



Universidades Lusíada

Guimarães, Fábio André dos Santos

Torres e arranha-céus, porquê construir em altura : o caso de edifício mais alto do mundo

<http://hdl.handle.net/11067/7085>

Metadata

Issue Date 2023

Abstract A torre, desde sempre foi associada a simbolismos estratégicos e táticos, para de alguma forma avançar sobre o território e marcar uma posição, tal como no jogo de xadrez. No passado, estas estruturas foram o elemento mais importante dos castelos medievos, talvez por serem o último reduto de defesa em caso de ataque, ou mesmo por ter sido o local escolhido pelos senhores feudais para a sua residência e quartel. Com o desaparecimento do feudalismo, o conceito de torre evoluiu até chegar aos edif...

The tower, has always been associated to strategic and tactical symbolism, through out the territory and mark a position, as a chess game. In the past, these structures were the most important element of the medieval castles, perhaps because they were the last defence redoubt in case of attack, or even because they were the place chosen by the feudal lords for their residence and headquarters. With the disappearance of feudalism, the tower concept evolved to contemporary buildings, whose ideolo...

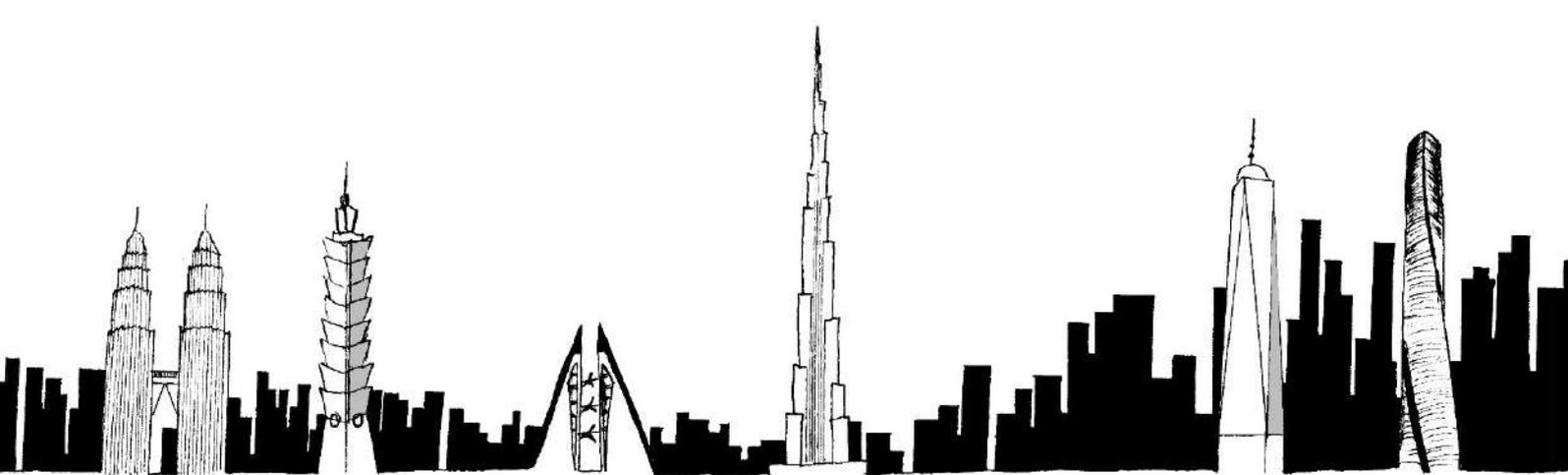
Keywords Acessibilidade, Construção em altura, Arranha-Céus, Estrutura, Tecnologia, Torres

Type masterThesis

Peer Reviewed no

Collections [ULF-FAA] Dissertações

This page was automatically generated in 2023-10-21T13:41:21Z with information provided by the Repository



Orientador: Professor Doutor Luís Serro

TORRES E ARRANHA-CÉUS, porquê construir em altura

O caso do edifício mais alto do mundo

Fábio André dos Santos Guimarães



Dissertação para obtenção do grau de mestre em Arquitectura
pela Universidade Lusíada - Vila Nova de Famalicão

FAA - Faculdade de Arquitectura e Artes

Abril de 2023



UNIVERSIDADE LUSÍADA - VILA NOVA DE FAMALICÃO

TORRES E ARRANHA-CÉUS, porquê construir em altura

O caso do edifício mais alto do mundo

Fábio André dos Santos Guimarães

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Arquitetura

Orientação científica: **Professor Doutor Luís Manuel Lourenço Sêro**

Vila Nova de Famalicão, 2023

[Todas as páginas em branco foram intencionalmente colocadas]

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor **Luís Sêro**, por toda a ajuda, disponibilidade e partilha de conhecimentos;

Aos **meus pais e irmã**, por me terem ajudado no meu percurso e por todos os ensinamentos que fizeram parte daquilo que sou hoje;

À **minha Inês**, por todo o companheirismo, toda a dedicação, todos os contributos e horas cedidos e por nunca me ter deixado baixar os braços ao longo destes anos;

Aos meus colegas de turma pelos contributos oferecidos ao longo desta caminhada, em especial à **Patrícia**, ao **Carlos**, e ao **Marcelo**, por todas as conversas, todas as discussões e todas as partilhas sem as quais isto não teria sido possível;

Aos restantes professores e funcionários que fizeram parte do meu percurso académico, que me ensinaram valores e cederam conhecimentos variados;

Um muito Obrigado!

Resumo

A torre, desde sempre foi associada a simbolismos estratégicos e táticos, para de alguma forma avançar sobre o território e marcar uma posição, tal como no jogo de xadrez. No passado, estas estruturas foram o elemento mais importante dos castelos medievos, talvez por serem o último reduto de defesa em caso de ataque, ou mesmo por ter sido o local escolhido pelos senhores feudais para a sua residência e quartel.

Com o desaparecimento do feudalismo, o conceito de torre evoluiu até chegar aos edifícios contemporâneos, cujos objetivos ideológicos se mantiveram, o de avançar sobre o território e marcar uma posição. Com esta investigação pudemos perceber que as torres do passado, cujo significado foi adaptado para os arranha-céus atuais, tornaram-se o símbolo identitário de algumas cidades, seja como elemento singular, seja pelo conjunto agregado.

Diga-se, por exemplo, que ao apresentar uma imagem de um *Skyline* cujo elemento principal seja o Burj Khalifa, intuitivamente se afirma que se trata de uma imagem do Dubai. Paralelamente, ao visualizar uma fotografia onde apareçam vários dos arranha-céus como o *One World Trade Center*, o *432 Park Avenue* ou o *Empire State Building*, por exemplo, rapidamente se identifica que se trata da cidade de Nova Iorque.

Assim, os arranha-céus são o acento tónico das grandes cidades do mundo, no século XXI, cujas funções passaram de último reduto de defesa, para sede de grandes corporações empresariais, assim como importantes centros de negócios mundiais.

Mas quais terão sido os motivos que levaram as pessoas a deixar as suas habitações e empregos, dispersas ao longo do território, em alternativa a fixaram-se nestas 'cidades verticais'? E de que forma é que a qualidade de vida das pessoas e os seus quotidianos foram afetados por estas mudanças nas cidades?

Foram estas e outras questões que conduziram à pertinência desta investigação, de modo a poder criar uma linha cronológica sobre a evolução de uma expansão tradicionalmente horizontal, em prol de uma expansão cada vez mais vertical, assim como a evolução dos sistemas de construção desde as pedras emparelhadas sem argamassa até aos mais sofisticados sistemas construtivos em aço e betão armado.

Palavras-Chave

Acessibilidade | Altura | Arranha-céus | Estrutura | Skyline | Tecnologia | Torres

Abstract

The tower, has always been associated to strategic and tactical symbolism, through out the territory and mark a position, as a chess game. In the past, these structures were the most important element of the medieval castles, perhaps because they were the last defence redoubt in case of attack, or even because they were the place chosen by the feudal lords for their residence and headquarters.

With the disappearance of feudalism, the tower concept evolved to contemporary buildings, whose ideological objectives remained the same, advancing through out territory and marking a position. With this research we could see that the towers of the past, whose meaning was adapted to the current skyscrapers, became the identity symbol of some cities, either as a singular element or by the aggregate set.

Let's say, for example, that if we show an image of a Skyline whose main element is the Burj Khalifa, we intuitively say that it is an image of Dubai. At the same time, if we see a photograph showing several skyscrapers like One World Trade Center, 432 Park Avenue and the Empire State Building, we quickly identify it as New York City.

Skyscrapers are the 21st century accent of the world's great cities, which have gone from being the last defence stronghold to the headquarters of major corporations as well as important global business centres.

What has been the reasons that has led people to leave their homes and jobs scattered across the land and settle in these 'vertical cities'? How have peoples daily lives and life quality has been affected by these changes in cities?

It was these and other questions that led to the relevance of this research, in order to create a timeline in the evolution of a traditionally horizontal expansion, in favour of an increasingly vertical expansion, as well as the evolution of building systems from paired stones without mortar to the most sophisticated steel and reinforced concrete building systems.

Keywords

Accessibility | Height | Skyscrapers | Structure | Skyline | Technology | Towers

Índice

Agradecimentos	III
Resumo	V
Abstract	VII
Índice	VIII
Índice de figuras e fontes	X
Introdução	25
1 Enquadramento histórico	30
1.1 Introdução - o conceito de 'Torre' e suas variantes	31
1.1.1 As torres de menagem	34
1.1.2 As torres Sineiras	41
1.1.3 Torres de Habitação, de Escritórios e torres Mistas	46
1.2 As motivações, da necessidade ao exibicionismo	50
1.3 O aparecimento dos arranha-céus	55
1.3.1 A 'primeira' torre	55
1.3.2 A escola de Chicago - arquitetura e urbanismo.	57
1.3.3 A Bauhaus e o início da arquitetura moderna	58
1.3.4 Mies van der Rohe e a 'Segunda Escola de Chicago'	61
1.4 Dos anos sessenta à atualidade	65
1.5 O impacto dos arranha-céus no contexto das cidades	68
1.6 Conclusão	70
2 Sistemas construtivos aplicados aos arranha-céus	72
2.1 Introdução - os problemas mais complexos entre todos	73
2.2 Processo evolutivo	74
2.2.1 As primeiras estruturas e as novas materialidades	74
2.2.2 Aparecimento dos sistemas estruturais tubulares e modulares	75
2.3 Decoração vs Necessidade, uma questão de sustentabilidade	80
2.4 Problemas de Estabilidade	82
2.4.1 As ações do Vento	82
2.4.2 As ações sísmicas	90
2.4.3 Problemas pelo uso de formas e materiais indevidos	96
2.5 Tecnologia incorporada nos edifícios	100
2.5.1 Uma questão de acessibilidade	100
2.5.2 Desenvolvimento da domótica	102
2.6 Conclusão	106

3 Caso de estudo – O edifício mais alto do mundo	108
3.1 Introdução e pertinência	109
3.2 Contextualização	110
3.3 Programa funcional	112
3.3.1 O piso térreo	113
3.3.2 A partir do 4º andar	113
3.3.3 O 5º andar	113
3.3.4 Observatórios panorâmicos	114
3.3.5 A partir do 44º andar	114
3.3.6 Andares técnicos	114
3.3.7 Espaços corporativos	114
3.3.8 Restaurante mais alto do mundo	115
3.3.9 Miradouros dos andares 124º e 125º	116
3.3.10 Observatório do piso 148º	116
3.3.11 <i>The Lounge</i>	117
3.4 Sistema estrutural incorporado	118
3.4.1 O núcleo central	118
3.4.2 Estruturas adicionais	120
3.4.3 Problemas relacionados com a ação dos ventos	122
3.4.4 Problemas relacionados com as fundações	122
3.4.5 Tecnologia incorporada	123
3.4.6 Formas e materialidades	124
3.5 Conclusão	126
Conclusões Finais	128
Fontes e Bibliografia	132

Índice de figuras e fontes

1 Enquadramento histórico

Figura 001 | Página 30 | Capa Almoço no topo de um arranha-céu em Nova Iorque

Fonte: WashingtonPost. [em linha]. Disponível na Internet em:

<https://www.washingtonpost.com/history/2019/09/01/one-most-iconic-photos-american-workers-is-not-what-it-seems/>.

Acesso em: 28 de Novembro de 2022.

Figura 002 | Página 32 Exemplo de relatividade entre ser ou não ser um edifício alto

Fonte: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. [em linha]. Disponível na Internet em:

<https://www.ctbuh.org/resource/height>.

Acesso em: 31 de Outubro de 2022.

Figura 003 | Página 32 Exemplo de proporção entre verticalidade e horizontalidade

Fonte: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. [em linha]. Disponível na Internet em:

<https://www.ctbuh.org/resource/height>.

Acesso em: 31 de Outubro de 2022.

Figura 004 | Página 33 Exemplo de tecnologias utilizadas em edifícios altos

Fonte: Produção própria, adaptado de: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.ctbuh.org/resource/height>.

Acesso em: 31 de Outubro de 2022.

Figura 005 | Página 34 Exemplo de 'Mota'

Fonte: Blangy-le-Chateau. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.blangy-le-chateau.fr/tourisme-et-culture/patrimoine-culturel/le-chateau/>.

Acesso em: 31 de Outubro de 2022.

Figura 006 | Página 35 Donjon des Angles, na França

Fonte: LOURDES. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.lourdes-infotourisme.com/offres/chateau-fort-des-angles-les-angles-fr-3152460/>.

Acesso em: 31 de Outubro de 2022.

Figura 007 | Página 35 Keep do castelo de Cardiff, no Reino Unido

Fonte: BRITISH CASTLES. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://british-castles.com/cardiff-castle/>.

Acesso em: 31 de Outubro de 2022.

Figura 008 | Página 35 Wohnturm em Kanzach, na Alemanha

Fonte: On Castles. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://oncastles.com/timber-castle-bachritterburg/>.

Acesso em: 01 de Novembro de 2022.

Figura 009 | Página 36 Planta do castelo de Tomar

Fonte: PEREIRA, Paulo (2022). Arquitetura Portuguesa- história essencial. Temas e Debates. Página 127.

Figura 010 | Página 36 Planta do castelo de Pombal

Fonte: PEREIRA, Paulo (2022). Arquitetura Portuguesa- história essencial. Temas e Debates. Página 127.

Figura 011 | Página 36 Planta do castelo de Almourol

Fonte: PEREIRA, Paulo (2022). Arquitetura Portuguesa- história essencial. Temas e Debates. Página 127.

Figura 012 | Página 36 Planta do castelo de Sabugal

Fonte: ARMAS, Duarte de (1997). Livro das Fortalezas. Edições Inapa. Página 127V.

- Figura 013 | Página 36** Alçado poente da torre de menagem do castelo de Sabugal
Fonte: GIL, Júlio (1986). Os mais Belos Castelos e Fortalezas de Portugal. Editorial VERBO.
Página 110
- Figura 014 | Página 37** Planta do castelo de Monsaraz
Fonte: ARMAS, Duarte de (1997). Livro das Fortalezas. Edições Inapa. Página 122V.
- Figura 015 | Página 37** Alçado norte da torre de menagem do castelo de Monsaraz
Fonte: Produção própria.
- Figura 016 | Página 37** Torre de menagem de Estremoz
Fonte: Produção própria
- Figura 017 | Página 37** Planta do castelo de Bragança
Fonte: ARMAS, Duarte de (1997). Livro das Fortalezas. Edições Inapa. Página 130V.
- Figura 018 | Página 37** Torre de menagem do castelo de Bragança
Fonte: Rotas Turísticas. [em linha]. Disponível na Internet em:
<https://www.rotasturisticas.com/fotos_23581_braganca_castelo_de_braganca.html>.
Acesso em: 01 de Novembro de 2022.
- Figura 019 | Página 38** Corte longitudinal pela torre de menagem do castelo de Beja
Fonte: GIL, Júlio (1986). Os mais Belos Castelos e Fortalezas de Portugal. Editorial VERBO.
Página 269
- Figura 020 | Página 38** Alçado nascente da torre de menagem do castelo de Beja
Fonte: Cidade de Beja. [em linha] Disponível na Internet em:
<http://cidadedebeja.weebly.com/uploads/6/9/8/5/6985313/img_08792.jpg>.
Acesso em: 01 de Novembro de 2022.
- Figura 021 | Página 39** Conjunto fortificado de Palmela
Fonte: MONTEIRO, João Gouveia, PONTES, Maria Leonor (2002). Castelos Portugueses.
IPPAR. Página 20.
- Figura 022 | Página 40** Entrada da torre de menagem do castelo de Almourol
Fonte: Modo Associados. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://www.modoassociados.com/projetos/musealizacao-da-torre-do-castelo-de-almourol-vila-nova-da-barquinha-2014/#>>.
Acesso em: 02 de Novembro de 2022
- Figura 023 | Página 40** Entrada da torre de menagem do castelo de Guimarães
Fonte: Arquivo Municipal de Guimarães. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.cm-guimaraes.pt/conhecer/noticia/castelo-de-guimaraes-em-obras-encerrado-dois-dias-por-semana-ate-ao-final-de-maio>>.
Acesso em: 02 de Novembro de 2022.
- Figura 024 | Página 40** Entrada do forte de S. Francisco Xavier (Porto)
Fonte: GIL, Júlio (1986). Os mais Belos Castelos e Fortalezas de Portugal. Editorial VERBO.
Página 38 e 39.
- Figura 025 | Página 42** Catedral de Notre-Dame, em Paris
Fonte: MATOS, Rita (2022). VISÃO. Disponível na Internet em: <<https://visao.sapo.pt/historia/2022-03-21-notre-dame-escondia-um-segredo-um-sarcofago-de-700-anos-sob-a-catedral/>>.
Acesso em: 02 de Novembro de 2022.
- Figura 026 | Página 42** Catedral de York, em York Minster
Fonte: Ship of Fools. [em linha]. Disponível na Internet em: <<http://shipoffools.com/mystery-worshipper/york-minster-york-england-2/>>.
Acesso em: 02 de Novembro de 2022.

