be protected from the weather but we also want to retain control over air quality, temperature, humidity, views, sound, etc. A humble door allows or prohibits access, views, noise and smells depending on its position. Similarly a window allows control over weather, light, glare, privacy, sound etc. While interactivity in buildings of the past was limited to just a few components, contemporary buildings have expanded and refined their functionality through sophisticated building services. Today, technological advancements brought us the Internet of Things (IoT) where a set of interconnected "smart" systems use sensors to automate many of these services, responding in real time to the varying environmental conditions, or learning and adapting to our personal routines and preferences. Relying on highly complex systems introduces vulnerabilities due to an increased number of potential failure points and higher maintenance costs. However, these systems also offer the potential to optimize building performance and significantly reduce their environmental impact. Flexibility, user control and privacy are key and this is a trajectory that I believe will continue to develop as we advance technologically.

3. Can interactive architecture be an answer to the climate crisis?

It cannot be the only answer. Interactive architecture has its place in a plethora of architectural solutions. These should originate from a process of rational design decisions starting first and foremost with the building programme, and the proposed massing, orientation and architectural layout. The strategy for building services, the specified materials and their performance, the quality of architectural detailing and built quality also influence the performance of the building. Finally how we operate buildings and how we manage them at the end of their service life matter as well. Every decision plays a role, and a sense of responsibility should drive all our choices when it comes to designing, constructing, operating, and ultimately reusing or disposing of buildings.

AL BAHR TOWERS

4. What were the main goals and inspirations for the Al Bahr Towers and how did the idea of interactivity come about? How was the design process to conceive such an interactive system?

The towers' design was developed in response to the client's brief calling for an iconic building that blended modernity with regional design forms. The Middle East is an unforgiving environment for glass buildings, and while a building with a lower window to wall ratio might be more fitting to the local climate, the requirement for maximizing views out directed the design team to seek solutions which address the problem of solar gain and sun glare without resorting to an ultra dark glass facade. The inspiration for the necessary facade shading strategy came from the mashrabiya screen, which has historically been an architectural device on building facades to filter light and control the inhabitants privacy while allowing views out to monitor the surrounding area. The form and function of the mashrabiya shading devices derived from the principles of folding origami paper and the use of hexagonal geometry which is prominent in Islamic Architecture. The dynamic nature of the proposed system allowed greater control over the building specification and performance.

5. Can you explain how the dynamic shading system works, its materials, and energy consumption? Is the facade self-sufficient, and how is the energy generated?

The metal structure of each mashrabiya shading unit comprises of a fixed stainless steel frame and a movable aluminium frame which is operated by a central actuator. The frames were of bespoke design to reduce the weight of the overall structure, and are supported by cantilever struts, mounted on the building's composite structural slabs. Each frame is clad in a beige semi-transparent fiberglass mesh fabric which is coated with polytetrafluoroethylene (PTFE) for its durable, hydrophobic and non-combustible properties. This arrangement allows views out while the units are in the open position, protecting the interior from solar gain and sun glare and enabling the specification of a glass facade with higher visible light translucency.

The shading system is operated by a specially developed Building's Management System (BMS) which takes readings from sensors mounted on the building and operates the mashrabiya units in zones, folding or unfolding them based on local weather data and light conditions. A great deal of planning was required to test and optimize the system's function. The design team calibrated the number of steps between fully closed and fully open mashrabiya units to ensure maximum system efficiency. We ran computer simulations covering a period of a year, to ensure that the mashrabiya units stay in the closed or semi-closed position as long as possible while not compromising the system's overall performance. Lastly, we ensured that the BMS doesn't over-react to temporal changes of local light conditions due, for example, to moving clouds. The advantage of such testing is that we were able to avoid direct sun glare and tightly control solar gain, reducing cooling / heating needs, while also minimizing the need for artificial lighting in the buildings when possible. This strategy reduced the buildings' overall energy consumption.

6. How has the Mashrabiya system performed over time in terms of energy efficiency and durability? Would you make any design or technology improvements today?

After the completion of the project I haven't had a chance to revisit it, so unfortunately I don't have information regarding this.

7. From a cost-benefit perspective, how do you justify the investment in dynamic facades to clients or developers?

The construction of facades is expensive as they are complex systems that perform several functions. High performance facades are more expensive and dynamic facades even more so, due to their increased complexity. This means that the benefits of their application should override the risks associated with these systems. While dynamic facades can offer higher performance and therefore reduced operational costs than static ones, they also require higher maintenance due to their moving parts. The Al Bahr Towers Mashrabiya shading system required many cycles of testing and calibration to ensure that it will perform optimally, delivering the tangible benefits to the building users and that it won't prematurely fail. Ultimately, some clients are willing to take risks in order to innovate and differentiate themselves, while others prefer a conservative approach, relying solely on proven systems.

8. How has been the public reaction to the building?

The response from the public has been very positive. The building was highly commended as an outstanding international architecture project in the 2014 British Expertise Awards and was declared Best Office Building High Rise in the 2014 Architizer A+ Awards, Best Overall Project in the Middle East in the 2013 Middle East Architect Awards, and the prestigious. 2012 Tall Building Innovation Award of the CTBUH, which was a newly introduced category. I also know that the building design process has been presented in multiple conferences and media outlets and has inspired numerous new Architects and Designers.

FUTURE

9. What advancements are needed to make interactive facades more popular?

I believe what is still lacking in the sector of adaptive facades is standardization. This is still largely a niche area of cutting-edge design, where unique innovative solutions are being developed with the support of technological advancements. As we learn from past mistakes and today's systems become time-tested, new fabrication methods and material technologies simplify and reduce the cost of manufacturing. New standards are gradually being developed that enable more robust testing and operation of advanced systems. This process ensures that what was once niche will eventually become mainstream and commonplace through standardization and economies of scale.