- Figura 027 | Página 42** Catedral de Colônia, em Colônia
Fonte: MEGA CONSTRUCCIONES. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://megaconstrucciones.net/?construccion=catedral-colonia>>.
Acesso em: 02 de Novembro de 2022.
- Figura 028 | Página 42** Alçado principal da Sé de Lisboa
Fonte: Férias em Portugal. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://www.feriasemportugal.com/se-catedral-lisboa>>.
Acesso em: 03 de Novembro de 2022.
- Figura 029 | Página 43** Torre de Pisa, em Pisa
Fonte: ODISSEIAS. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.odisseias.com/guia-fazer-em-casa-gratis/experiencia/visita-virtual-a-torre-de-pisa-em-italia/165728>>.
Acesso em: 03 de Novembro de 2022.
- Figura 030 | Página 43** Torre de Giotto, em Florença
Fonte: Viagem e Turismo. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://viagemeturismo.abril.com.br/paises/italia-2/>>.
Acesso em: 03 de Novembro de 2022.
- Figura 031 | Página 43** Torre dos Clérigos, no Porto
Fonte: Férias em Portugal. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://www.feriasemportugal.com/torre-dos-clerigos-porto>>.
Acesso em: 04 de Novembro de 2022.
- Figura 032 | Página 44** Torre de Arnolfo, no palácio Vecchio, em Florença
Fonte: CARLOS, Luís. Viajando de Novo. Disponível na Internet em:
<<https://viajandodenovo.blogspot.com/2018/01/palazzo-vecchio-firenze-italia.html>>.
Acesso em: 04 de Novembro de 2022.
- Figura 033 | Página 44** Torre de Mangia, no palácio Comunale, em Siena
Fonte: Tuscany. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.tuscany.co/monuments-siena/torre-del-mangia.html#prettyPhoto>>.
Acesso em: 05 de Novembro de 2022.
- Figura 034 | Página 44** Beffroi d'Arras, em Arras
Fonte: Grand Place Hotel. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://www.grandplacehotel.fr/>>.
Acesso em: 05 de Novembro de 2022.
- Figura 035 | Página 44** Beffroi do 'hotel de Ville' de Bruxelas, em Bruxelas
Fonte: PAULA, Guilherme Goss de. (2016). Viajante Inveterado. Disponível na Internet em:
<<https://viajanteinveterado.com.br/conhecendo-bruxelas-belgica/>>.
Acesso em: 05 de Novembro de 2022.
- Figura 036 | Página 45** Mesquita de Hassan II, em Casablanca
Fonte: WATTS, Ron. (2022). National Geographic. Disponível na Internet em:
<<https://www.natgeo.pt/photography/2017/08/veja-as-mesquitas-mais-impressionantes-do-planeta?image=istiqlal-mosque-jakarta-indonesia>>.
Acesso em: 08 de Novembro de 2022.
- Figura 037 | Página 46** Torre Asinelli, como acento tónico de Bolonha
Fonte: PANDOLFI, Denya. (2013). Grazieate. Disponível na Internet em:
<<https://grazieate.com.br/turismo-em-bolonha/>>.
Acesso em: 08 de Novembro de 2022.
- Figura 038 | Página 46** Famosas torres de San Gimignano, Siena
Fonte: THOMAS. (2012). Contemporary Nomad. Disponível na Internet em:
<<https://www.contemporarynomad.com/the-towers-of-san-gimignano/>>.
Acesso em: 08 de Novembro de 2022.

Figura 039 | Página 48 Flatiron Building (1902)

Fonte: TAYLOR, David. (2022). Britannica. Disponível na Internet em:
<<https://www.britannica.com/topic/Flatiron-Building>>.
Acesso em: 08 de Novembro de 2022.

Figura 040 | Página 48 Singer Building (1908)

Fonte: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://www.skyscrapercenter.com/building/singer-building/2080>>.
Acesso em: 08 de Novembro de 2022.

Figura 041 | Página 48 Woolworth Building (1913)

Fonte: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://www.skyscrapercenter.com/building/woolworth-building/969>>.
Acesso em: 08 de Novembro de 2022.

Figura 042 | Página 52 Chrysler Building (1930)

Fonte: RANOGAJEC, Paul A. (2018). "The Chrysler Building", SmartHistory. Disponível na Internet em:
<<https://smarthistory.org/seeing-america-2/chrysler-building-sa/>>.
Acesso em: 09 de Novembro de 2022.

Figura 043 | Página 52 Empire State Building (1930)

Fonte: MATEUS, Fran. (2011). Cinetour. Disponível na Internet em:
<<https://www.cinetourviagemdecinema.com/2011/05/empire-state-building-celebra-80-anos.html>>.
Acesso em: 09 de Novembro de 2022.

Figura 044 | Página 52 Rockefeller Center (1939)

Fonte: SIMON, Malka. (2015). "Rockefeller Center", SmartHistory. Disponível na Internet em:
<<https://smarthistory.org/rockefeller-center/>>.
Acesso em: 09 de Novembro de 2022.

Figura 045 | Página 53 Torres gêmeas como edifício mais alto da baixa de Manhattan

Fonte: WAINWRIGHT, Oliver. (2015). "New York's twin towers", The Guardian. Disponível na Internet em:
<<https://www.theguardian.com/cities/2015/may/20/world-trade-center-twin-towers-new-york-911-history-cities-day-40>>.
Acesso em: 09 de Novembro de 2022.

Figura 046 | Página 54 Petronas Twin Towers (1998)

Fonte: Skyscraper. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/tallest-towers/petronas-towers/>>.
Acesso em: 09 de Novembro de 2022.

Figura 047 | Página 54 Petronas Twin Towers, vistas de noite

Fonte: Skyscraper. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/tallest-towers/petronas-towers/>>.
Acesso em: 09 de Novembro de 2022.

Figura 048 | Página 54 Taipei 101 (2004)

Fonte: Equipa C3. (2021). "Bem vindo ao Taipei 101", Clube da Construção Civil. Disponível na Internet em: <<https://c3clube.com.br/bem-vindo-ao-taipei-101/>>.
Acesso em: 10 de Novembro de 2022.

Figura 049 | Página 55 Burj Khalifa (2009)

Fonte: (2017). "Burj Khalifa / SOM", ArchDaily. Disponível na Internet em:
<<https://www.archdaily.com/882100/burj-khalifa-som>>.
Acesso em: 10 de Novembro de 2022.

Figura 050 | Página 55 Mile-High Illinois, projeto de 1956

Fonte: BOTHAM, James. (2022). On Verticality. Disponível na Internet em:
<<https://www.onverticality.com/blog/frank-lloyd-wright-mile-high-skyscraper>>.
Acesso em: 10 de Novembro de 2022.

Figura 051 | Página 57 Home Insurance Building (1885)

Fonte: Budowle. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.budowle.pl/building/home-insurance-building/>>.

Acesso em: 12 de Novembro de 2022.

Figura 052 | Página 57 Equitable Life building (1870)

Fonte: Geographic Guide. [em linha]. Disponível na Internet em:

<<https://www.geographicguide.com/united-states/nyc/antique/skyscrapers/equitable-building-old.htm>>.

Acesso em: 12 de Novembro de 2022.

Figura 053 | Página 60 Edifício da Bauhaus, desenvolvido por Walter Gropius (1926)

Fonte: BRANDÃO, Lucas. (2020). Comunidade Cultura e Arte. Disponível na Internet em:

<<https://comunidadeculturaearte.com/as-origens-e-os-caminhos-da-escola-de-bauhaus/>>.

Acesso em: 09 de Setembro de 2022.

Figura 054 | Página 62 860 - 880 Lake Shore Drive Apartments (1951)

Fonte: Modernism. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://modernism.art-zoo.com/lake-shore-drive-apartments-mies/>>.

Acesso em: 15 de Novembro de 2022.

Figura 055 | Página 62 900 – 910 North Lake Shore (1956)

Fonte: 900 | 910. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://900910.com/legacy/>>.

Acesso em: 15 de Novembro de 2022.

Figura 056 | Página 63 860 – 880 e 900 – 910 North Lake Shore implantados paralelamente

Fonte: PINTO, Paulina. (2010). Casiopea. Disponível na Internet em:

<https://wiki.ead.pucv.cl/Complejo_de_viviendas_ESPLANADE-Chicago>.

Acesso em: 15 de Novembro de 2022.

Figura 057 | Página 63 Seagram Building (1958)

Fonte: GLANCEY, Jonathan (2001). História de la Arquitectura. Blume – página 178.

Figura 058 | Página 63 Seagram Building, a partir da rua

Fonte: IMBROISI, Margaret. (2022). “Bauhaus”, História das Artes. Disponível na Internet em:

<<https://www.historiadasartes.com/nomundo/arte-seculo-20/bauhaus/>>.

Acesso em: 15 de Novembro de 2022.

Figura 059 | Página 64 John Hancock Center (1969)

Fonte: Produção própria, adaptado de: HARRINGTON, Adam. (2022). CBS. Disponível em:

<<https://www.cbsnews.com/chicago/news/chicago-hauntings-john-hancock-center/>>.

Acesso em: 16 de Novembro de 2022.

Figura 060 | Página 64 Willis Tower (1973)

Fonte: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. [em linha]. Disponível na Internet em:

<<https://www.skyscrapercenter.com/building/willis-tower/169>>.

Acesso em: 16 de Novembro de 2022.

Figura 061 | Página 65 Messeturm Building (1990)

Fonte: Structurae. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://structurae.net/en/structures/messe-tower>>.

Acesso em: 16 de Novembro de 2022.

Figura 062 | Página 65 AT&T Building (1984)

GLANCEY, Jonathan (2001). História de la Arquitectura. Blume – página 201.

Figura 063 | Página 67 Downtown CBD, em Los Angeles

Fonte: Produção própria, adaptado de Google Earth.

Figura 064 | Página 67 Midtown Manhattan, em Nova Iorque

Fonte: Produção própria, adaptado de Google Earth.

Figura 065 | Página 67 Loop, em Chicago
Fonte: Produção própria, adaptado de Google Earth.

Figura 066 | Página 67 Docklands, em Londres
Fonte: Produção própria, adaptado de Google Earth.

2 Sistemas construtivos aplicados aos arranha-céus

Figura 067 | Página 70 | Capa Fazlur Khan com maquete do John Hancock Center no escritório da SOM (1960)
Fonte: KB. Reaching New Heights. Disponível em: <<https://www.frkdocumentary.com/blog/about>>.
Acesso em: 26 de Outubro de 2022.

Figura 064 | Página 74 Diagrama estrutural de módulo emoldurado
Fonte: Produção própria.

Figura 065 | Página 74 Opção de módulo emoldurado
Fonte: Produção própria, adaptado de: SOHONI, Patil Prachi. (2018). Semantic Scholar.
Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Comparative-Study-of-RC-Framed-Structure-and-Patil-Sohoni/159725b4b5dfc4900a4519b9b9016cce379334ee>>.
Acesso em: 26 de Outubro de 2022.

Figura 066 | Página 74 Planta do Dewitt Chestnut Apartments
Fonte: HAIDER, Gulzar. (2015). SlideShare. Disponível na Internet em:
<<https://www.slideshare.net/GulzarHaider/l5verticalstructurept-3100212040011phpapp01-1>>.
Acesso em: 26 de Outubro de 2022.

Figura 067 | Página 74 Dewitt Chestnut Apartments (1965)
Fonte: Redfin. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.redfin.com/IL/Chicago/260-E-Chestnut-St-60611/unit-2005/home/14118907>>.
Acesso em: 26 de Outubro de 2022.

Figura 068 | Página 75 Malha John Hancock Center
Fonte: (2021). "John Hancock Center / Skidmore, Owings & Merrill", ARCH EYES. Disponível na Internet em: <<https://archeyes.com/john-hancock-center-at-skidmore-owings-and-merrill/>>.
Acesso em: 27 de Outubro de 2022.

Figura 069 | Página 75 John Hancock Center (1969)
Fonte: TREVISAN, Ricardo. (2015). "Chicago para arquitetos", Blog do Trevisan. Disponível na Internet em: <<https://ricardotrevisan.com/2015/07/08/chicago-para-arquitetos/>>.
Acesso em: 27 de Outubro de 2022.

Figura 070 | Página 76 Malha Citigroup Center
Fonte: Northern Architecture. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://www.northernarchitecture.us/resisting-system/trussed-tube.html>>.
Acesso em: 27 de Outubro de 2022.

Figura 071 | Página 76 Citigroup Center (1977)
Fonte: BIBER, James. (2021). UXDesign. Disponível na Internet em:
<<https://uxdesign.cc/poor-little-billionaires-the-design-challenges-of-high-rise-buildings-198e38eba66a>>.
Acesso em: 27 de Outubro de 2022.

Figura 072 | Página 77 Diagrama Willis Tower
Fonte: WikiArquitetura. [em linha]. Disponível na Internet em:
<<https://pt.wikiarquitectura.com/constru%C3%A7%C3%A3o/torre-sears/>>.
Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

Figura 073 | Página 77 Planta Willis Tower

Fonte: Produção própria, adaptado de: WikiArquitectura. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://pt.wikiarquitectura.com/constru%C3%A7%C3%A3o/torre-sears/>>.
Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

Figura 074 | Página 77 Willis Tower (1973)

Fonte: STOTT, Dory. (2014). ArchDaily. Disponível na Internet em: <<https://www.archdaily.com.br/br/623510/chicago-divulga-planos-para-organizar-sua-propria-bienal>>.
Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

Figura 075 | Página 78 Diagrama do Burj Khalifa

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2019). AUTODOC. Disponível em: <<https://site.autodoc.com.br/conteudos/burj-khalifa-conheca-os-desafios-construtivos-do-maior-edificio-do-mundo/>>.
Acesso em: 29 de Outubro de 2022.

Figura 076 | Página 79 The Zifeng Tower (2010)

Fonte: Destination Planet. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://destinationsplanet.blogspot.com/2014/06/nanjing-greenland-financial-centre.html>>.
Acesso em: 17 de Setembro de 2022.

Figura 077 | Página 79 Emirates Tower One (2000)

Fonte: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.skyscrapercenter.com/building/emirates-tower-two/456>>.
Acesso em: 17 de Setembro de 2022.

Figura 078 | Página 79 Bank of America Tower (2009)

Fonte: (2006). The Skyscraper Museum. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/programs/one-bryant-park-cookfox-go-platinum/>>.
Acesso em: 17 de Setembro de 2022.

Figura 079 | Página 81 Seagram Building (1958)

Fonte: (2022). Britannica. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.britannica.com/topic/Seagram-Building>>.
Acesso em: 19 de Outubro de 2022

Figura 080 | Página 81 Citygroup Center (1977)

Fonte: TORRIJOS, Pedro. (2020). Twtext. Disponível na Internet em: <<https://twtext.com/article/1301591184876412929>>.
Acesso em: 19 de Outubro de 2022.

Figura 081 | Página 81 432 Park Avenue (2015)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/United-States/>>.
Acesso em: 19 de Outubro de 2022.