10. Did you explore interactivity in other projects? Are you going to in the future?

There have been projects where an adaptive high performance facade has been a client requirement. I can give the example of the United Nations New Building in Geneva. The facade designed for the building is a high performance closed cavity facade system (CCF) which integrates perforated venetian blinds. These were placed inside its triple glazed unit cavity and they are controlled by the Building's Management System (BMS) which uses sensors on the building to independently control the deployment or retraction of the blinds in zones based on the analysis of local weather data and light conditions for each facade orientation. Ultimately, the aim is to provide the best possible solution that delivers the clients brief, whether this requires the utilization of a highly sophisticated interactive building system or a simpler but equally effective passive building system.

APÊNDICE VII – ENTREVISTA AL BAHR TOWERS: ABDULMAJID KARANOUH

Designer Sênior e Arquiteto da Aedas-UK no projeto das Al Bahr Towers.

01.08.2024 Video call interview

(Esta entrevista serve única e exclusivamente para os fins da investigação desta dissertação, estando em cumprimento com o *Acordo de Direitos de Edição* assinado pela autora da mesma)

Mariana Candeias: We live in the age of climate change. What role do you think that architects and architecture can play?

Abdulmajid Karanouh: We first need to agree on the premise of a few things. Within the context of designs like the Al Bahr Towers – the starting point of this interview – as far as dynamic facades are concerned, do they necessarily make buildings more sustainable(?) or do they create a better environment from a wellness standpoint? It could be both. However, there are many more considerations to take into account.

So, why did we do the dynamic mashrabiya of the Al Bahr Towers in the first place? It was not because we were trying to make a sustainable building per se. Because, to build a fully glazed tower supported by a steel and reinforced concrete frame in the middle of the desert is an oxymoron to begin with from a pure sustainability standpoint. But if the design competition brief requests 2 towers, then that becomes your starting point. Most clients require towers because they want to make a statement. Therefore, sometimes there are certain business decisions that clients make which architects may have little to no influence over them. As an architect, you rarely take part in creating the project brief with the client unless you happen to be lucky enough to be involved in the development of the project business base. So that's one.

Two, there is no consensus that climate change is because of our behaviour as humans. This is an opinion and a hypothesis by some while others counter it. Now, why am I saying that? It is because if you really want to make a genuinely sustainable world then you have to eradicate the entire education and economic system. And that's not only limited to architecture, but literally for everything else. This is because the entire global economy is based on the consumption of fossil fuel (mainly oil and gas to be more specific). Sustainability rating systems, policies and codes, and so on, were being introduced since the early 90s. Yet, more than 30 years later, you look at the percentage of energy consumption derived from fossil fuel, and it has only decreased by maybe 1 or 2%. Which means the economy is still predominantly based on consuming fossil fuel. More than 85% of our energy comes from fossil fuel. Why? Because it is cheap and available in abundance, relatively speaking. It's easy to extract. It's easy to distribute. It gives you a lot of energy. The only rival to oil, at the moment, is nuclear power. But not everybody has radioactive minerals like Uranium. Not everybody has nuclear technology, and therefore, they're still going to be predominantly relying on oil and gas for now. The alternative to those two is hydrogen power. Now, hydrogen power also requires very high technological capabilities.

But I believe that hydrogen will be the future. One might ask: How about photovoltaics and wind turbines? Their output is still very limited compared to fossil fuel and nuclear based power plants. They only produce a fraction

of the energy needed to run this world as currently constructed; skyscrapers, vehicles, airplanes; you won't be seeing a Boeing 747 or an Airbus A380 running on electric batteries or photovoltaics any time soon. They require too much power and energy. At the moment, so-called renewables are not even close.

So, back to the point. How can we make things as good as we possibly can within our capabilities as architects? Because we're not politicians, we're not economists, we're not bankers. We're not law-makers that can change the world. We are at the receiving end of project briefs, business cases, policies and visions. We receive a request for proposal, and we make a proposal. They either hire us, or they don't. and for the most part, clients want us to tell them what they want to hear and not what they need to hear. This is the harsh reality that young professionals ought to realise early on. It takes a lot of courage, integrity and wisdom to operate within the boundaries drawn to us without compromising our philosophies, values, and principles.

So, what can we do from our position as architects? Well, when we received the brief of the Al Bahr Towers, for example, the project that you're interested in, they wanted two towers as an iconic landmark rooted to the local environment and heritage in an arid environment in the City of Abu Dhabi. That's it. So, while the Client was not prescriptive about what they wanted or how they wanted it, there were certain points that they wanted us to achieve. It had to be iconic and somehow it had to be related to the local culture and heritage. Everything else you'd have to figure it out yourself. However, you also have to understand that when we received the RFP, we were one of 13 other international architects, including the likes of Foster + Partners, KPF, SOM, etc. All the international players were part of that competition. Therefore, it was anticipated that the Client expected to see an international look-alike office building with panoramic floor-to-ceiling glass facade. That's what the likes of Fosters, KPF and SOM mainly produce.

However, we knew that a fully glazed exposed facade, or even one shaded with fixed external louvers wouldn't offer the best possible solution in such a sunny environment. If the shading screen is placed inside the building rather than outside, it creates a significant issue. When a glass envelope is positioned on the building's exterior, the heat and sunlight are allowed to penetrate the outer envelope. As a result, any shading provided on the interior will only serve to trap the heat between the external glass and the internal shading screen, defeating its purpose. L'Institut du Monde Arabe, for example, has a mashrabiya look-alike dynamic shading screen made of polished stainless steel and aluminium incased in a double skin glass facade. However, that arrangement traps the heat inside the double skin facade, which needs to be purged somehow, right? Ventilating it externally will fill it with dust and sand, while ventilating it internally mechanically requires substantial cooling loads. What's wrong with that? Well, the rule of thumb is that it takes X amount of energy to raise the building temperature by one degree, while it takes four times as much energy to bring it down by one degree. So, it's a lot easier to heat up a building than it is to cool down. Therefore, it's an oxymoron to create a system that traps the heat as opposed to keeping out of the building. So, that was the main reason as to why we decided to place the shading screen outside the glass facade.

Now, why couldn't it just have been a regular shading screen? Well, primarily it's because the sun is moving throughout the day and from season to season, it means that the position of the sun in the sky is constantly changing from low to high and from east to west. So, if you have a fixed louvre system, vertical or horizontal, it won't always work well because of the changing angle of the sun. the same thing applies for a fixed shading screen; it works well when the sun faces it, but it creates a dark environment when it doesn't. However, instead of

designing a two-dimensional moving screen like the Institut du Monde Arabe, which has limitations when dealing with a three-dimensional moving sun, we decided to develop a three-dimensional mechanized solution that could fold and unfold to provide optimised shade following the movement of the sun.

Ok, but wouldn't you need energy to power such system?! Yes you would, however, each Mashrabiya unit requires no more than 90 watts (which is equivalent to domestic light bulb) for only 90 seconds a day. So, the entire system does not consume more than 3 domestic light bulbs consume per 24 hours. But what are the savings? 50% of cooling loads are saved by having that system outside the building. So, from an energy standpoint, that makes perfect sense. From a wellness standpoint, this is where you get the best outcome; if you have the sun in the middle of the sky, regular blinds will not be able to block it, you have to shut it down altogether. But with the Mashrabiya system, you're always going to reduce the impact of the sun without having to shut down the entire facade. You always get visibility and you always get diffused light coming inside the building. So, it improves the well-being of people. And this is one thing that architects constantly miss.

Architects often lack the skills to calculate the whole life-cycle benefits of a building. Their focus tends to be on capital costs, technical performance, and resource consumption, like energy and water, without fully understanding how to translate these into tangible benefits. While saving energy and water may appeal to some clients, the broader impact—such as improving occupants' well-being—often goes unquantified.

For example, in an office building, enhancing employee well-being can reduce sick leave and boost productivity, leading to significant long-term financial gains. However, architects are not trained to quantify or communicate these benefits effectively. Their education emphasizes design philosophies rather than practical skills like cost analysis or business communication. As a result, architects often rely on engineers or cost consultants, who may not fully grasp the nuances of their designs or share the same aesthetic sensibilities.

MC: I'm an architecture student who's just finishing the master's degree and I've never dealt with this topic of interactivity or using it towards sustainability. **How do you think that university schools prepare students to deal with this theme? How should education evolve to cover this topic?**

AK: Unfortunately, architectural schools don't equip students with the skills needed to build a business, establish a practice, or develop their own culture and ideas. They focus primarily on teaching theories and philosophies, often through a few technical examples, but these rarely translate into practical knowledge. Students tend to copy these ideas and move on, without truly understanding their relevance or value.

Take the Bauhaus movement, for example. It began in the early 20th century, gaining popularity with architects like Le Corbusier and Mies van der Rohe. Yet, a century later, many architects still replicate its style almost exactly. How can that make sense in a world that has changed so dramatically—with advancements in technology, transportation, and communication? The theories they're following weren't based on science, sustainability, or human psychology; they were subjective opinions, many of which were contested at the time but became dominant for political reasons. Still, these outdated ideas persist because architecture is taught as dogma, not as a scientific discipline.

This disconnect between architecture and science has weakened the profession. Historically, architects like Antonio Gaudí were also engineers and builders, with a deep understanding of materials, structural physics, and acoustics. Gaudí's knowledge of engineering didn't make him less creative—it enhanced his ability to create functional, innovative designs. Today, that integration of disciplines is missing, leaving architects unprepared to address modern challenges.

Academia also fails to teach students how to navigate the business side of architecture. They learn how to draw and design but not how to run a practice or understand the broader real estate industry. As a result, only a small percentage—around 2%—of architects who start their own firms succeed. The system is broken, and without fundamental changes, architectural education will continue to fall short of preparing students for real-world practice.

MC: So, do you think the way is interdisciplinarity, that the architect should understand construction and all the aspects that involve the project?

AK: Before diving into interdisciplinary approaches, the reason I chose to pursue this path is that I was fortunate to realize early on the importance of understanding the business side of architecture. You need to understand the real estate industry first. If you don't, it's likely because you're not positioned at the top of the real estate hierarchy. You won't understand how business cases are built or how architectural briefs are created.

So, what can you do? First, focus on understanding the real estate business. Start researching—there's plenty of information available in books, audiobooks, and even YouTube videos. Second, accept that not everyone will become a Zaha Hadid, own a firm like Foster + Partners, or lead a practice like MVRDV or Bjarke Ingels Group. Less than 1% of architects achieve that level of success. Third, once you've understood the business, figure out where you fit best. Some people excel technically, others are more artistic, while some have strong business acumen. The key is identifying your strengths and focusing on them.

When I started working in architecture, I felt like something was missing—something was always holding me back. I didn't fully understand how engineers or contractors worked. Whenever I presented an idea, I'd think it made sense, only for them to tell me it didn't. I'd ask why, and they'd explain: "because of this" or "because of that." Each time, I'd uncover something new, and it left me wondering—how long would I have to stay behind this curtain of technical knowledge, always relying on engineers and contractors to validate my designs?