Figura 082 | Página 81 Shum Yip Upperhills Tower (2019)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/Asia/>>.
Acesso em: 20 de Outubro de 2022.

Figura 083 | Página 81 Guangzhou CITIC Plaza (2019)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/Asia/>>.
Acesso em: 20 de Outubro de 2022.

Figura 084 | Página 81 Abu Dhabi Plaza (2020)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/Middle-East/>>.
Acesso em: 20 de Outubro de 2022.

Figura 085 | Página 82 Marina City (1964)

Fonte: MUSCA, Thomas. (2017). ArchDaily. Disponível na Internet em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/873659/13-edificios-que-resistiram-bem-a-forca-do-tempo>>.

Acesso em: 20 de Outubro de 2022.

Figura 086 | Página 82 Petronas Twin Towers (1998)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha]. Disponível

na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/southeast-asia-malaysia/>>.

Acesso em: 21 de Outubro de 2022.

Figura 087 | Página 82 Lakhta Tower (2019)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/Russia/>>.

Acesso em: 21 de Outubro de 2022

Figura 088 | Página 82 Shanghai World Finances Center (2008)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.

Acesso em: 21 de Outubro de 2022.

Figura 089 | Página 82 PIF Tower (2020)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/middle-east/>>.

Acesso em: 22 de Outubro de 2022

Figura 090 | Página 82 Chengdu Greenland Tower (2021)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.

Acesso em: 22 de Outubro de 2022.

Figura 091 | Página 83 Al Hamra Tower (2011)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/middle-east/>>.

Acesso em: 22 de Outubro de 2022.

Figura 092 | Página 83 Burj Mohammed Bin Rashid (2014)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/middle-east/>>.

Acesso em: 22 de Outubro de 2022.

Figura 093 | Página 83 LCT The Shard Landmark (2019)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.

Acesso em: 24 de Outubro de 2022.

Figura 094 | Página 84 Shanghai Tower (2015)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.

Acesso em: 24 de Outubro de 2022.

Figura 095 | Página 84 Wuhan Center Tower (2018)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.

Acesso em: 24 de Outubro de 2022.

Figura 096 | Página 84 Corporative Avenue One (2022)

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].

Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.

Acesso em: 24 de Outubro de 2022.

- Figura 097 | Página 84** Arranha-céus da Rússia e do Cazaquistão, segundo o CTBUH
Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].
Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/russia/>>.
Acesso em: 24 de Outubro de 2022.
- Figura 098 | Página 85** Arranha-céus do Médio Oriente, segundo o CTBUH
Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].
Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/middle-east/>>.
Acesso em: 25 de Outubro de 2022.
- Figura 099 | Página 85** Arranha-céus do Sudeste da Ásia e Malásia, segundo o CTBUH
Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].
Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/southeast-asia-malaysia/>>.
Acesso em: 25 de Outubro de 2022.
- Figura 100 | Página 86** Arranha-céus da China, segundo o CTBUH
Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].
Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.
Acesso em: 25 de Outubro de 2022.
- Figura 101 | Página 86** Arranha-céus da China, segundo o CTBUH.
Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].
Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.
Acesso em: 25 de Outubro de 2022.
- Figura 102 | Página 87** Arranha-céus de Hong Kong, Taiwan e da Coreia do Sul, segundo o CTBUH
Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].
Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/asia/>>.
Acesso em: 25 de Outubro de 2022.
- Figura 103 | Página 87** Arranha-céus dos Estados Unidos, segundo o CTBUH
Fonte: Produção própria, adaptado de: (2020). The Skyscraper Museum. [em linha].
Disponível na Internet em: <<https://skyscraper.org/supertall/maps/united-states/>>.
Acesso em: 25 de Outubro de 2022.
- Figura 104 | Página 88** Localização do TMD da Cambota
Fonte: Produção própria, adaptado de: RB High Performance. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.rbhighperformance.com/motor/328-honda-oem-set-de-anillos-de-piston-k20.html>>.
Acesso em: 26 de Outubro de 2022.
- Figura 105 | Página 89** Vista da Millenium Bridge
Fonte: Minube. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.minube.pt/sitio-preferido/ponte-millennium-a5702>>.
Acesso em: 26 de Outubro de 2022.
- Figura 106 | Página 89** TMD da Millenium Bridge
Fonte: GERB. [em linha]. Disponível na Internet em: <http://www.gerb.com.br/index.php?id=589&no_cache=1&tx_photogals_elementid=1601&tx_photogals_image=3&MP=503-1040>.
Acesso em: 26 de Outubro de 2022.
- Figura 107 | Página 91** Localização do TMD do Taipei 101
Fonte: Produção própria, adaptado de: BRENNER, Wagner. Update or Die. Disponível na Internet em: <<https://www.updateordie.com/2022/09/19/a-bola-de-ferro-que-manteve-o-segundo-maior-edificio-do-mundo-protegido-do-terremoto-em-taiwan/>>.
Acesso em: 27 de Outubro de 2022.

Figura 108 | Página 91 Esquema do TMD do Taipei 101

Fonte: NNAMANI, Nnabuihe. (2012). Semantic Scholar. Disponível na Internet em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Strategies-for-mitigating-wind-induced-motion-in-Nnamani/1074d105305f5837e382461b5b3bce71f92268d9>>.
Acesso em: 27 de Outubro de 2022.

Figura 109 | Página 91 TMD do Taipei 101

Fonte: (2014). Engenharia Compartilhada. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://engenhariacompartilhada.com.br/Noticia/Exibir/433009>>.
Acesso em: 27 de Outubro de 2022.

Figura 110 | Página 92 Coroamento do US Bank Tower (1989)

Fonte: PCF & Parteners. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.pcf-p.com/projects/us-bank-tower-formerly-library-tower/>>.
Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

Figura 111 | Página 92 Geometrias do US Bank Tower (1989)

Fonte: PCF & Parteners. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.pcf-p.com/projects/us-bank-tower-formerly-library-tower/>>.
Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

Figura 112 | Página 92 US Bank Tower (1989)

Fonte: PCF & Parteners. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.pcf-p.com/projects/us-bank-tower-formerly-library-tower/>>.
Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

Figura 113 | Página 93 Ponte entre as Petronas Twin Towers

Fonte: Produção própria, adaptado de: SEBOK, Balazs. Eyeem. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.eyeem.com/p/148121110>>.
Acesso em: 28 de Outubro de 2022.

Figura 114 | Página 95 Vdara Hotel (2009)

Fonte: Visit LasVegas. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.visitlasvegas.com/listing/vdara-hotel-%26-spa/35429>>.
Acesso em: 17 de Novembro de 2022.

Figura 115 | Página 95 Esquema do problema do Vdara Hotel

Fonte: Produção própria, adaptado de: PASTORELLI, Giuliano. (2010). ArchDaily. Disponível na Internet em: <<https://www.archdaily.pe/pe/02-56313/el-rayo-de-la-muerte-del-hotel-vdara>>.
Acesso em: 17 de Novembro de 2022.

Figura 116 | Página 96 Walkie-Talkie (2014)

Fonte: Knight Frank. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.knightfrank.co.uk/properties/commercial/to-let/20-fenchurch-street-london-greater-london-ec3m/hub2022530>>.
Acesso em: 17 de Novembro de 2022.

Figura 117 | Página 96 Esquema do problema do 'Walkie-Talkie'

Fonte: Produção própria, adaptado de: ROSEHILL, Herry. (2018). Londonist. Disponível na Internet em: <<https://londonist.com/london/history/walkie-talkie-death-ray>>.
Acesso em: 17 de Novembro de 2022.

Figura 118 | Página 99 Esquema dos Elevadores Expresso e dos Lobbies Aéreos do John Hancock Center

Fonte: Produção própria, adaptado de: GRAY, Lee. (2016). ElevatorWorld. Disponível na Internet em: <<https://elevatorworld.com/article/elevator-world-1966/>>.
Acesso em: 18 de Novembro de 2022.

Figura 119 | Página 99 Esquema dos Elevadores Expresso e dos Lobbies Aéreos das torres gêmeas do WTC

Fonte: Produção própria, adaptado de: LANDAU, Jack. (2016). Skyrise Cities. Disponível na Internet em: <<https://skyrisecities.com/news/2016/03/explainer-sky-lobby>>.

Acesso em: 18 de Novembro de 2022.

Figura 120 | Página 101 Bahrein WTC (2007)

Fonte: (2021). Reddit. [em linha]. Disponível na Internet em:

<https://www.reddit.com/r/evilbuildings/comments/oiq5o8/bahrain_world_trade_center/>.

Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

Figura 121 | Página 101 Alçado e Corte da Bahrein WTC

Fonte: SZOLOMICKI, Jerzy, SZOLOMICKA, Hama Golasz. (2019). MDPI. Disponível na Internet em: <<https://www.mdpi.com/2075-5309/9/9/193/htm>>.

Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

Figura 122 | Página 101 Detalhe Construtivo dos Geradores da Strata Tower

Fonte: RAVENSCROFT, Tom. (2011). Architects Journal. Disponível na Internet em:

<<https://www.architectsjournal.co.uk/archive/aj-buildings-library-alexander-fleming-house-1960>>.

Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

Figura 123 | Página 102 Strata Tower (2010)

Fonte: BERDOU, Jeremy. (2010). UrbanNews. Disponível na Internet em:

<<https://www.urbanews.fr/2010/04/23/4239-strata-tower-le-gratte-ciel-eolien/>>.

Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

Figura 124 | Página 102 Alçados da Strata Tower

Fonte: (2010). "Strata SE1 / BFLS", ArchDaily. Disponível na Internet em:

<<https://www.archdaily.com/70142/strata-se1-bfls>>.

Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

3 Caso de Estudo – O edifício mais alto do mundo

Figura 125 | Página 106 | Capa Skyline do Dubai, com Burj Khalifa como acento tónico

Fonte: FREARSON, Amy. (2016). Dezeen. Disponível em:

<<https://www.dezeen.com/2016/01/26/conflict-turmoil-stall-megatall-skyscraper-era-adrian-smith-gordon-gill-architecture-burj-khalifa/>>.

Acesso em: 26 de Outubro de 2022.

Figura 126 | Página 107 Burj Khalifa, ao centro, como acento tónico do Dubai

Fonte: KIVLEHAN, Noella Pio. (2021). RICS. Disponível na Internet em:

<<https://www3.rics.org/uk/en/modus/built-environment/urbanisation/buildings-that-elevated-cities--dubai-s-burj-khalifa.html>>.

Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

Figura 127 | Página 110 Axonometria do Programa do Burj Khalifa, como acento tónico do Dubai

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2017). "Burj Khalifa / SOM", ArchDaily. Disponível na Internet em: <<https://www.archdaily.cl/cl/882211/burj-khalifa-som>>.

Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

Figura 128 | Página 110 Corte e plantas dos lobbies aéreos do Burj Khalifa

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2017). "Burj Khalifa / SOM", ArchDaily. Disponível na Internet em: <<https://www.archdaily.cl/cl/882211/burj-khalifa-som>>.

Acesso em: 21 de Novembro de 2022.

Figura 129 | Página 113 Restaurante At.Mosphere

Fonte: DOBSON, Jim. (2019). FORBES. Disponível na Internet em: <<https://forbes.com.br/escolhas-do-editor/2019/09/guinness-anuncia-recordes-de-hoteis-e-restaurantes/#foto13>>.

Acesso em: 21 de Novembro de 2022.

Figura 130 | Página 114 Vista do Observatório At the Top, no piso 124º

Fonte: (2019). VERSATILLE. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://versatille.com/nas-alturas-burj-khalifa-abre-deck-de-observacao-para-ver-o-nascer-do-sol/>>.

Acesso em: 21 de Novembro de 2022.

Figura 131 | Página 114 Vista do Observatório At the Top, no piso 125º

Fonte: (2015). Guinness World Records. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.guinnessworldrecords.com/news/commercial/2015/2/the-burj-khalifa-soars-into-the-record-books-with-the-world%E2%80%99s-highest-observation-370929>>.

Acesso em: 21 de Novembro de 2022.

Figura 132 | Página 115 Vista do Observatório At the Top Sky, no piso 148º

Fonte: Dubai Tickets. [em linha]. Disponível na Internet em: <<https://www.dubai-tickets.co/pt/burj-khalifa/entradas/>>.

Acesso em: 21 de Novembro de 2022.

Figura 133 | Página 116 Representação do núcleo central e dos contrafortes do Burj Khalifa

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2022). Youtube. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.youtube.com/watch?v=8aXAW3mXN9w&ab_channel=Lescisportugu%C3%AAs>.

Acesso em: 23 de Novembro de 2022.

Figura 134 | Página 117 Esquema do funcionamento dos contrafortes na resistência aos ventos do Dubai

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2022). Youtube. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.youtube.com/watch?v=8aXAW3mXN9w&ab_channel=Lescisportugu%C3%AAs>.

Acesso em: 23 de Novembro de 2022.

Figura 135 | Página 117 Camuflagem dos contrafortes enquanto elementos presentes nos ambientes

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2022). Youtube. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.youtube.com/watch?v=8aXAW3mXN9w&ab_channel=Lescisportugu%C3%AAs>.

Acesso em: 23 de Novembro de 2022.

Figura 136 | Página 118 Esquema das paredes perpendiculares aos contrafortes do Burj Khalifa

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2022). Youtube. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.youtube.com/watch?v=8aXAW3mXN9w&ab_channel=Lescisportugu%C3%AAs>.

Acesso em: 23 de Novembro de 2022.

Figura 137 | Página 119 Esquema das 'vigas I' formadas pelas paredes perpendiculares aos contrafortes

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2022). Youtube. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.youtube.com/watch?v=8aXAW3mXN9w&ab_channel=Lescisportugu%C3%AAs>.

Acesso em: 23 de Novembro de 2022.

Figura 138 | Página 123 Formato da base do Burj Khalifa

Fonte: Produção própria, adaptado de: (2022). Youtube. [em linha]. Disponível na Internet em: <https://www.youtube.com/watch?v=8aXAW3mXN9w&ab_channel=Lescisportugu%C3%AAs>.

Acesso em: 24 de Novembro de 2022.

Figura 139 | Página 123 Inspiração que terá estado na origem do formato da base do Burj Khalifa

Fonte: (2021). CADBE. [em linha]. Disponível na Internet em:

<<https://cadbe.es/burjkhalifaoeedificioamasaltodelmundola-nueva-relacion-delo-espanol-con-la-vivienda-2/>>.

Acesso em: 24 de Novembro de 2022

Siglas e Acrónimos

- BIM** – Building Information Modeling
- CBD** – Central Business District
- CTBUH** – Council on Tall Buildings and Urban Habitat
- dC** – depois de Cristo
- NASA** – National Aeronautics and Space Administration
- SOM** – Skidmore, Owings & Merrill
- TMD** – Tuned Mass Damper

Introdução

A presente dissertação expõe os conceitos técnicos que foram o fundamento do trabalho iniciado na Unidade Curricular de Projeto III, cujo estudo teve como objeto principal 'a Torre'. Ao imergir neste tema, pudemos defrontar-nos com uma realidade que, de tão evidente que é, nunca lhe fora atribuído o devido valor.

A torre, desde os primórdios da humanidade, tem sido um dos grandes símbolos das civilizações, devido a vários fatores como a versatilidade de poder ser útil a vários programas ou de ser algo intemporal, paralelamente ao facto de que é característica de um tempo próprio. Ao se observar uma torre medieval por exemplo, percebem-se as marcas da passagem temporal assim como a própria forma da torre, da mesma forma que se virmos uma torre da renascença italiana, são evidentes os estilos adotados. Isso porque são características de um tempo único. Contudo, conforme veremos no decorrer deste estudo, a ideia de 'Torre' permanece até à contemporaneidade, obviamente já não associada a funções defensivas, mas a questões de orgulho.

Ao idealizar uma torre, qualquer torre, existe um princípio basilar que é transversal a todas elas. Uma qualquer estrutura que seja bastante alta para o padrão, já é considerado uma torre. Conforme o autor Hans Mausbach (MAUSBACH, H. 1997:162 e 163), "a imagem da cidade só se torna inconfundível devido aos seus pontos destacados, acentos tónicos ou símbolos que dominam pela sua escala. Trata-se de pontos de referência ... que permanecem ligados ao nome e à imagem da cidade. O essencial destes símbolos não é de modo algum a sua forma artística, mas antes o efeito produzido pela sua massa, a sua escala relativamente aos edifícios que os rodeiam."