Here's the thing—if you design traditional buildings, you're fine because you're working with what already exists and has been proven. But there's no creativity or innovation in that. To innovate, imagination isn't enough; you also need to understand the science. Without that knowledge, you're at the mercy of engineers and contractors. While some are ambitious or brilliant, most are focused on quick, cost-effective solutions, leaving you without the means to challenge their decisions. Gaining the expertise to bridge that gap typically takes decades—20 or more years. But I decided to fast-track that learning by diversifying my experience. I moved from architecture to 3D printing, facade engineering, computation, project management, and engineering consultancy, and eventually back to architecture. This interdisciplinary journey helped me understand the broader picture and led me to create an integrated design approach.

Instead of separate departments—architecture, engineering, and so on—I formed a unified, interdisciplinary team. Everyone, from structural and mechanical engineers to computational designers, works together with a shared passion for design. We also involve contractors, suppliers, and facility managers early in the process, even during competition stages. This collaborative model is rare but results in deeply thought-out designs that are hard to "value engineer" down. And that's another thing—value engineering often doesn't mean enhancing value. It's just a way of cutting costs, which can compromise the design. By involving everyone from the start, we create solutions that balance cost and quality without sacrificing the integrity of the design.

Let me give you an example. Contractors often target elements like the mashrabiya when trying to reduce costs. After 18 months of intensive design and engineering, we managed to meet the client's budget exactly—a rare achievement in architecture. But instead of acknowledging the effort, the contractors assumed there was still room to cut costs. In their view, if we hit the budget, surely there was a way to go even lower. Their immediate solution? Remove the dynamic mashrabiya. They claimed it would save 20% of the cost, not because it actually accounted for 20%, but because it seemed like an easy feature to eliminate—something that appeared non-essential.

This led to one of the toughest assignments I've faced since my PhD: explaining, in two pages or less, why the mashrabiya was indispensable. After working through the night with my managing director, we outlined the consequences. First, removing the mashrabiya would require a complete redesign of the mechanical and electrical systems. The shading it provides significantly improves the building's energy performance. Without it, cooling loads would increase dramatically, requiring larger and more expensive air conditioning systems. Second, we'd need to change the glass specifications, which would affect visibility, natural lighting, and occupant well-being—key aspects of the design. Third, the structural design itself would need to be revised. The mashrabiya was integral to the structure, and removing it would destabilize the system.

On top of these design challenges, removing the mashrabiya would delay the project by months and, ironically, increase costs. When the contractors did the calculations, they realized that eliminating it didn't save money—it actually cost more. That's because the mashrabiya wasn't just a decorative feature. It was a deeply integrated element of the building, contributing to its energy performance, structural stability, and overall functionality. This example illustrates how interdisciplinary design can create features that are essential to a building's success. The mashrabiya wasn't just architecture; it was tied to engineering, energy efficiency, and occupant comfort. Removing it would have unraveled the entire design.

This is what I've been trying to preach to architectural students and practitioners for years: stop designing superficial buildings and features. If a design doesn't have deep, functional roots, it doesn't hold real value. When all the value is purely aesthetic, it becomes the easiest thing for people to discard. Stop putting "makeup" on your buildings.

MC: About the mashrabiya system, do you know how the system performed over time? I mean it's been 12 years since it was built. Would you make any design or technology improvements today?

AK: Of course. Arrogance can set in when you achieve success, leading you to believe that what you've done is perfect. But if given the chance to do it again, I know it could be a hundred times better. That's the beauty of

design—you can always optimize it. If you're truly committed to improving, you could spend a lifetime refining a design. But, unfortunately, life doesn't work that way. There are deadlines, budgets, and the need to actually build and deliver. Still, there are always ways to simplify, improve performance, make manufacturing easier, enhance maintenance, and so on.

Now, that being said, how So far, it's been going pretty well. The building has never overheated, and there's never been excessive heat. Rarely do I see the blinds down, which is a good sign. I visited a few weeks ago, and most of the blinds were up, so it's clear the system is working. Even in the desert, I couldn't feel any air conditioning drafts, which shows it's functioning as intended. Nevertheless, I'd be disingenuous if I said there were no issues. Some problems arose, mainly due to the access and maintenance contractor not being properly commissioned from the start. They didn't fully understand how to maintain the building as originally designed. While they managed to keep things running for 12 years, it could have been done more efficiently. Now, there are a few malfunctioning components, but nothing catastrophic. These issues are minor and can be fixed easily, but better maintenance could have prevented them. Overall, the building is still doing its job and performing well.

MC: Have you explored these interactive or dynamic systems in other projects? Or are you going to in the future?

AK: I wasn't eager to introduce dynamic facades until I saw how this one performed. As an architect, I'm a bit of an exception. Most are always looking for the next opportunity, but I'm cautious about taking risks that could lead to regret—whether for myself, the client, or the public. Despite the many challenges we faced with the building, no one involved has ever regretted it. In fact, it was well-received, and the reviews speak for themselves. But we didn't know that 10 years ago. I needed to see how this project would fare before planning the next one.

When we started that building in 2007, the global financial crisis hit in 2008. Since then, the real estate market has struggled to recover, and client budgets have significantly decreased. After the 2015 downturn and the impact of COVID-19, the situation became even worse. As a result, clients have become much more cautious in their spending, and we've seen fewer iconic or ambitious buildings in recent years. You may have noticed that the number of groundbreaking projects has dropped compared to 10 or 20 years ago, when firms like Zaha Hadid's expanded dramatically. But after the 2008 crisis, firms like hers had to downsize significantly.

So, no, there hasn't been an opportunity to do something like that again. Globally, there are fewer chances for such projects. Even the so-called 'iconic' buildings today are often just recycled ideas, lacking true innovation. What's being built now are mostly 'smart buildings,' but these are more about technology—AI, sensors, and data—rather than real architectural innovation.

One example is Cube Berlin, touted as the smartest building in Europe, with a central AI brain linked to 3,800 sensors. But despite all the tech, when you see it in person, it looks like any other building. In the end, AI-driven solutions are often just technology added to conventional designs, not a reinvention of architecture.

MC: How can we make these interactive facades or elements, new elements, more popular, more accessible, or cost-effective for wind-sprayed adoption?

AK: You need to ensure that any added features genuinely provide value. It's important to demonstrate this value to the client in a tangible way, so it's clear that these elements aren't just decorative or unnecessary. While some architects or clients may still be willing to pay extra for aesthetics, those clients are becoming fewer as economic conditions get tougher. To make a strong case, I always say you should diversify the value you offer. By expanding the functionality and benefits of any feature you add to a building, you strengthen your argument for the client. This approach allows for more innovation, leading to richer, more valuable architecture.

My advice would be this: rather than focusing on buzzwords like 'global warming', which are highly contestable and difficult to prove, consider the bigger picture. (...) In short, climate change is part of a natural cycle, and we may be experiencing one of those shifts. As an architect, there's little I can do to influence geopolitics or global economics—those are far bigger issues. So, what can I do from my position? I always point to examples like the Al Bahr Towers.

As I've said, I wasn't trying to make a sustainability statement with the Al Bahr Towers—it's an oxymoron to claim that. You'll never hear me say the Al Bahr Towers is a sustainable building because that would be disingenuous. These are two fully glazed towers in the desert, and to call them sustainable would be misleading.

The design was driven by the client's needs: towers with a modern, international style and full glazing. My goal was to minimize the impact of those choices. I focused on how to shape the building efficiently, making the shading dynamic and non-obstructive. I also aimed to reduce energy loss by creating a form that minimized air contact, resulting in a cocoon-like shape. A perfectly circular design would have been too aerodynamic and affected the cladding and mashrabiya, so we opted for a more triangular form, which provided stability while breaking up the air flow.

There was a lot of scientific thinking behind the design, and diversifying its functionality brought many benefits from an engineering and performance standpoint. But my main focus was improving the wellness of the people inside. After working in the Gulf states, I experienced firsthand the negative effects of dark, glass-heavy buildings with poor natural light—people feel miserable, which affects the entire workplace. At the Al Bahr Towers, however, the environment is different. People enjoy being there because it feels refreshing, and it promotes a sense of well-being.

And that's what I invite architects to do: make sure your building is considered from a wellness standpoint as much as possible. That will automatically lead to a more sustainable building, because when you improve wellness for people, you're also considering the environment, materials, and all of that. After all, we are natural beings. So, whatever works for us in terms of wellness will naturally work for the environment as well. It's a proven theory—whenever you take care of people in a genuine way, it will also take care of the natural environment. We're made by nature, so it makes sense. Trust me.

MC: What advice would you give to emerging architects that are passionate about using interactive facades towards sustainability in their projects?

AK: My advice would be not to get fixated on dynamic facades. They're not the solution for every building. For example, in a simple house, you don't need a dynamic facade.

We used it on the Al Bahr Towers because it's an office tower. I can't let everyone at 140 meters up open windows and adjust the louvres as they please. The building is exposed to wind speeds of 140 km/h or more. On a smaller building, it's easier to let people operate the facade manually. But on a tower with 1,000 employees from different countries, you can't assume they all know how to use it properly. In places like Dubai, for instance, opening a window in August or September means you're letting in 100% humidity. It could ruin everything.

You have to be aware of the context. You need to understand building physics and the environment you're working in to make the right decision – whether it's a dynamic facade, a manually operable one, or something else. So don't focus only on making dynamic facades popular. It worked for the Al Bahr Towers, but it may not be right for a two- or three-story building in Portugal.

APÊNDICE VIII – ENTREVISTA AL BAHR TOWERS: MIKE OADES

Diretor Adjunto e Arquiteto da Aedas-UK no projeto das Al Bahr Towers

23.01.2025 Video call interview

Mariana Candeias: First of all, thank you for agreeing to meet with me. I really appreciate it. You've been a great inspiration with the various projects you've undertaken, and the Al Bahr Towers have had significant importance in my thesis. So, it's really nice to have this opportunity to interview you. I'd like to start with a broader perspective.

We are living in an age of climate change, where governments are introducing measures to mitigate its effects. As we know, architecture and the construction sector play a significant role in the production of carbon dioxide and other greenhouse gases. So, my question is: **how do you think architects and architecture can help improve or make a difference in the damage being done to our planet?**

Mike Oades: This is just my personal opinion, but I think building less is probably a good start. Reusing our existing buildings and finding ways to either keep them in situ or reuse the materials within them is crucial. New buildings are generally more energy-efficient, but older ones tend to have greater longevity, even if their performance isn't always as good. From my perspective, increasing the performance and lifespan of existing buildings should be the first priority before constructing new ones.

MC: On another note, interactivity is something we're focusing on now because of new technologies. People want everything fast, and everything is available to us instantly. **How do you see architecture evolving in terms of interactivity?**

Mike: When you say "interactivity," do you mean active elements on buildings?

MC: In architecture it all started with spaces that are flexible and adaptable over time without needing physical changes. My question is more about environments that can physically change in response to different needs or conditions.