Contudo, na presente dissertação veremos que os critérios para a definição de uma torre não são assim tão lineares. Ao se pensar nas primeiras civilizações, os Romanos por exemplo já construíam torres, torres de defesa, torres de observação, como forma de defesa é certo, mas sobretudo sob a forma de afirmar o seu poder e demonstrar ao próximo que eles tinham a capacidade para tal feito. Esta necessidade de afirmação foi essencialmente o atributo que prevaleceu no tempo relativo a este tipo de edifícios.

Ao fazer uma análise das cidades contemporâneas, facilmente perceberemos este atributo. Pudemos analisar o *skyline* de qualquer cidade para perceber que nenhuma torre têm a mesma altura, isto porque a próxima torre a construir, certamente terá a ambição de ser maior que a anterior, por uma questão de ego, de afirmação, e assim sucessivamente, até que as cidades se vão compondo com falos eretos no meio da malha urbana.

Assim, a construção em altura é o grande símbolo das cidades modernas e quiçá do futuro, associada a sistemas construtivos cada vez

mais evoluídos e a questões relacionadas cada vez mais com a sustentabilidade. Ao realizar um estudo daquilo que foram as primeiras torres no passado, permitir-nos-á analisar os conceitos que levaram ao seu aparecimento e assim compreender o motivo de serem, neste momento, o ponto de viragem para uma nova fase da arquitetura, numa época cada vez mais tecnológica.

Com esta análise, procuraremos compreender a evolução dos conceitos da construção em altura ao longo do tempo, assim como analisar a qualidade de vida das cidades com os seus indicadores nos edifícios em altura. Ainda, tentaremos perceber os motivos que levaram ao abandono de uma expansão horizontal do território face à nova expansão vertical.

Para atingir tais objetivos, decidimos investigar, de forma metodológica, a história das 'torres' num contexto da evolução arquitetónica, ao longo das épocas, assim como realizar uma análise morfológica e tipológica sustentada em casos de referência sobre os edifícios em altura. Por último, procuraremos compreender as motivações estéticas e psicológicas que levaram as torres e os 'arranha-céus' a desenvolverem tais designs, assim como compreender a sua expressão através da tecnologia atual incorporada nos edifícios em altura.

Com base na metodologia e nos objetivos suprarreferidos, foi necessário estruturar a presente investigação segundo uma linha de pensamento coerente, de forma a evidenciar o que importa analisar. Assim, decidimos desenvolver a nossa análise ao longo de três capítulos.

No primeiro capítulo, designado "Enquadramento histórico", faremos uma análise afinçada sobre o conceito de 'Torre', assim como das principais variantes deste tipo de estruturas, desde os primórdios das reconquistas cristãs. De seguida, debater-nos-emos sobre as motivações que levaram a que o Homem começasse a construir este tipo de estruturas, e os motivos que levaram à sua proliferação pelas cidades modernas. Posteriormente, introduziremos o aparecimento dos arranha-céus nos meados do século vinte, assim como os seus antecessores e precursores. Por último, veremos qual o impacto que estes tiveram e continuam a ter no contexto das cidades.

Já no capítulo segundo, intitulado de "Problemas e soluções dos sistemas construtivos aplicados aos arranha-céus", debruçar-nos-emos, conforme explícito no título, sobre os mais variados problemas que se podem encontrar quando construímos edifícios desta magnitude, que por sinal são dos mais complexos entre todos. Sucessivamente, faremos uma análise da evolução dos sistemas construtivos que foram utilizados nos primeiros arranha-céus desde o século dezanove até aos sistemas utilizados nos dias atuais.

Posto isto, veremos aquilo a que se pode chamar 'o salto alto' dos arranha-céus, uma altura que é construída meramente para deixar o edifício mais bonito ou simplesmente mais alto. Ainda em relação aos

problemas, será feita uma análise às ações que estes edifícios podem estar expostos e quais as soluções que podem ser adotadas de forma a evitar os danos e até mesmo a falha total dos edifícios. Em última caso, verificaremos o desenvolvimento da tecnologia que, neste momento, tem vindo cada vez mais a ser o aspeto diferenciador de proposta para proposta, com os mais recentes avanços nesta área.

Por último, faremos a análise de um caso de estudo que, à data da presente investigação, detém o título de 'edifício mais alto do mundo', pelo Guinness World Records, o edifício Burj Khalifa na cidade do Dubai nos Emirados Árabes Unidos. Com uns assombrosos 828 metros de altura, este edifício garante o título desde 2010, ano em que foi concluído. O arquiteto responsável elevou tanto a fasquia, que todos os arranha-céus construídos desde há doze anos até à atualidade tiveram de repensar a premissa de construir mais alto que o anterior, pois esta parecia uma meta intangível. Desta forma, ao longo deste capítulo analisaremos o seu extenso programa funcional, assim como todo o contexto sobre o qual o Burj foi pensado e construído. Posteriormente faremos uma análise intensiva acerca do sistema estrutural incorporado no edifício, analisando tópicos como o tipo de núcleo que fora utilizado, algumas estruturas adicionais que foram acopladas à estrutura base, a sua solução para combater as ações dos ventos do deserto do Dubai, o tipo de fundações utilizadas num solo tão instável como é a areia e o tipo de tecnologia que este tem incorporado na sua construção.



1 Enquadramento histórico

1.1 Introdução - o conceito de 'Torre' e suas variantes

Desde os primórdios da humanidade que o Homem sempre teve a necessidade de se proteger dos mais diversos fatores, como os animais ou do clima. Para tal, começou por desenvolver pequenas construções nas encostas das montanhas passando daí para construções agrupadas como os castros da idade do ferro, quando o Homem deixou de ser nómade.

Com o passar do tempo, foram sendo aprimorados conhecimentos e explorados novos materiais, levando a que o próprio conceito de civilização fosse também sofrendo mutações, passando os homens a viver em pequenos aglomerados que eram criados, junto de rios ou em zonas geograficamente estratégicas. Estes aglomerados, tendo a necessidade de se protegerem, começaram a executar outras formas além das superfícies muralhadas.

Assim, surgiu o conceito de torre, nesta fase da história, como um edifício cuja visibilidade pudesse abranger todo o conjunto civilizacional e espaços envolventes.

Etimologicamente falando, torre provem do latim 'turris' e, segundo o dicionário de língua portuguesa, designa uma construção elevada, geralmente em pedra ou tijolo que tanto pode ser redonda, quadrada ou angular. No entanto, qualquer pessoa define uma torre no seu imaginário como um elemento altíssimo e icónico.

Contudo, esta questão de que as torres são elementos altos, é muito relativo variando de perspectiva para perspectiva, pois o que pode ser um elemento alto para uns, a mesma opinião pode não ser unanime.

Assim, o CTBUH (*Council on Tall Buildings and Urban Habitat*) definiu um conjunto de normas e padrões internacionais com o intuito de classificar os edifícios em altura, sendo estas utilizadas pela principal entidade agregadora deste tipo de edifícios, o *Skyscraper Center*.

Assim, segundo essas normas, não é claro aquilo que se pode considerar um edifício alto, sendo algo mais subjetivo e relativizado.

Dependendo do seu contexto, um edifício pode ser considerado muito alto ou muito baixo. Tomemos como exemplo um edifício qualquer de 100 metros de altura. Se este edifício fosse inserido em qualquer cidade portuguesa, esta torre era considerada um edifício alto pois todos os demais são baixos. Contudo, se for implantada esta mesma torre numa cidade como Nova Iorque, a nossa torre seria completamente abafada no meio de todos aqueles colossos.

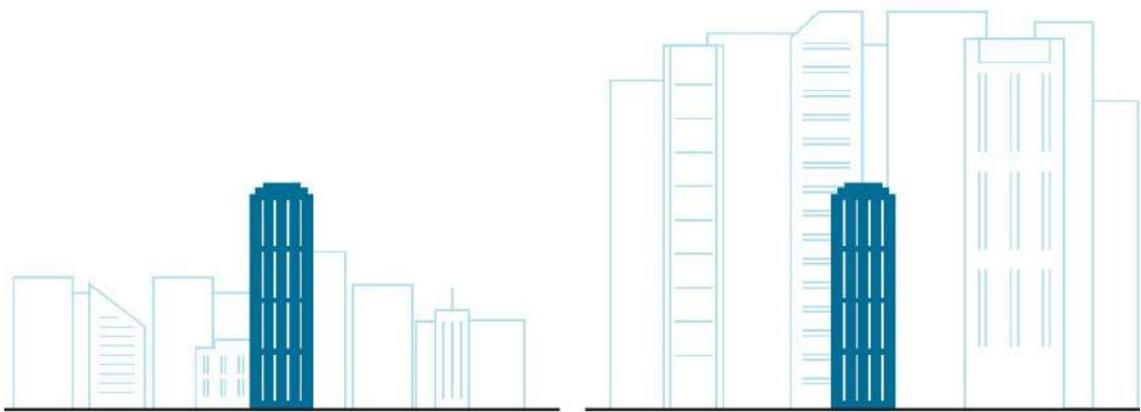


Figura 002 | Exemplo de relatividade entre ser um edifício alto ou não ser

Então, uma torre pode ou não ser considerada alta dependendo da relação com o contexto na qual for inserida, e nem por isso é desconsiderada uma torre.

Não sendo esta uma premissa confiável, o CTBUH definiu que um edifício não necessitaria de ser assim tão alto para ser denominado como torre, desde que a sua implantação fosse suficientemente estreita para o aspeto formal ser algo assumidamente vertical e não tanto horizontal. Pelo contrário, um edifício pode ter 200 metros de altura, mas se a sua forma evidenciar mais horizontalidade que verticalidade, então este não é considerado uma torre (ou um arranha-céus como é denominado na contemporaneidade).

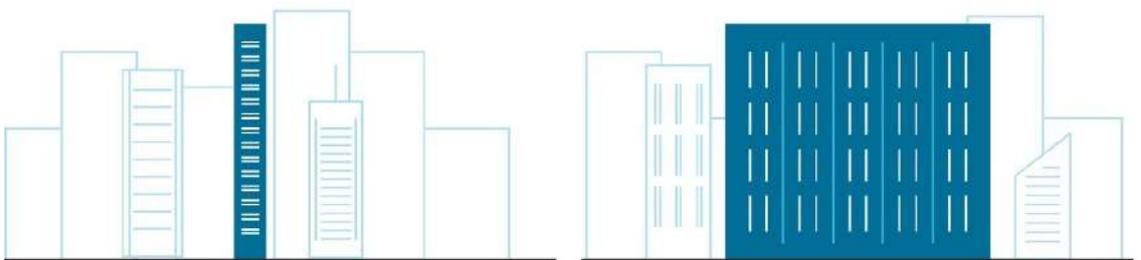


Figura 003 | Exemplo de proporção entre verticalidade e horizontalidade

Por último, as normas para edifícios altos definem ainda que se um edifício possuir qualquer tecnologia utilizada tipicamente em edifícios altos, como sendo um reforço na estrutura para combater as ações dos ventos, ou um meio de locomoção vertical de longas distâncias, este pode ser considerado um edifício alto pelo *Skyscraper Center*.

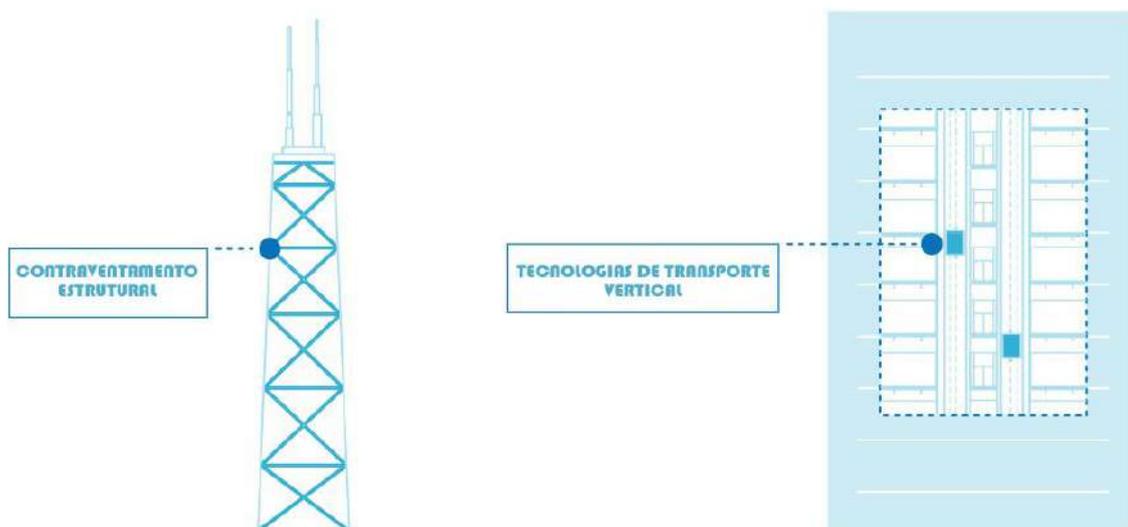


Figura 004 | Exemplo de tecnologias utilizadas em edifícios altos

Contudo, com o desenvolvimento desta definição, e os edifícios numa constante evolução em altura, o CTBUH criou três categorias para organizar os arranha-céus. Estas, tem por base a altura e não o número de pisos, porque estes podem variar de lugar para lugar ou até enquanto aos seus usos (se for uma habitação, o pé direito será mais baixo do que se for um espaço corporativo, por exemplo).

Assim, os edifícios organizam se como 'edifícios altos' ou '*Tall Buildings*' (quando a sua altura é inferior a 300 metros), como 'edifícios super altos' ou '*SuperTall Buildings*' (quando a sua altura fica compreendida entre 300 e 599 metros) e como 'edifícios mega altos' ou '*MegaTall Buildings*' (quando a sua altura é igual ou superior a 600 metros).

Percebido aquilo que é considerado uma torre, pudemos analisar que, com o decorrer do tempo, as civilizações foram se complementando umas às outras e compartilhando conhecimentos, levando a que outros tipos de torres começassem a ser desenvolvidas, partindo da mais simples torre de observação até ao mais complexo edifício em altura.

1.1.1 As torres de menagem

Numa época onde as construções ainda eram maioritariamente construídas em madeira e apenas as zonas fortificadas eram construídas por "...pedra mal emparelhada e sem argamassa..." (MONTEIRO, J, PONTES, M. 2002: 7), as construções em altura era algo que nem todos tinha capacidade de fazer. Apenas o castelo e as cercas muralhadas tinham estas construções mais altas para que, pela sua elevação face às demais construções, permitisse uma ampla visão dos arredores e do perímetro da muralha. Assim, do topo das torres de menagem, por entre as ameias¹, podia-se facilmente ter uma base de alcance sobre todo o perímetro do castelo, do aglomerado e da muralha.

Estas construções podem ter tido origem num outro tipo de fortificações chamadas "mota", que foram estruturas defensivas primitivas antecessoras aos castelos e às torres de menagem, encontradas no Norte de França e regiões vizinhas, datadas do século VIII.

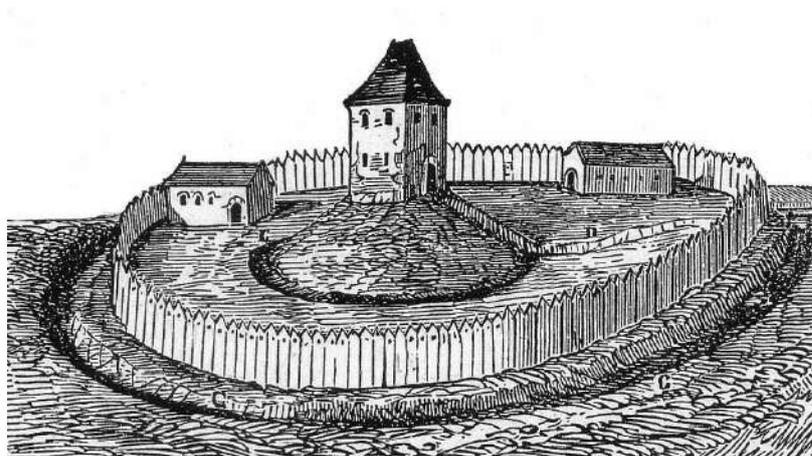


Figura 005 | Exemplo de uma estrutura 'mota'

Estas estruturas são "... o tipo de castelo europeu mais antigo conhecido e que ostenta características marcadamente senhoriais, por continuar a ter como missão a defesa da residência do chefe." (NUNES, A. 2005: 12) Encontram-se exemplos claramente desenvolvidos a partir das motas como o 'donjon' francês, o 'keep' inglês ou o 'Wohnturm' alemão com o objetivo claro de proteger o monarca.

1 Abertura no top dos edifícios fortificados da idade média por onde se atirava sobre o inimigo



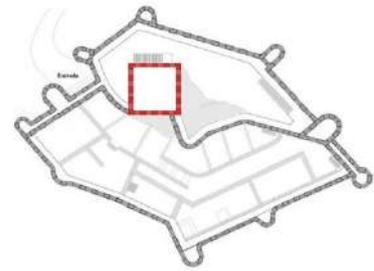
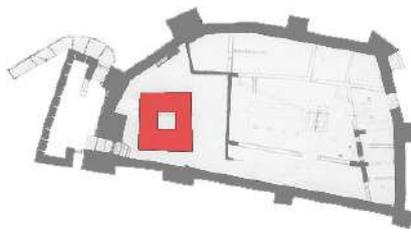
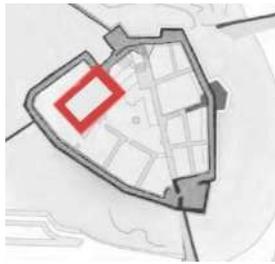
Figuras 006 e 007 | Exemplo de 'Donjon' francês e 'Keep' inglês, respetivamente



Figura 008 | Exemplo de 'Wohnturm' alemão

Semelhante às *torres del homenaje* em Espanha ou às *Bergfried*² na Alemanha, em Portugal a torre de menagem foi sendo introduzida na **segunda metade do século XII**. De acordo com António Lopes Pinto Nunes (Dicionário de Arquitectura Militar, 2002, p. 14), a torre de menagem "Terá sido trazida da Palestina para Portugal por D. Gualdim Pais, mestre dos templários, quando regressou das cruzadas.", em 1157. Por este motivo, os castelos pertencentes à ordem dos Templários foram os primeiros a ter uma torre de menagem isolada na muralha, como sendo o castelo de Tomar (1160), o castelo de Pombal (1171) e o castelo de Almourol (1171).

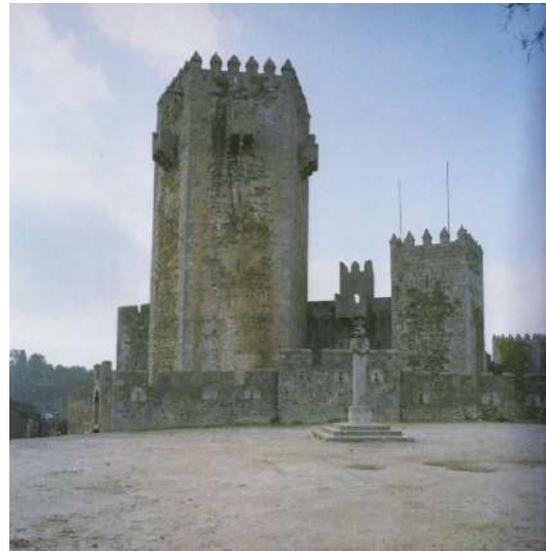
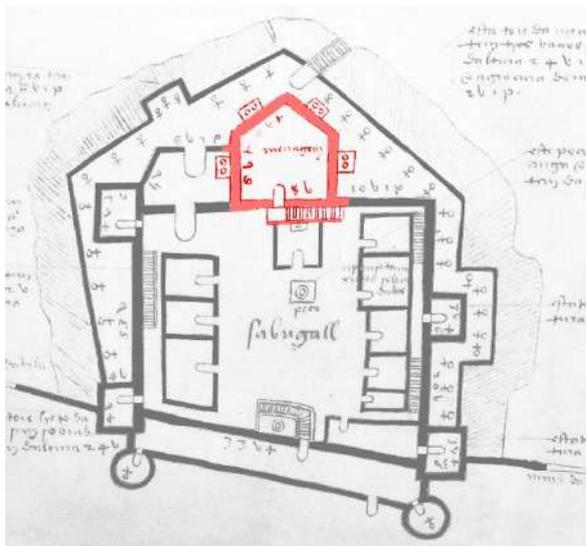
2 *Bergfried* é uma torre alta encontrada em castelos da idade média em países de língua alemã. A sua diferença para as torres de menagem é que estas não eram projetadas para serem utilizadas como habitação permanente.



Figuras 009, 010 e 011 | Plantas dos castelos de Tomar, Pombal e Almourol, respetivamente, com torre de menagem em evidência

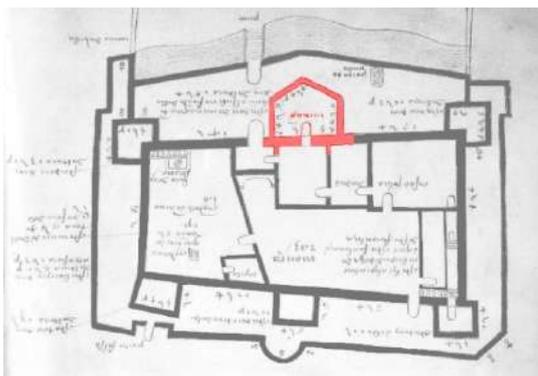
Estes exemplares da arquitetura militar que prevaleceram desde os primórdios das conquistas portuguesas, serviam como último reduto de defesa em caso de ataque. Era para aqui que a personagem do Alcaide³, “...deixando o conforto da sua alcaidaria, se dirigia no exercício de funções militares” e “prestava o juramento de menagem...” (NUNES, A. 2005: 15).

No decorrer dos **séculos XIII e XIV**, as torres de menagem não sofreram grandes transformações. Contudo, algumas destas torres, começam nesta altura a ter uma forma poligonal, o que permitia a possibilidade de maior amplitude de disparo em caso de ataque. Pode-se encontrar alguns exemplos deste tipo nos castelos de Sabugal e de Monsaraz.



Figuras 012 e 013 | Planta e alçado poente da torre de menagem do castelo de Sabugal

3 Senhor e governador feudal de um castelo e comandante da sua guarnição.

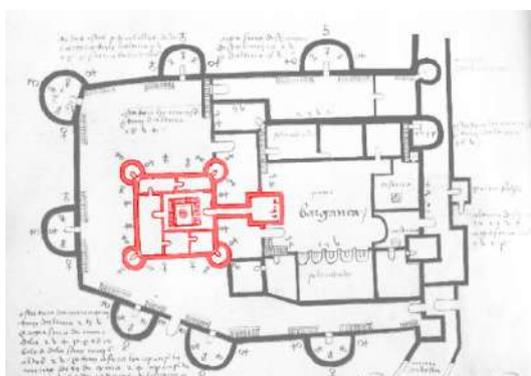


Figuras 014 e 015 | Planta e alçado norte da torre de menagem do castelo de Monsaraz

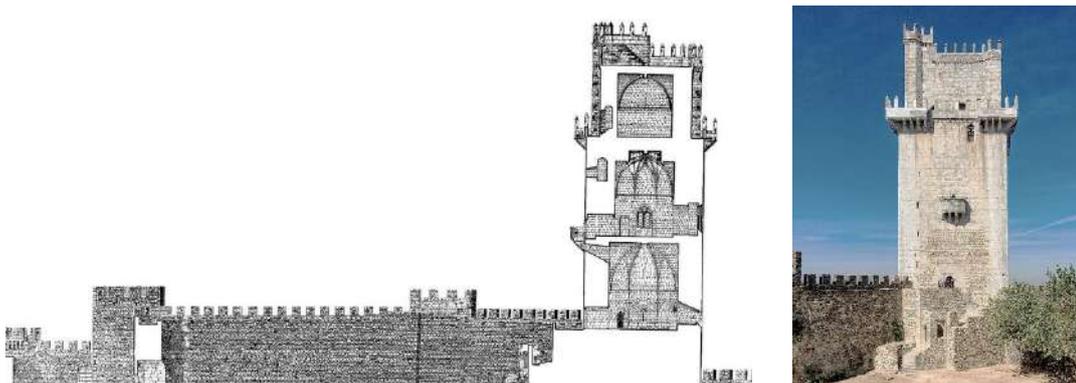
No século XV, as torres de menagem ganham um aperfeiçoamento relativamente às funções habitacionais, com uma ampliação da área por piso e em altura e ainda um aumento da decoração das janelas e dos andares nobres. Estas alterações podem ser facilmente perceptíveis nas torres de menagem dos castelos de Bragança, Estremoz e Beja, sendo estes dois últimos, segundo o autor Paulo Pereira (PEREIRA, P. 2022: 185 e 186): “Obra de grande vulto, estética e tecnologicamente avançada, é a torre do castelo de Estremoz, com 27 metros de altura. Trata-se de um trabalho meticuloso em que é possível ver o máximo desenvolvimento dos dispositivos desenvolvidos nos tempos de D. Dinis...”. Ainda “Uma das derivações castrenses já ensaiadas em Estremoz encontra-se na torre de menagem do castelo de Beja. É a mais alta torre de menagem no território português, com os seus imponentes 38 m de altura.



Figura 016 | Vista mascente/sul da torre de menagem de Estremoz



Figuras 017 e 018 | Planta e alçado nascente/sul da torre de menagem de Bragança



Figuras 019 e 020 | Corte Longitudinal e alçado nascente da torre de menagem de Beja

Estes exemplares da arquitetura militar medieval começaram a ter cada vez menos presença **a partir do século XVI**, com a mudança da artilharia neurobalística⁴ e o desenvolvimento da artilharia pirobalística⁵, que passa a ser capaz de penetrar facilmente as cercas muralhadas das fortalezas medievais, de acordo com João Grave (GRAVE, J. 16 e 17), “Os castelos perderam, porém, toda a sua importância, com a descoberta das peças de fogo que permitiam aos sitiantes abrir largas brechas, de longe, nas suas espessas cortinas de pedra...”. Deste modo, “...as fortificações transformaram-se inteiramente” de forma que pudessem dar uma resposta eficaz aos novos desenvolvimentos militares. Assim, “as muralhas, que eram sempre muito elevadas, baixaram sensivelmente, passando a ser construídas em rampa e ampliando-se os seus adarves de maneira a poder-se montar neles fortes canhões. Por sua vez as torres transformaram-se em bastiões, oferecendo aos adversários uma resistência incomparavelmente maior...”.

Estas fortalezas perderam todas as características dos castelos medievais assumindo, no entanto, um novo elemento que se assemelha às anteriores torres de menagem, os baluartes, que nada mais é que um elemento “... de planta pentagonal irregular, que se destacava nos ângulos salientes de duas cortinas contíguas ou noutros pontos vulneráveis.” (NUNES, A. 2005: 58).

Existem, contudo, alguns exemplares onde a passagem de um modelo de defesa para outro foi tão progressiva que até aos dias atuais é possível de se encontrar partes da estrutura inicial, tipicamente feudal, em justaposição com o modelo adotado de baluartes. Um dos exemplos é o castelo de Palmela onde “... podem ser vistas... a muralha com as respetivas portas e a torre de menagem. Repare-se também nas muralhas

4 “Artilharia utilizada na defesa e no ataque a castelos, antes do aparecimento da pólvora...” (NUNES, A. 2005: 50)

5 “Artilharia utilizada na defesa e no ataque a castelos e a todas as fortalezas posteriores ao final do séc. XIV”, onde as armas começam a “utilizar a combustão da pólvora como força impulsionadora dos projéteis...” (NUNES, A. 2005: 20)

abaluartadas e nos revelins, mandados construir pelo rei Pedro I..." (MONTEIRO, J, PONTES, M. 2002: 20).

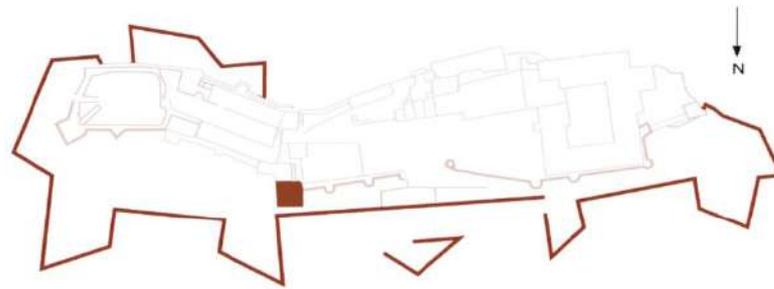


Figura 021 | Planta do conjunto fortificado de Palmela com os baluartes e a torre de menagem

1.1.1.1 Organização funcional

O funcionamento das torres de menagem foi sofrendo alterações ao longo dos tempos, a nível de localização e de organização funcional. De planta quadrangular, retangular ou poligonal, geralmente tinham entre 10 a 30 metros de altura.

Usualmente, as torres de menagem e até mesmo todo o complexo do castelo eram implantados sobre um maciço rochoso de forma a conferir mais solidez à estrutura, podendo estar no centro do perímetro muralhado ou adossado à cerca muralhada. As torres, principalmente as da primeira época, eram compostas por poucas aberturas, de forma a impedir os projeteis de atingirem os defensores. As únicas aberturas visíveis eram pequenas frestas utilizadas para o disparo de flechas - as seteiras -, que foram evoluindo com o tempo em vários tipos.

O andar térreo não tinha qualquer abertura efetivando se a entrada pelo primeiro piso. Esta deslocação da entrada deve-se ao facto de impedir o assalto à torre em caso de ataque, sendo utilizada uma escada de madeira para se entrar na mesma (no caso de a torre não estar adossada à muralha). Caso estas duas estivessem separadas por uma curta distância, era utilizada uma ponte amovível, em madeira, para garantir a segurança. Esta escada teria de ser facilmente removível para que, em caso da restante estrutura fortificada ter sido tomada, a torre funcionasse como último refúgio de defesa, como um *bunker* dentro do próprio castelo. Temos exemplos destes nas torres de menagem dos castelos de Almourol (Figura 022) e Guimarães (Figura 023).

Este princípio também foi tido em consideração nas construções abaluartadas do século XVI, onde os fortes utilizaram pontes amovíveis para entrar nos complexos fortificados. É exemplo disto o forte de S. Francisco Xavier, no Porto (Figura 024).

Habitualmente, o piso térreo, por ser um piso "inacessível" pela parte de fora, era ocupado no interior por espaços de arrumos, inerentes às necessidades da torre. Por sua vez, o piso 1, lugar onde ficava a entrada,

era ocupado pela habitação do senhor feudal. Este andar, usualmente composto por um único cómodo, servia todas as necessidades à vida privada e governativa do senhor da torre, como sendo a sala de receção e de concelho, um espaço mais pessoal de estar e comer e, finalmente, a zona de dormir. Nos pisos superiores, situava-se a estadia do corpo militar, com acesso direto pela habitação do piso 1.



Figuras 022 e 023 | Acesso às torres de menagem dos castelos de Almourol e Guimarães

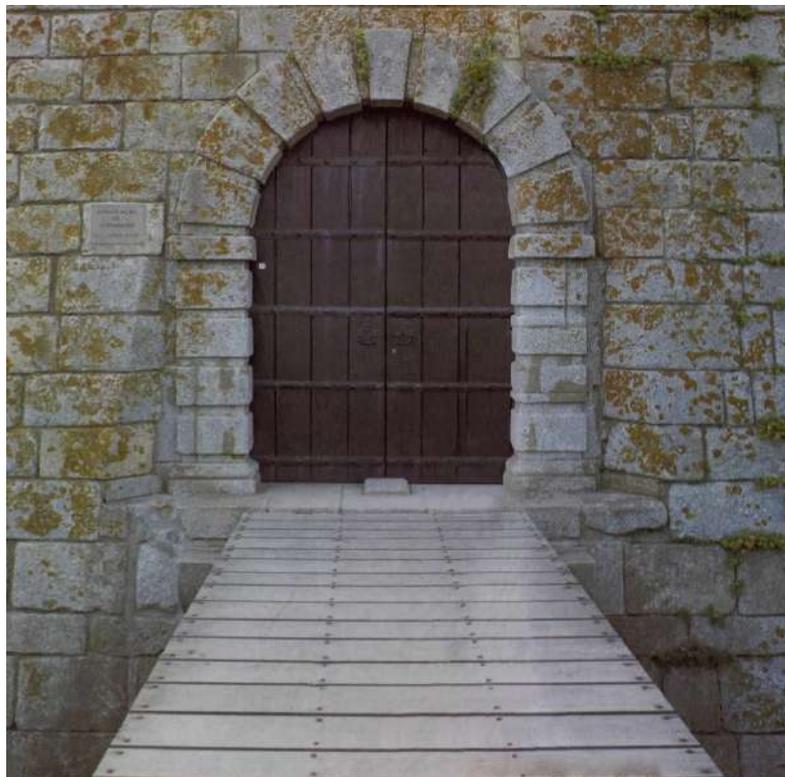


Figura 024 | Acesso ao Forte de S. Francisco Xavier

1.1.2 As torres Sineiras

A torre sineira, como o próprio nome anuncia é uma estrutura elevada cujo objetivo é conter os sinos de determinada cidade ou localidade por forma a anunciar sonoramente alguns episódios da vida quotidiana. Coexistindo paralelamente aos campanários, o termo “torre sineira” é a denominação predominante na arquitetura civil, enquanto o termo “campanário” é relativo aos edifícios religiosos.