Mike: I see. Well, there are a couple of aspects to consider. The first is how climate impacts our buildings throughout the year. For instance, in the UK, there's a noticeable difference between summer and winter, but the seasonal changes are relatively moderate compared to other regions. Geographical location plays a big role in determining how much adaptation is required for buildings. The best approach often starts with passive measures, like using thermal mass or designing for natural shading. I think interactivity begins with ensuring a building is well-rooted in its location, passively managing different conditions.

For example, in response to rising summer temperatures, external solar shading can act as a point of interactivity. But even that can be a passive feature, as we see in 19th-century buildings with external blinds integrated into facades. In places like Portugal, shutters and blinds are a longstanding part of vernacular architecture, which we

lack in the UK. These passive measures are interactive in a way—you can use them or not, depending on the conditions. For colder winters, better insulation is key, and breathable buildings can adapt to those changes.

I've worked on a building with a dynamic facade before, but I still believe passive measures should be the starting point. Then, how buildings transform across seasons can be explored to develop new vernaculars for evolving climate conditions.

MC: Let's move on to the Al Bahr Towers. Based on your answer, I think the most urgent question is: **why was this project chosen to incorporate a dynamic element in its design?**

Mike: For the Al Bahr Towers, a lot of it came down to the initial brief and the client's aspirations. That really set the direction. The project called for innovative solutions to building tall structures in hot climates. To be honest, I don't think building tall structures in hot climates is a great idea. There are more sustainable alternatives. But towers also serve symbolic purposes—they become landmarks and represent the identity of an organization within its community.

Given the brief, the challenge was to address these issues effectively. While I don't think it's a wholly sustainable way of building, the Al Bahr Towers project did address some of these challenges in a thoughtful way. It wasn't an easy process. If you've spoken to Abdulmajid Karanouh, he'll have explained how much perseverance was needed to see the project through. There were many moments when it could have been scaled back or halted altogether.

MC: So, after receiving the brief, was the dynamic facade primarily a strategy for improving efficiency, or was it intended more as a way to establish the building's identity?

Mike: It was both. The facade was definitely a strategy to make the building more efficient by reducing heat gain significantly. At the same time, it became the identity of the building, almost like its logo. It fulfilled multiple roles in terms of performance, image, and physical presence.

At the early stages, we didn't know exactly how much energy it would save, but the goal was to reduce energy consumption while maintaining a dynamic design. I'd be interested to know how the building has performed over the past decade in terms of energy savings versus the carbon cost of construction and maintenance.

MC: I'm particularly interested in the facade because that's the focus of my study. **From your perspective, could similar facades be used in other contexts as part of a strategy to make buildings more efficient, in conjunction with other systems?**

Mike: I think so, yes, especially for existing buildings. Retrofitting dynamic elements could improve their efficiency in response to changing climate conditions. For example, there's the Hill House in Scotland, designed by Charles Rennie Mackintosh. It had issues with water ingress due to its cement render. To protect the building, a structure was built over it, which also created an additional layer of environmental control. Though passive, it has architectural and environmental consequences.

Dynamic facades could similarly be added to existing structures to enhance their performance. However, the development of such systems is expensive and time-consuming. For Al Bahr Towers, creating prototypes, testing, and developing the facade required significant resources and commitment. Without a client fully invested in the concept, it would have been nearly impossible to achieve.

For new projects, the starting point should still be passive measures. Dynamic solutions should be considered only when they are the best way to meet the project's goals.

MC: Was the facade of Al Bahr Towers designed to be self-sufficient in terms of energy, or did its operation require significant energy input?

Mike: I can't remember the exact figures, but I believe there was some energy offset. We included photovoltaics, but the balance between the energy required to move the Mashrabiya and the energy saved by reducing artificial lighting would be interesting to analyze. If you haven't already, it might be worth looking into those figures to see how effective the facade has been over time.

MC: I haven't yet, but I'll definitely look into it. So, when we say that the design reduces 50% of the glare and the use of air conditioning, did you test it or run simulations to determine how it would perform without the Mashrabiya? How did you get this number?

Mike: So, I think it was probably compared to a traditional glazed tower building, for example, and the energy requirements for that. Dealing with increased solar gain—if you have heavily tinted glass, for instance—affects internal lighting needs, and I'm sure it was modeled. There was a comparison made, and that enabled us to adjust the glass specifications and the air conditioning to suit those factors.

We ended up with much smaller duct sizes and things like that. When you look at the plan, it's not very efficient, really. For one, it's circular, and the core is quite large. But we reduced the amount of air handling, ductwork space, and other systems within the building itself. So, there was some efficiency there.

My responsibility was more structural and services coordination—the layouts, floor plans, and so on. I worked on the interface with the facade, and one of our goals was to create flexibility in the building layout. This allowed for easier adaptation to organizational changes, ensuring the building wouldn't become redundant after just a few years if the structure or operations changed.

One lesson I took from my time at Foster + Partners was related to the Swiss Re Tower in London (also circular). Although I didn't work directly on that project, I collaborated with the team. They faced challenges aligning the planning grid with the facade grid, and the two didn't align, which caused issues.

For the Al Bahr Towers, we were keen to ensure that the grids aligned—a simple, vertical interface between the facade and the structural grid. This improved efficiency in terms of adaptability over time, allowing the building to evolve with the organization. There were two separate organizations to consider: the bank and the Abu Dhabi Investment Council. These entities required different floorplates, so there were unique challenges in achieving flexibility. While the facade saved energy by shading the building, there was also efficiency in how the facade worked with the floor plans to future-proof the building.

A lot of energy is consumed during a building's use phase, so making it adaptable over time was crucial. I worked closely with Aedas to minimize the complexity of the facade interface, standardizing the glass types where possible. For instance, we used flat glass panels and pushed them into position to avoid overly complicated systems.