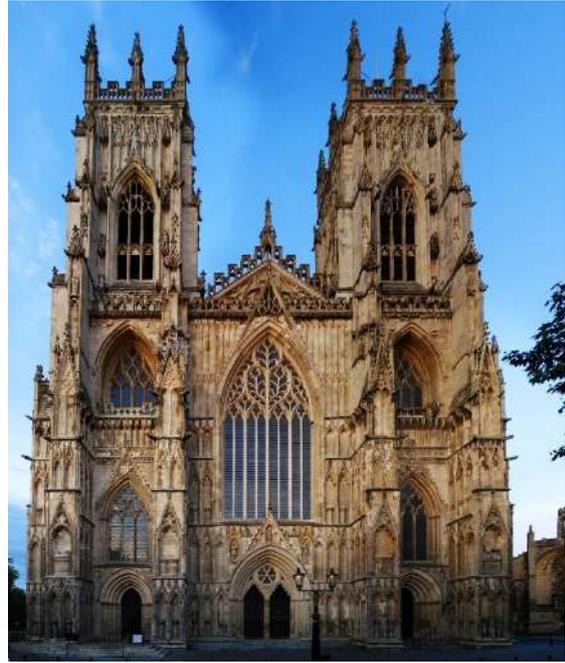
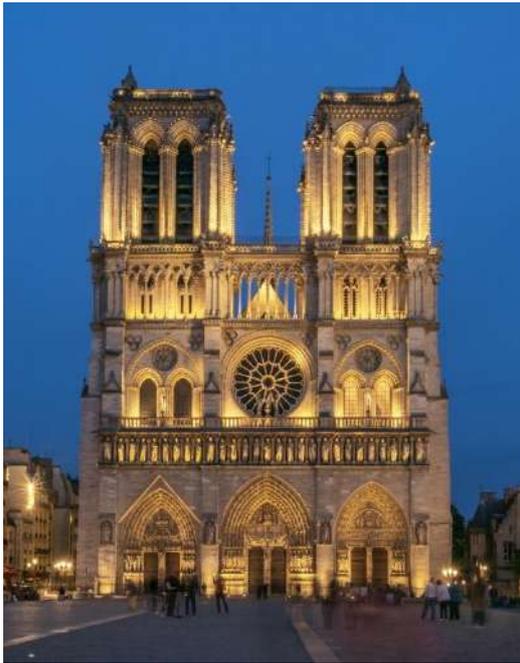
1.1.2.1 Campanários

A definição da palavra campanário deriva do alemão ‘*bērvrit*’, que é uma palavra composta pelos termos ‘*preservar*’ e ‘*paz*’. Assim, pode-se afirmar então que no lugar onde exista um campanário, existe a preservação de um sítio de culto, um lugar onde se preserva a paz. Já a palavra portuguesa, terá tido origem do italiano ‘*campana*’.

O seu aparecimento remete ao período da colonização europeia pelos invasores bárbaros sob o domínio do cristianismo, mas assumem o seu máximo desenvolvimento com as catedrais e mosteiros da idade média, onde a função destas estruturas verticais era anunciar à população os eventos religiosos, assim como cerimónias fúnebres ou casamentos. Com o avançar do tempo, as sociedades medievais perceberam que a utilização dos sinos, por ser um elemento de referência nas cidades e vilas, podiam servir para mais do que apenas as cerimónias religiosas, como a anunciação de algum desastre ou catástrofe, como incêndios, perigosíssimos na idade média pelo traçado apertado e construções em madeira.

Neste tempo, as torres eram construídas sem muita decoração, muito envoltos no espírito defensivo vigente da época, devido ao facto de que era nestas estruturas que se guardavam os objetos mais preciosos da cidade.

Os campanários, podem ocupar algumas posições em relação ao edifício propriamente dito. Usualmente, a tipologia para estas estruturas é flanquearem a fachada principal, padrão que vingou nas catedrais medievais da Europa como é o caso da França com a catedral de *Notre-Dame* em Paris, na Inglaterra com a catedral de *York* em *York Minster*, na Alemanha com a catedral de Colónia em Colónia e ainda em Portugal com as Sés como a Sé de Lisboa. Outra tipologia destas estruturas é sobre o cruzeiro como acontece na catedral de Canterbury onde os sinos não estão localizados nas torres da fachada principal, mas na torre zimbório, podendo este ser denominado de campanário.



Figuras 025 e 026 | Catedral de *Notre-Dame* e Catedral de *York*, respetivamente



Figuras 027 e 028 | Catedral de *Colónia* e *Sé de Lisboa*, respetivamente

Em Itália existe ainda uma outra tipologia destas estruturas denominadas de “campanários livres”, onde estas não se encontram adossadas ao edifício religioso. Alguns exemplos deste tipo de estrutura são a Torre de Pisa que é um complemento à catedral de Pisa (em Pisa) e a Torre de Giotto que complementa enquanto campanário a catedral de Florença (em Florença). Por último temos ainda uma outra tipologia de campanário onde este fica adossado à parte tardoz da igreja como é o exemplo da Torre dos Clérigos, no Porto.



Figura 029 | Torre de Pisa, em Pisa (Itália), anexada à Catedral de Pisa



Figuras 030 e 031 | Torre de Giotto, em Florença (Itália), anexada à Catedral de Florença e Torre dos Clérigos, no Porto, anexada à Igreja dos Clérigos, respetivamente

1.1.2.2 Torres Sineiras

Por sua vez, as torres sineiras encontradas na arquitetura civil, podem ser vistas em edifícios como as câmaras municipais ou espaços de grande importância para a sociedade. Em Itália encontram-se alguns exemplos deste tipo de estruturas como no “*Palazzo Vecchio*” a torre de Arnolfo (em Florença) e no “*Palazzo Comunale*” a torre de Mangia (em Siena). Também na França e Bélgica encontram-se alguns exemplos deste tipo de torres que foram classificados como Património Mundial pela Unesco sob o nome de “*Belfries of Belgium and France*”. Alguns exemplos destas são a “*Belfroi d'Arras*” em Arras, França onde a torre sineira está anexada à camara municipal ou a torre do “*Hotel de ville de Bruxelles*”, junto da *Grand-Place* de Bruxelas, na Bélgica.



Figuras 032 e 033 | Torre de Arnolfo, no *Palazzo Vecchio* (em Florença) e Torre de Mangia, no *Palazzo Comunale* (em Siena), respetivamente



Figuras 034 e 035 | Belfroi d'Arras, em Arras (França) e Torre do *Hotel de Ville de Bruxelles*, em Bruxelas (Bélgica), respetivamente

1.1.2.3 Minaretes

Existe ainda um outro tipo de edifício com características semelhantes às dos campanários que são conhecidos como minaretes. Estes minaretes são estruturas tipicamente religiosas do mundo árabe que tem como função, semelhante aos sinos nos campanários, ser ouvidos a grandes distâncias devido à sua altura e cujo principal objetivo é anunciar aos fiéis as chamadas diárias para a oração, feitas pelo “*almuadem*”.

A denominação ‘minarete’ tem tradução do árabe como ‘*manāra*’ significando ‘farol’. Fazendo um paralelismo com aquilo que os campanários simbolizam (lugar de preservar a paz), os minaretes são lugares para onde os fiéis são orientados (através do ‘farol’), a se deslocarem para encontrar abrigo, para encontrar a paz. Um ótimo exemplo destas estruturas pode ser encontrado na Mesquita de Hassan II, em Casablanca (Marrocos), onde o minarete de 200 metros de altura pode ser visto de dia e de noite a quilômetros de distância.



Figura 036 | Minarete da Mesquita de Hassan II, em Casablanca (Marrocos)

1.1.3 Torres de Habitação, de Escritórios e torres Mistas

Na Itália da idade média, começaram a aparecer algumas torres pontuais, pertencentes à burguesia que se desenvolvera neste período. Porém, existe uma diferença entre as torres adjacentes à muralha e ao castelo e estas torres burguesas. As torres muralhadas, como já mencionado, serviam apenas como defesa e vigia dos terrenos circundantes à muralha. Por sua vez, as torres burguesas, muito mais esbeltas e ornamentadas ostentavam poder no seio do burgo medieval.

Analisou-se o exemplo das torres de Bolonha do século XII, que chegavam a ter entre 80 a 100 metros de altura, cujo exemplo mais proeminente é o da torre *Asinelli*, com 97 metros de altura, sendo um dos marcos mais famosos daquela comuna italiana. Um outro exemplar deste tipo de construções é a cidade de *San Gimignano*, cujos edifícios que demarcam o *skyline* da cidade são exatamente as suas torres, compreendidas entre 50 a 70 metros de altura. No entanto, estas torres, para além de serem um marco da cidade medieval e até contemporânea, foram mais do que apenas símbolos de poder.



Figuras 037 e 038 | Torre Asinelli, como acento tónico de Bolonha e históricas torres de San Gimignano, respetivamente

San Gimignano foi um ponto crucial nas peregrinações até Roma pela via *Francigena*⁶. Reconhecendo a importância da cidade, os patrícios⁷ mandaram construir aproximadamente 70 torres-casa para servir como hospedagem aos peregrinos. Assim, estes edifícios eram uma forma de afirmação e de demonstração de poder, mas também uma fonte de rendimento para a família. Atualmente, apenas alguns exemplares dessas

6 A via *Francigena* foi um percurso extremamente importante na idade média romana, pois conectava territórios pertencentes aos Francos até Roma. É uma via que passa pela Inglaterra, pela França, pela Suíça e Itália. A primeira descrição desta rota é proveniente do século X, relatada pelo bispo Sigerico (arcebispo da Cantuária), que em 990 depois de Cristo (dC) deslocou-se a Roma para receber o pálio por esta via.

7 Os patrícios eram as famílias que tinham como propriedade algumas terras da Roma antiga, possuindo os poderes política e económico das cidades.

torres se mantêm construídas, mas existem referências históricas e maquetes daquilo que fora a cidade na sua origem, no museu na cidade.⁸

Já os primeiros exemplares de torres da **idade contemporânea** que começaram a aparecer foram as torres de escritórios e residenciais, que surgiram nas cidades de Nova Iorque e de Chicago, no fim do século XIX e início do século XX. Por tradição, as construções das cidades daquela época eram relativamente constituídas por prédios baixos devido aos métodos construtivos até então desenvolvidos.

Contudo, com uma especulação económica devido à recente guerra civil americana e ao uso massificado dos terrenos das cidades, tornou-se inviável continuar com os tradicionais blocos habitacionais, pois perceberam que quantas mais habitações conseguissem colocar num único terreno, mais rentável ele seria. Foi nessa altura que desenvolveram as primeiras torres, edifícios mais altos que davam resposta à elevada procura de espaço, evoluindo gradualmente para os então arranha-céus. É certo que isso apenas foi possível devido aos incrementos tecnológicos desenvolvidos, como a introdução de estruturas de aço, a iluminação elétrica e o elevador.

Estes elementos combinados, tornaram possível a comercialização desta nova tipologia de edifícios, sendo o *Home Insurance Building* considerado o primeiro, construído em Chicago no ano de 1885, tendo servido de exemplo a uma série de outros edifícios altos que foram construídos nos anos seguintes, sendo já rotulados como arranha-céus.

Chicago fora a primeira cidade na corrida para a construção de arranha-céus. Com influência daquela que foi a escola de arquitetura de Chicago, os edifícios construídos nesta época tiveram preocupações com um chamado *design* comercial e a padronização dos elementos, produzindo grandes prédios retangulares e apresentando um conjunto de relações e proporções, como simetrias, embasamentos e uma repetição das janelas, com lojas e restaurantes no piso térreo e escritórios ou apartamentos para alugar nos pisos superiores.

Porém, em 1892 foi proibido em Chicago a construção de arranha-céus com mais de 45 metros de altura, passado Nova Iorque a assumir a liderança e a ganhar o título de cidade dos arranha-céus.

Foi no decorrer da primeira década do século XX que uma nova corrida se estabeleceu em Nova Iorque na construção de edifícios em altura, com a procura de novos edifícios para sediar as emergentes empresas da cidade. Edifícios como o *Flatiron Building* (1902), o *Singer Building* (1908) ou o *WoolWorth Building* (1913) foram grandes exemplos desses arranha-céus comerciais com referências à escola de Chicago.

⁸ Informação disponível na Internet em: <<http://www.sangimignano1300.com/>>. Acesso em 29 de Outubro de 2022



Figuras 039 e 040 | Flatiron Building (Nova Iorque) em 1902 e Singer Building (Nova Iorque) em 1908, respectivamente



Figura 041 | Woolworth Building (Nova Iorque) em 1913

Contudo, apesar de terem sido grandes êxitos, muitos destes exemplares foram contestados pela imprensa e pela população por terem deturpado o *skyline* da cidade e por terem deixado ruas e quarteirões completamente na sombra⁹. Esse problema resolveu-se com a introdução da lei de zonamento de 1916, em Nova Iorque. Esta legislação, “tomou como modelo o famoso Edifício Woolworth de Nova Iorque: a ocupação da área total do lote era permitida até uma certa altura; a partir daí, os pisos deveriam recuar num ângulo que permitisse uma iluminação adequada da rua. No entanto, edifícios ou partes de edifícios que ocupassem menos de 25% de um lote, podiam subir até alturas ilimitadas.”¹⁰

Os edifícios continuaram a crescer em altura como é exemplo o *Chrysler Building* ou o *Empire State Building*, em 1930, atingindo cada vez mais, novos recordes, com 319 e 380 metros, respetivamente. Contudo, com a grande depressão de 1929, as pessoas passaram a olhar para os arranha-céus de forma pejorativa. Foi somente através da cultura popular como os filmes, a fotografia e até a literatura, que a população voltou a olhar para estes exemplares como símbolos da modernidade e da ciência.

Deu-se a segunda guerra mundial e com isto, os arranha-céus ganharam outras formas e outros *designs*, com a introdução dos ideais trazidos pelos mestres da Bauhaus. Com esta escola de *design*, veio também um dos grandes nomes da arquitetura do século vinte, o arquiteto Ludwig Mies van der Rohe que trouxe grandes contributos a este tipo de torres modernas.

Ele, em conjunto com outros arquitetos e engenheiros estruturais, revolucionou o *design* das torres de escritórios, com o seu expoente no *Seagram Building*, em Nova Iorque e as torres habitacionais com os 860-880 *Lake Shore Drive*, em Chicago. O abolimento de elementos decorativos, em conjunto com o seu princípio “menos é mais”, fez com que a sua arquitetura, relativamente às torres, evoluísse e se tornasse um modelo a seguir até aos dias contemporâneos. Com o uso de elementos padronizados de aço, Mies agregou aquilo que trouxera da Bauhaus com o novo estilo *high-tech* para criar um estilo próprio, um estilo precursor que foi seguido por muitos outros arquitetos posteriores a ele, o ‘Miessianismo’.

9 “O primeiro código de zonamento da cidade foi promulgado quando os nova-iorquinos começaram a recear que edifícios altos lançassem a cidade na escuridão eterna. As pessoas temiam a propagação de arranha-céus volumosos como o Edifício *Equitable*, na 120 Broadway, no Distrito Financeiro. Elevando-se a 42 andares ..., espalhou uma sombra de sete hectares pelo centro da cidade quando foi inaugurado em 1915.” BUI, Quoc Trung, CHABAN, Matt Av, WHITE, Jeremy. 2016. 40 Percent of the Buildings in Manhattan Could Not Be Built Today, in *New York Times*, publicado a 30/05/2016. Disponível na Internet em:

<<https://www.nytimes.com/interactive/2016/05/19/upshot/forty-percent-of-manhattans-buildings-could-not-be-built-today.html>>. Acesso em 29 de Outubro de 2022

10 TEIXEIRA, Carlos M. (2012). De volta a 1916 – Sobre o concurso para edifício Park Avenue 425. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/13.148/4566>>. Acesso em 29 de Outubro de 2022.

1.2 As motivações, da necessidade ao exibicionismo

Ao pensar no conceito de torre, um objeto que por definição tem mais espacialidade vertical que horizontal, podemos perceber que ao longo da história da humanidade existiram vários motivos que levaram a este tipo de expansão urbana.

Ao refletir sobre isto, esta ideia remeteu-nos para o evolucionismo de Charles Darwin, onde a ideia da "luta pela sobrevivência" prevalece na sociedade. É certo que estas ideias dizem respeito à evolução das espécies, mas fazendo um paralelismo com a nossa sociedade, o Homem faz o mesmo que os animais, luta por ser o mais forte, por se afirmar perante o outro, não por um problema de sobrevivência, mas por um problema de teor existencial. O Homem sempre teve a necessidade de atingir o intangível como no período gótico com a construção das catedrais tão altas como se tocassem o céu. Assim, esta necessidade de transcendência, fez com que o homem começasse a construir cada vez mais, de forma a deixar a sua marca.

Seguindo esta linha de raciocínio, desde as primeiras civilizações que o homem teve a pretensão de se afirmar e marcar uma posição, não entre espécies, mas entre civilizações. Temos o caso da pirâmide de Quéops (popularmente conhecida como grande pirâmide de Gizé), construída no antigo Egito, em 2560 antes de Cristo. Ficou conhecida como "a mais antiga das sete maravilhas do mundo antigo" e a única que não pereceu no tempo. Construída como túmulo para o faraó Quéops, foi a estrutura mais alta feita pelo Homem durante 4110 anos, até 1550 dC, quando foi concluída a catedral de Lincoln com 160 metros de altura, no Reino Unido.

É certo que nenhuma destas estruturas é considerada habitável, mas o ego do Homem ao mostrar ao próximo que pode fazer maior e melhor pode-se perceber também nos edifícios de habitação.

Por volta do século XX, a construção e os próprios materiais foram evoluindo com o ser-humano e, com o **aparecimento da arquitetura moderna**, da Bauhaus e do betão armado, as estruturas dos edifícios deixaram de ser construídas em alvenaria e passaram a ser pensadas com estruturas em aço, conseguindo que os edifícios pudessem agora duplicar o seu tamanho e utilizar quase toda a sua área como útil pois as paredes já não teriam toda a carga de suporte podendo ser mais delgadas. Com estes novos desenvolvimentos construtivos, esta nova forma de construir espalhou-se rapidamente pelas cidades dos Estados Unidos e pelo mundo, ganhando 'A Torre' um papel importante no *skyline* das cidades modernas, como símbolo e acento tónico das mesmas.

Esta nova tipologia de edifícios permitiu que as grandes cidades como Nova Iorque e Chicago crescessem de forma espontânea pois agora poderiam concentrar num único quarteirão dez vezes mais de pessoas do que em qualquer outro período da história da humanidade. Este desenvolvimento, exigido por necessidades económicas, esteve intimamente relacionado com a escola de Chicago e com arquitetos como Louis Sullivan.

Em pleno século vinte, o Homem, ao fazer uma retrospectiva de tudo o que alcançara até então, determinou que ainda tinha essa necessidade primitiva de se autoafirmar perante os outros e, assim, começa uma disputa para ver quem conseguia fazer o edifício mais elevado, a desafiar tudo e todos. São vários os exemplos que comprovam esta disputa pelo orgulho, ficando descritos na história como sendo os primeiros arranha-céus de sempre, sendo eles o *Chrysler Building* em 1930, o *Empire State Building* também em 1930 e mais tarde o *Rockefeller Center* em 1939.



Figuras 042, 043 e 044 | o *Chrysler Building* (1930), o *Empire State Building* (1930) e o *Rockefeller Center* (1939), respetivamente

Esta disputa pelo título de 'edifício mais alto' não foi, contudo, um mero capricho. Sob o ponto de vista urbano, este tipo de construção foi uma estratégia urbana para contornar um dos principais problemas capitalistas do século XX. O preço dos terrenos nas grandes cidades, inflacionou descontroladamente com esta procura e os empresários descobriram a solução para contornar este problema, construir em grande densidade, porém concentrado num único quarteirão, num único terreno, pagando

muito menos por estes. Este conceito serviu de referência para que uns anos mais tarde se construíssem edifícios que privilegiam o solo, tornando este cada vez mais permeável, permitindo o desenvolvimento natural dos solos. Um edifício onde este conceito foi colocado em prática foi construído no ano de 1945, em Marselha, ficando conhecido como um dos ícones da arquitetura moderna do século XX, a unidade habitacional do arquiteto Le Corbusier. É certo que esta obra não pode ser considerada uma torre nem tão pouco um arranha-céus pela sua dimensão horizontal, mas em termos de ganhar altura e libertar espaço permeável, este é um belíssimo exemplo.

Passados vinte e cinco anos, no último quartel do século XX, os arquitetos ainda mantinham essa disputa antiga que vinha sendo progressivamente mais desafiante que a anterior, com os avanços tecnológicos cada vez a emergir mais rapidamente, na década de 1970 e 1980 é construído, aquele que seria conhecido como o *World Trade Center* em Manhattan, Nova Iorque. Deste complexo composto por sete torres, destacavam-se as duas primeiras, conhecidas pela alcunha 'torres gémeas', cuja torre *World Trade Center One* possuía 417 metros de espaços comerciais e a *World Trade Center Two* possuía 415 metros. Estas, passaram a ser os edifícios mais altos do mundo depois do *Empire State Building*, tendo sido ultrapassadas pela *Willis Tower* em Chicago (anteriormente *Sears Tower*).



Figura 045 | Skyline da baixa de Manhattan com as 'torres gémeas' a sobressaírem-se

Contudo, o título de edifício mais alto do mundo permaneceu nos Estados Unidos desde que essa disputa entre alturas despoletou. Foi somente no ano de 1998 que as *Petronas Twin Towers*, na Malásia, obtiveram o título de torres mais altas do mundo, sendo as primeiras a obter tal distinção fora dos Estados Unidos, com um total de 452 metros de espaços de escritórios.



Figuras 046 e 047 | *Petronas Twin Towers* (1998), em Kuala Lumpur

Com a entrada no século XXI, o desenvolvimento tecnológico sofreu um impulso gigante no ramo da domótica, o que levou a que os arquitetos contemporâneos elevassem o seu ego mais uma vez e fossem capazes de continuar a evoluir, demonstrando que os limites são barreiras ultrapassáveis e apenas são colocadas como meta a alcançar.

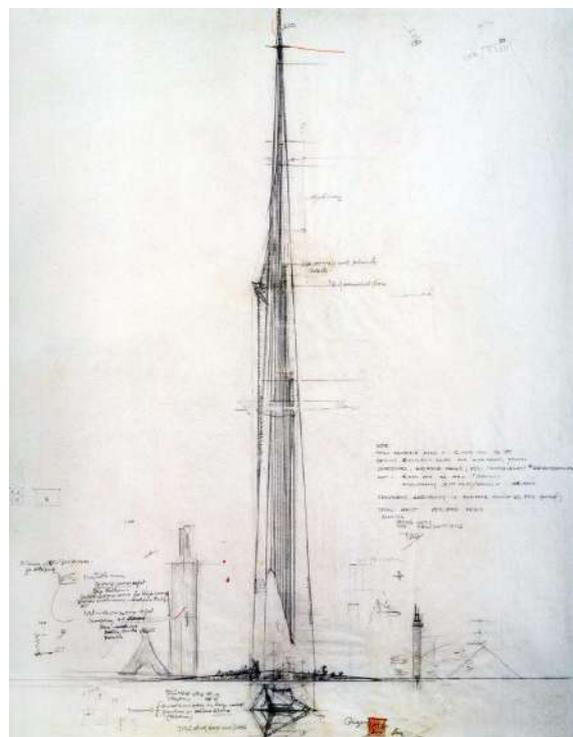
Surgiu então em 2004 um arranha-céus em Taiwan, que se diferenciou dos demais. O *design* deste edifício foi pensado para estabelecer um paralelismo entre a cultura asiática, proveniente do local, com a modernidade importada pela necessidade de desenvolvimento. Assim, foi construído o '*Taipei 101*' que é considerado um acento tónico de Taiwan.



Figura 048 | *Taipei 101* (2004), em Taiwan

Há data, o edifício mais alto do mundo é o *Burj Khalifa*, construído no deserto do Dubai, no meio dos Emirados Árabes Unidos. Este edifício construído entre 2004 e 2009 com os seus 828 metros de altura, ultrapassou o 'Taipei 101', sendo, portanto, o arranha-céus mais alto já feito pelo Homem. Com funções mistas, o *Burj Khalifa* é a peça de remate de um complexo com dois quilómetros quadrados que compõe o *Downtown* do Dubai. O arquiteto responsável por este edifício foi Adrian Smith, ex-colaborador da Skidmore, Owings & Merrill (SOM) (que nada mais é que a empresa de arquitetura e engenharia responsável por construir a *Sears Tower*). Contudo, outra empresa que construiu o *Burj Khalifa* foi a *Samsung Engineering*, que participou na construção das *Petronas Twin Towers*.

Porém, existe um aspeto que ressalta ao olhar mais apurado. Observando a silhueta do *Burj Khalifa* no horizonte, a sua forma piramidal e o seu programa, remete-nos pelas suas semelhanças para um projeto utópico dos anos 50, da autoria do arquiteto Frank Lloyd Wright, que idealizou um projeto híbrido, o qual batizou de *Mile-High Illinois*, para Chicago onde contabilizava um total de 528 andares distribuídos ao longo de 1600 metros de altura, sendo composto por zonas de escritórios, zonas residenciais e ainda por um hotel. Este edifício utópico, não só era impensável para a altura, como teria o dobro da altura do *Burj Khalifa*, que fora construído cinquenta anos depois.



Figuras 049 e 050 | *Burj Khalifa* (2010) no Dubai e *Mile-High Illinois* (1956), respetivamente

1.3 O aparecimento dos arranha-céus

Os primeiros vestígios das torres como são conhecidas nos dias de hoje surgiram por volta do último quartel do século XIX, no seio das cidades americanas, como Nova Iorque e Chicago. Com as tecnologias existentes à época, já se construía edifícios com alguns pisos, mas a necessidade de evoluírem surge pós um crescimento económico considerável impulsionado pela guerra civil americana, onde o uso do solo urbano foi cada vez mais intensivo.

Com algumas melhorias tecnológicas provenientes dos avanços metalúrgicos da época, a utilização de aço nas estruturas permitiu que estes suportassem maiores cargas e atingissem alturas muito mais elevadas das até então possíveis. Um fator decisivo para que estas adaptações funcionassem foram os novos mecanismos acessórios que viriam mais tarde a revolucionar o habitar das pessoas nas grandes metrópoles. Destes mecanismos, são exemplo a introdução dos elevadores, da iluminação e da energia elétrica, fatores que impulsionaram o desenvolvimento de uma nova classe de edifícios, mais altos, que possibilitando às cidades fazer o 'upgrade' necessário de forma a rentabilizar ainda mais os espaços urbanos.

1.3.1 A 'primeira' torre

Em 1885 surge o primeiro protótipo desta nova tipologia de edifícios, em Chicago, denominado "*Home Insurance Building*" com apenas 42 metros de altura. Contudo, a construção prolongou-se no tempo porque as autoridades da época tiveram receio que este desmoronasse. Assim, cinco anos mais tarde, em 1890 o edifício foi concluído com mais dois pisos dos 10 inicialmente pensados, somando um total de 55 metros.¹¹

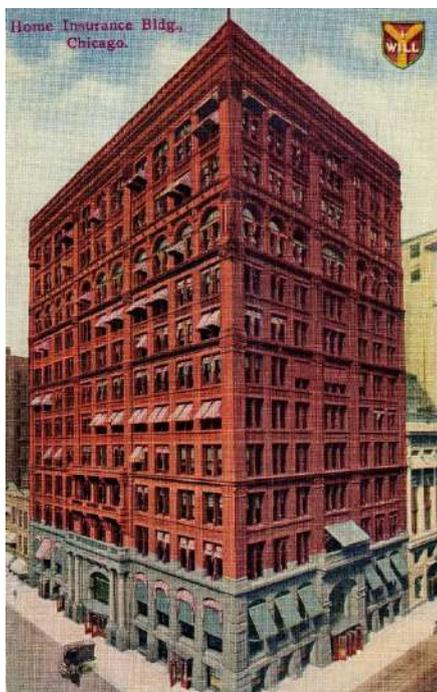
A pessoa responsável por esta grande experiência foi o arquiteto William LeBaron Jenney, cujo contrato de trabalho consistia na construção de um edifício em altura, à prova de fogo, que servisse de sede à empresa com o mesmo nome. É possível afirmar que foi um protótipo porque o que o arquiteto fez foi criar um endosqueleto composto por colunas verticais em aço e vigas horizontais no mesmo material, o que contrastou com os edifícios adjacentes cuja construção e estabilidade era atribuída através de paredes feitas em alvenaria de pedra.

Este tipo de construção em aço era mais leve, como ainda tinha maior suporte de carga e, assim, as paredes não tinham a necessidade de ser tão

11 HISTÓRIA. (2010). Home Insurance Building. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.history.com/topics/landmarks/home-insurance-building>>. Acesso em 29 de Outubro de 2022

espessas, possibilitando ao edifício ser mais alto sem perigo deste desmoronar. À parte das questões construtivas, o "*home insurance building*" foi bem-sucedido pois além de ser considerado o primeiro de uma nova tipologia de edifícios, serviu de mote para o incremento das outras inovações tecnológicas já mencionadas como os elevadores e o contraventamento feito com a própria estrutura.

Apesar de ter sido considerado por muitos como a primeira 'torre' dos tempos modernos e por ter servido de experiência para o maior desenvolvimento arquitetônico dos séculos sucessivos, o *home insurance building* foi demolido em 1931. Uma outra grande parte dos nova-iorquinos acredita que o primeiro foi o *equitable life building*, concluído em 1870, por ter sido o primeiro a introduzir elevadores comerciais de passageiros.



Figuras 051 e 052 | *Home Insurance Building* (1890) em Chicago e *Equitable Life Building* (1870), respectivamente

O sucesso do trabalho experimental de Jenney foi tão importante que inspirou outros arquitetos na América e no mundo a utilizarem este novo método construtivo e, inclusive, a complementarem-no com novos avanços tecnológicos decorrentes da evolução do tempo. Esta obra serviu ainda de mote para que ele e um conjunto de arquitetos e engenheiros fundassem aquela que ficaria conhecida como a Escola de Chicago, numa vertente arquitetônica, onde aparece pela primeira vez a nomenclatura de 'arranha-céus'. Embora Nova Iorque se tenha apropriado mais tarde do título de cidade dos arranha-céus, por elevar a fasquia até ao impensável, graças ao trabalho de Jenney e do restante grupo da escola de arquitetura de Chicago, esta manteve o título de cidade berço dos arranha-céus.

1.3.2 A escola de Chicago - arquitetura e urbanismo.

Depois do grande incêndio de Chicago em 1871, a cidade que perdera nove quilómetros quadrados de área residencial, deixou cerca de cem mil habitantes sem residência. Os representantes de Chicago depararam-se com um problema catastrófico que teriam de resolver rapidamente e com algumas influências da escola de Glasgow, rapidamente definiram um planeamento de uma série de novos edifícios.

Conhecida pela introdução do 'estilo comercial', a escola de Chicago dos finais do século XIX destacou-se pela substituição dos elementos estruturais de alvenaria pelo aço, passando a ser produzidos em série. Com esta padronização dos elementos, surgem as primeiras fachadas contínuas, com a repetição dos elementos e as geometrias evidentes. Foi através desta padronização que os edifícios puderam duplicar a sua altura, não acrescentando peso aos mesmos.

Com novos estudos nos sistemas dos alicerces, da resistência e do isolamento, a estrutura ortogonal veio possibilitar uma nova organização das plantas o que permitiu a introdução de sistemas de canalização. Esta nova forma de construir, também permitiu que fosse estudado um novo sistema de revestimento de parede, uma vez que já não necessitava de ser estrutural, servindo apenas para enclausurar o edifício. Este sistema ficou conhecido como fachada cortina que, de forma sucinta, consistia em grandes áreas de parede envidraçada, sendo utilizado até aos dias atuais.

Este sistema tornava cada vez mais difícil a utilização de elementos de ornamentação externa, pois ainda se vivia num espírito de construção intrinsecamente ligado ao passado, muito eclético, mas com o passar do tempo, a ornamentação foi caindo cada vez mais em desuso, aproximando-se do estilo modernista da arquitetura defendido pela Bauhaus.