MC: I think you mentioned you haven't been to the building recently, but do you know anything about its durability and the maintenance of the facade over time?

Mike: Yes, I've been to Abu Dhabi since, and I noticed that not all the panels are functioning. I spoke to Abdulmajid Karanouh, who's in contact with the client, and he mentioned some maintenance issues. The machinery is relatively simple and was tested as well as it could be, but any building, whether or not it has a dynamic facade, requires maintenance. For example, if you have a roof with gutters, you need to clean them a few times a year. If you don't maintain these systems, the building doesn't function as intended. I think Abdulmajid was a bit dismayed that the building wasn't receiving the level of care required to keep it functioning optimally. Maintenance is essential, no matter the type of building.

MC: If you could make any improvements to the facade or its integration with the building, what would they be?

Mike: Not much for the Al Bahr Towers specifically. The towers are quite rigorous in their design and construction. If anything, I'd reduce the number of variations in the facade components, though we already minimized them as much as we could. Honestly, if I wanted to design a building better suited to the environment, I wouldn't have built it like that in the first place.

MC: You've mentioned the cost and challenges of testing and maintaining a dynamic facade. **What made the client choose to retain this system despite those difficulties?**

Mike: The client really fell in love with the design. There hadn't been anything like it in the region before. There are some precedents, like Frei Otto's deployable structures in Saudi Arabia, but nothing quite like this. From the competition stage, the client was deeply invested in the concept and maintained that commitment, even when there were opportunities to drop it. The project lead, Peter Oborn, also played a key role in maintaining the vision and driving it forward. It felt like a significant architectural statement. It would have been a shame to abandon it at the eleventh hour. The process was valuable as a research project for architecture, even if future generations review it differently. Looking back, it may be more relevant now than when it was first completed. At the time, it seemed like a bit of a gimmick, but it was thoughtfully considered.

Buildings are prototypes. We're not manufacturing cars or phones that go through extensive testing before reaching the user. We aim to get it right the first time, which is challenging. Perhaps a dynamic facade could become more like an off-the-shelf product—a tested and efficient component you can integrate into a building. That might make such systems more feasible.

MC: What advancements are needed to make dynamic facades more widespread?

Mike: Simplicity. My favorite buildings are the Arish houses used by Bedouins in the Arabian Peninsula, like in Oman. These structures use palm fronds lashed to simple timber frames. The fronds shade the building and filter light and air. They're entirely replaceable and can be rebuilt each year with minimal impact. I think such simplicity offers a model for the future.

MC: I haven't heard of those buildings, but I'll research them.

Mike: Yes, look up Arish houses from the Arabian Peninsula.

MC: Thank you so much! This has been incredibly helpful for my research. It's great to hear your perspective, and it will contribute a lot to my work.

Mike: It's my pleasure. Good luck with everything!

MC: Thank you again. Goodbye!

ANEXOS

- A. ENTREVISTA PETER CHIPCHASE & PETER OBORN
- B. *AL BAHR TOWERS*: ANIMAÇÕES DO MAXARUBI

ANEXO A- ENTREVISTA PETER CHIPCHASE & PETER OBORN

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=X8jSD1K1CIs&t=6s>

18 October 2012. Chicago, USA.

As the inaugural winners of the Innovation Award, Peter Chipchase (Associate Director, Arup) & Peter Oborn (Deputy Chairman, Aedas Architects, Ltd.) discuss the highly technical aspects of the Al Bahr Towers' dynamic shading system, as well as its cultural context. In their interview from the 2012 Awards Symposium, the two representatives of the design team analyse the motivations of their client, the initial design concept and its connection to local cultural techniques, as well as the final execution and functioning of the design and the implications for future integrated faade systems.

Interviewer: Let's talk about the Al Bahr Towers. You're here for the CTBUH Innovation Award. You're the winners of this award for the external automated shading system, which is an intelligent shading system. I'll let you describe it.

Peter Oborn: The towers basically are provided with an intelligent skin comprising a series of umbrella-like components. There are about a thousand on each tower, and they operate as a group in response to the movement of the sun. As the sun moves around the building, the umbrellas of the mashrabiya progressively open and close throughout the day. There are many benefits we achieved through that, not least being the reduction in solar gain, the ability to use less heavily tinted glass, which gives us much more natural views from the building, better daylight in the building, less use of artificial light within the building, and all the energy savings that derive from that.

Peter Chipchase: Yeah, I mean you've said it all from an engineering point of view. That's exactly what we're trying to do. We're trying to balance. These things don't insulate the building; they keep the sun out. What we're trying to do is create a balance between keeping the sun out, keeping the bad sun out so we don't have to deal with glare or we don't have to cool the building more, versus letting enough nice light in so that we don't have to switch the lights on. That's really the whole key to the mashrabiya. The structure of it, the fabric on it, the movement of it, the timing of it is all to achieve that.

Peter Oborn: And then the overlay on top of that is the fact that the actual design of the building has been designed using some Islamic principles of design. So there's a geometric pattern to the building which speaks about traditional Islamic architecture, giving it cultural and environmental relevance.

Interviewer: Is this idea, this building, such a highly customized job something that can necessarily be replicated and rolled out to other buildings, or how do you see it?

Peter Oborn: I think this is a unique building, a product of a specific brief. It was designed at a particular moment in time. There was a lot happening in Abu Dhabi at the time we were commissioned for the building. The Abu Dhabi 2030 plan had just been launched, the Masdar initiative was underway, and the emirate was just about to publish its own environmental standard called Estidama. So I think this is a very particular building for a very particular client, for a very particular place in a very particular time. However, I think there are lessons that can be

learned from this because, as CTBUH generously recognized, it challenges the typology of tall buildings, certainly in this part of the world.

Peter Chipchase: Can it be done it? Can it be used on other projects? The answer is yes, of course, but also there are many other ways to do similar things. This is one mechanism, one way of having something open and close. There are many others, and this is appropriate for this context, but the principles can certainly be applied elsewhere.

Interviewer: There's a lot of tinting of glass and finding ways to deal with light that way. Am I right that shading has just not come along very prominently until this time?

Peter Oborn: Absolutely. In all instances, not just in the Middle East but throughout the world, one needs to look at vernacular architecture, which holds the key to many of these issues. The provision of a shading device such as a mashrabiya, upon which this concept is based, has been around for generations. What may be perceived by some as complexity is, in fact, simplicity. One needs to study these techniques in more detail to learn how to apply them in the future.

Peter Chipchase: I agree. There was a presentation this morning about a tower in Kuwait using a solid facade. The default starting point is often glass, but it doesn't have to be the case. Solid facades are fantastic. They can be structural and thermal, bringing light into the building creatively. It's just value for money if it's treated in the right way.

Peter Oborn: In the Middle East, there has been very much a free-for-all over the last 30 years in terms of what's been happening in the Gulf in particular, due to a lack of legislation and understanding of the context. But, what we're seeing in the Gulf now is the introduction of legislation such as the Estidama standard which is going to force a change in the in the typology of buildings in that environment so I think things are looking very interesting for buildings in that region.

Interviewer: What's the user experience like with the shading on the inside of the building? How will a building occupant see this?

Peter Oborn: That's an interesting question because actually the fabric from the outside looks opaque, but it is 85% light-resistant, in other words it's only 50% transparent. Inside of the building, the one's experience of the exterior, is perfectly natural because it appears like a lightly gauzed net curtain which stands off two meters from the building. I don't know what peter's feeling about it's, but certainly it's like being in a cocoon and one feels protected, sheltered and shielded from the from the extreme heat of the sun.

Peter Chipchase: It's changeable as well depending on the time of day and location within the building.

Interviewer: Does this system eliminate the need altogether for tinting glass?

Peter Chipchase: For tinting glass, yeah. The glass isn't absolutely clear but it looks clear for all intents and purposes. What it doesn't do, is eliminate the use of blinds. (...) Internal blinds are still needed to manage background light, particularly in the summer.

Interviewer: Obviously, the heat is one thing that you have to deal with in the sunlight. Are there other factors too in extreme environments that you have to accommodate in your designs?

Peter Chipchase: Yes, dust and UV are significant factors. The UV in the sunlight will attack it, will fade your material. The material needs to be robust enough to withstand that you don't want to have to be replacing. (...) Material selection is key. It's very dusty. Most of the times where you get very few clear days. So again, understanding how you make your fab or your material and your facades resistant to dust was another key thing. One of the questions that people always ask about the durability of the mashrabiya mechanisms. How long are they going to last um and the answer to that is. Well, they're sort of designed in a way that they're self-cleaning anyway. But they have been tested to the equivalent of 150 years' service in a wind tunnel with dust collected from Abu Dhabi and salt water and wind and everything thrown at them as the thing opens and closes for the equivalent, I think it's 300000 cycles or something like this. (...)

Interviewer: Does this system take the pressure off of you in some regards in designing for extreme environments where this allows you a little bit more leeway behind those shades than previously? Or no?

Peter Oborn: Well I think by having dynamic systems introduce a number of additional variables and as a consequence of which you perhaps introduce a number of different risks. For example, what would happen if the mechanism for some reason fails? Would occupants of the building overheat? I think there are new judgments to be made in this kind of context in terms of the level of redundancy or a safety factor that one needs to apply, I think we've been responsible in the context of the council.

Peter Chipchase: But you're right. I mean it's all about context there was obviously concern about what would happen if one of these things failed because they're new and they haven't been used before. The consequences actually are... nothing, you know that particular mashrabiya will not work until you fix it. What does that do to the building? Nothing. (...)

Peter Oborn: If I can just go back to the previous question about the environment again and just maybe mention one factor that we overlooked, in fact and didn't really come to appreciate until we came to commission the mashrabiya, which we're doing now and that was in fact the overshadowing effect of one tower upon the other. Perhaps in an urban environment, the way in which buildings behave as a collective rather than simply as individual, building units. So, we have a situation in Abu Dhabi where in fact the southern tower actually projects a shadow over the northern tower for much of the day and actually that's forced us to reevaluate the programming of the mashrabiya units. Because we can actually have more of them open than we had previously imagined. So you know, when one gets into this territory you have to be alert at all stages of the project to things that you hadn't perhaps anticipated

Interviewer: Congratulations on your 2012 Innovation Award.

Interviewees: Thank you.

ANEXO B - AL BAHR TOWERS: ANIMAÇÕES DO MAXARUBI

Fonte: Rafail Bakolas

Estudo inicial de rastreamento solar em 3D, desenvolvido em Rhino3D e Grasshopper. As imagens mostram uma secção de 3 pisos de uma das torres sendo atingida por raios solares paralelos. Todo o processo foi programado manualmente, dado que o Grasshopper estava numa versão beta inicial. Os maxarubis são representadas a abrir e fechar suavemente, acompanhando o traçado dos raios solares ao longo do perímetro da secção do edifício. Este estudo ocorreu numa fase inicial, antes da introdução de um número fixo de etapas pré-definidas de abertura/fecho, medida adotada para evitar operações constantes, que seriam incomodativas para os utilizadores devido ao ruído associado, extremamente dispendiosas em termos de consumo energético e desgastantes para a durabilidade das unidades.