É possível perceber este ecletismo e até um certo pastiche neoclássico nos edifícios relacionados à escola de Chicago. Muitos deles, podem ser divididos em três partes, sendo os primeiros andares mais largos agindo como uma base, os andares intermédios frequentemente com pouca ornamentação, mas com uma limpeza que gera altura visual e por último os últimos andares que concluem o edifício com uma cornija e mais detalhes ornamentais. Com estas três partes percebemos a semelhança a uma coluna clássica com a sua base mais larga, o eixo da coluna que serve para atribuir altura e estabilidade e por fim o capitel que serve de remate, muito mais esbelta que as outras partes.

Um dos arquitetos que apareceu nesta fase da história foi Frank Lloyd Wright, que começou no escritório de Louis Sullivan e rapidamente percebeu que não era esta vertente que queria trabalhar, mas serviu para o impulsionar a desenvolver a denominada arquitetura moderna.

1.3.3 A Bauhaus e o início da arquitetura moderna

Quando a Europa ainda recuperava da primeira guerra mundial, na Alemanha fora implementado um novo regime. Este, muito mais liberal que o antecessor, despoletou uma onda de experiências radicais, fortemente influenciadas pelos movimentos vanguardistas. No entanto, houve quem pensasse que estas ideias eram exageradas mesmo para a época e eis que surge Walter Gropius, um arquiteto alemão que já havia defendido que as artes deveriam ser pensadas como um todo unido e não de forma isolada como até então havia os grupos de pintores, ou grupos de escultores, etc. É possível perceber isto no seguinte excerto extraído do Manifesto da Bauhaus, em 1919:

“Arquitetos, escultores, pintores - todos devemos voltar ao artesanato! Pois não existe tal coisa como "arte como profissão". Não existe grande diferença entre o artista e o artesão. O artista é um artesão enaltecido. A graça divina, em raros momentos de iluminação para além da vontade do homem, pode permitir que a arte floresça da sua mão, mas os fundamentos da mestria são indispensáveis a todo o artista. Esta é a fonte original do design criativo.¹²

Em Abril de 1919, Walter Gropius inaugura a escola de Artes Bauhaus, “uma combinação entre uma academia de belas artes e uma escola de artesanato” (GLANCEY, J. 2001: 174). A relação do desenho de produto com a produção industrial era algo imprescindível nas ideias de Gropius e, portanto, estava presente nas propostas e na conceção dos ideais da escola. Os ideais de um *designer* inglês do século XIX, William Morris, foram vincadamente tidos em consideração pela Bauhaus, ideais esses que defendiam que não deveria existir independência entre a forma e a função.¹³

Assim, o movimento Bauhaus foi marcado pela ausência de ornamentação (uma vez que não trazia nada de útil ao edifício) e pela harmonia entre a função e a utilização. Trouxe sobre uma libertação dos conceitos ideológicos e a implementação de um certo pragmatismo na arquitetura, ou seja, a casa era agora uma casa, um espaço de habitar, sem significado e transcendência alguma.

12 Fonte disponível na Internet em: <<https://bauhausmanifesto.com/>>. Acesso em 29 de Agosto de 2022

13 Essa citação ficaria na história como pertencente ao arquiteto Louis Sullivan: “*Form follows function*”.

Algumas das principais características que foram utilizadas e inseridas pela Bauhaus foram a utilização das paredes exteriores completamente desprovidas de qualquer elemento decorativo, confinando na cobertura, plana, transformada em terraço. Ainda as janelas foram uma peça fundamental, cobrindo grandes áreas de fachada, através de grandes aberturas. Quanto às paredes internas, estas foram abolidas de forma a libertar o espaço.

No entanto, em 1925, a Bauhaus de Weimar foi encerrada por incompatibilidade entre o governo e o atual diretor Walter Gropius.

Contudo, em 1926, esta reabre em Dessau, o que “proporcionou a Gropius a oportunidade perfeita para dar forma física à sua ideia do edifício se tornar na síntese de todas as artes” (GLANCEY, J. 2001: 174) (Figura 053).

Nos quatro anos seguintes, a direção foi alterando, culminando na escolha de Ludwig Mies van der Rohe, amigo e colega de Gropius desde 1907 onde trabalharam juntos com Le Corbusier no escritório de Peter Behrens¹⁴, como último diretor da Bauhaus.

Quando assumiu a direção da escola, Mies lutou por uma vertente mais construtiva e arquitetónica. Procurou ainda dedicar-se ao “...estudo das novas tendências arquitetónicas, embora também tenham continuado os cursos de *design* gráfico...” (GLANCEY, J. 2001: 174) Foi aqui que ficara conhecida a famosa citação dele: “*Less is more*”.



Figura 053 | Edifício da Bauhaus desenhado por Walter Gropius (1926)

14 Peter Behrens foi um arquiteto e *designer* alemão, considerado por muitos como o primeiro *designer* da história e considerado o precursor do modernismo.

Em 1932, o nazismo espalhou-se por toda a Alemanha e não tardou a chegar a Dessau, colocando todas as experiências e liberdade de expressão em questão. Isto fez com que Mies van der Rohe tomasse a decisão de realocar a escola da Bauhaus em Berlim, numa antiga fábrica devoluta, decisão que durou apenas mais um ano até que em 20 de Julho de 1933, uma intervenção da Gestapo levou ao seu encerramento definitivo.

Com o fim definitivo da Bauhaus, uma grande parte das pessoas que estudaram e lecionaram lá emigraram, possibilitando a “disseminação global do conceito da Bauhaus.”¹⁵

O local onde mais se disseminaram os conceitos da Bauhaus foi nos Estados Unidos. A cidade de Chicago foi escolhida para essa ‘*New Bauhaus*’ (atualmente instituto de *design* do Instituto de tecnologia do Illinois), tendo sido fundada por Lászlo Moholy-Nagy, por Walter Gropius e por Mies van der Rohe, tornando-se assim os arquitetos mais influentes de arquitetura moderna nos Estados Unidos.

Estes três arquitetos (sendo Mies o principal), contribuíram para incorporar o modernismo nos estados unidos da América. É certo que o modernismo teve influência da Bauhaus, mas também em França, Le Corbusier deu importantes contributos para esta nova forma de fazer arquitetura. Ele definiu cinco pontos que, de forma simplificada, resumiam a arquitetura moderna que ele defendia: **a fachada livre** (desprovida de qualquer ornamentação), **as janelas horizontais** (compridas, mas com uma altura controlada), a elevação do edifício em **pilotis**, **o terraço jardim** (onde incorpora na cobertura plana vegetação) e a **planta livre** (de modo que cada um pudesse organizar o espaço à sua maneira). Também não se pode descartar Frank Lloyd Wright, que já havia implementado um conjunto de princípios equivalentes aos arquitetos mencionados, mas o estilo modernista ficou oficialmente estabelecido aquando do primeiro CIAM¹⁶, na Suíça.

15 IMBROISI, Margaret; MARTINS, Simone. (2022). Bauhaus. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.historiadasartes.com/nomundo/arte-seculo-20/bauhaus/>>. Acesso em 31 de Agosto de 2022

16 Os CIAM, ou os Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna, foram “uma organização fundada em 1928 e dissolvida em 1959, responsável por uma série de eventos e congressos organizados em toda a Europa pelos mais proeminentes arquitetos da época, com o objetivo de difundir os princípios de o Movimento Moderno...”. Fonte disponível na Internet em: <<https://www.hisour.com/pt/congres-internationaux-architecture-moderne-28191/>>. Acesso em 03 de Setembro de 2022.

1.3.4 Mies van der Rohe e a ‘Segunda Escola de Chicago’

No ano de 1940, surgiu nos estados unidos uma ‘segunda escola de Chicago’, com base no trabalho desenvolvido por Mies van der Rohe enquanto professor e diretor da escola de arquitetura do instituto de tecnologia do Illinois. Com os conceitos de uma arquitetura modernista e o princípio “*less is more*”, Mies descarta toda a arquitetura historicista, impondo a utilização de formas limpas e simples, transpondo estes mesmos princípios para os materiais, utilizando apenas grandes painéis envidraçados e perfis de aço para os elementos horizontais e verticais.

A primeira grande obra com base nos princípios da segunda escola de Chicago foi o 860-880 Lake Shore Drive Apartments (em 1951), devido à sua pureza e simplicidade. Projeto de Mies van der Rohe, este conjunto de torres habitacionais foi pensado para suportar 26 andares de habitações, sendo a torre 860 composta por 90 apartamentos de tipologia T3 e a torre 880 composta por 158 apartamentos de tipologia T1 (embora atualmente, alguns destes apartamentos tenham sido agregados para criar áreas maiores).

Este edifício destacou-se pela sua simplicidade estrutural e visual apenas por terem sido utilizados apenas vigas I na sua malha estrutural e apainelados de vidro para encerrar as paredes. Contudo, embora seja aparente que o vidro parece compor uma parede cortina, é apenas uma ilusão pois as janelas estão encastradas na estrutura. Assim, o primeiro arranha-céus a ter realmente uma parede cortina em justaposição com um exoesqueleto foi o 900-910 North Lake Shore (em 1956), também estes da autoria de Mies van der Rohe.



Figura 054 e 055 | 860-880 Lake Shore Drive Apartments (em 1951) e 900-910 North Lake Shore (em 1956), respetivamente



Figura 056 | Alçados do 860-880 Lake Shore Drive Apartments e do 900-910 North Lake Shore (em 1956), implantados lado a lado

Contudo, o auge do movimento moderno em arquitetura foi atingido em 1958, com o *Seagram Building*. Com todas estas obras, Mies contribuiu positivamente para o panorama da arquitetura moderna dos arranha-céus em meados do século XX, servindo de exemplo e referência às torres que seriam construídas nos anos posteriores e até a outros arquitetos que seguiriam a sua filosofia.



Figuras 057 e 058 | Alçado frontal e vista lateral do Seagram Building (1958)

Na década de 1960 surge em Chicago um engenheiro estrutural de nome Fazlur Khan que contribuiu para as ideias experimentais de Mies. A partir das estruturas dos projetos de Mies, ele desenvolveu um “conceito estrutural modular”¹⁷ que revolucionou a engenharia e a arquitetura dos arranha-céus até aos dias atuais.

O primeiro edifício onde este conceito foi colocado em prática foi o *Dewitt-Chestnut Apartment*, construído em Chicago em 1965 pelo grupo de arquitetura e engenharia SOM, no qual Khan era sócio. Depois de concluído e o conceito de Khan se ter difundido, vários outros arranha-céus posteriores adotaram este sistema estrutural, como foram os casos do *John Hancock Center* em 1969 e da *Willis Tower* em 1973. Foi o trabalho de Mies e posteriormente de Khan que fez com que a expressão “cidades no céu” ganhasse vida.



Figuras 059 e 060 | Vista do *John Hancock Center* (1969) e da *Willis Tower* (1973), respectivamente

Contudo existiam ainda edifícios a serem construídos durante os anos 70 que desprezavam o estilo moderno, acabando por se assemelhar a edifícios projetados antes dos anos cinquenta, podendo até ser considerados de estilo pós-moderno.

17 Ver capítulo “Aparecimento dos sistemas estruturais modulares”, na página 27.

Estes, contestavam alguns dos princípios centrais do modernismo, a partir de um ponto de vista histórico e compositivo. No entanto, estes começaram a ser contestados pelos modernistas pois eram edifícios com “*designs* caprichosos ao invés de racionais” além de serem “um desperdício de preciosos recursos naturais”¹⁸.

Em contrapartida, Khan “promoveu estruturas integradas à arquitetura e ao mínimo uso de material, resultando no menor impacto de emissão de carbono no meio ambiente” pois acreditava que “a próxima era de arranha-céus concentrar-se-á no meio ambiente, incluindo desempenho de estruturas, tipos de materiais, práticas de construção, uso mínimo absoluto de materiais / recursos naturais, energia incorporada nas estruturas e, mais importante, uma abordagem de sistemas de construção holisticamente integrados.”¹⁹

Mas não foi apenas o estilo pós-moderno que prosperou a par do estilo moderno nas cidades norte americanas. A partir dos anos oitenta, uma série de novos estilos começaram a crescer no seio das grandes cidades como Nova Iorque e Chicago, mas também nos países da Europa e Ásia. Começaram a aparecer arranha-céus com *designs* neoclássicos como o edifício *Messeeturm* em Frankfurt (Alemanha) ou o *AT&T* (atualmente *Sony Building*) em Nova Iorque.



Figuras 061 e 062 | Edifício *Messeeturm* em Frankfurt e o edifício *AT&T* em Nova Iorque, respetivamente

18 e 19 STRINGFIXER. (2021). Arranha-céus. [em linha]. Disponível na internet em: <https://stringfixer.com/pt/Office_tower>. Acesso em 04 de Setembro de 2022

1.4 Dos anos sessenta à atualidade

Depois dos enormes contributos do engenheiro Fazlur Khan e do arquiteto Mies Van de Rohe acerca das estruturas portificadas e modulares, que foram colocadas em prática nos edifícios 860-880 Lake Shore Drive Apartments (Chicago, 1951) e no edifício Dewitt-Chestnut Apartment (Chicago, 1965), estes sistemas foram sendo cada vez mais desenvolvidas até serem atingirem o seu auge com os edifícios John Hancock Center (Chicago, 1969) e Sears Tower, atual Willis Tower (Chicago, 1973).

Contudo, como nem só de aço se fazem arranha-céus, procurou-se outras formas de construir este tipo de edifícios. Assim, com a evolução do betão, este começou também a ser introduzido na construção dos arranha-céus, substituindo as colunas e vigas de aço por elementos de betão armado, funcionando de forma semelhante ao sistema portificado apresentado por Khan.

Pode se perceber aqui alguns contributos do engenheiro Pier Luigi Nervi, que trabalhou essencialmente com a plasticidade proporcionada pelo próprio material, cuja resistência obtida traz grande vantagens para este tipo de edifícios. Com grande habilidade na projeção sobretudo de hangares, Nervi conseguiu criar extensos elementos em betão armado resistentes à carga, elementos esses que traduzidos para os arranha-céus poderiam ser utilizados para a criação de grandes e amplos espaços como os lobbies de entrada, etc. As suas duas grandes obras onde pôde colocar todos os seus conhecimentos em prática relativamente aos arranha-céus foram a *Torre Pirelli*, em Milão (em parceria com o arquiteto Giò Ponti, concluída em 1958) e a Torre da Bolsa de Valores, em Montreal (em parceria com o arquiteto Luigi Moretti, concluída em 1964).

Contudo, verificou-se que existem outros arranha-céus com estrutura em betão armado diferente daquela que era proposta até então. Os arquitetos suíços Herzog & de Meuron introduziram uma inovação nos sistemas construtivos dos arranha-céus.

Este sistema, colocava toda a carga estrutural do edifício no núcleo, usualmente junto dos elevadores, de forma que aja como uma coluna vertebral extremamente forte e espaçosa que suportaria todo o peso e estabilidade dos pisos do edifício. Já os pisos, com este sistema podem ser totalmente amorfos e diferentes uns dos outros, sendo que as suas lajes ficam autoportadas neste núcleo rígido, não havendo a necessidade de pilares consecutivos ao longo de toda a estrutura. Alguns exemplos deste tipo de sistema construtivo são o edifício *56 Leonard Street* (Nova Iorque, 2017) e o edifício *One Park Drive* (Londres, 2021).

Com a mudança do milénio e o desenvolvimento acelerado das tecnologias, também os arranha-céus foram sendo desenvolvidos, implementando novos ideais de forma a poder atingir novos patamares e a estabelecerem novos paradigmas.

Surgem nomes como Richard Rogers e Norman Foster que começam nesta fase a desenvolver arranha-céus com um estilo high-tech, onde a materialidade e a estrutura já não são os únicos elementos importantes dos edifícios. Agora, os arranha-céus ganham um outro carácter, mais tecnológico, de forma a que o edifício obtenha alguns ganhos com a própria construção, como a implementação de painéis para a obtenção e obstrução de luz solar, assim como toda a domótica implementada. Ganham sobretudo novas formas e princípios como contou Norman Foster numa entrevista ao jornal Público:

“-Nós chegámos aos edifícios altos a partir de perspetivas distintas dos arranha-céus convencionais. Os convencionais têm um núcleo central, ou seja, têm um espaço no meio para as escadas e os elevadores. A maior parte dos nossos arranha-céus questionam isso. No *Hongkong and Shanghai Bank* (Hongkong, 1986), por exemplo, colocámo-los no exterior e criámos andares-refúgio no topo do edifício, com proteção anti-incêndio. Na sede do *Commerzbank* (Frankfurt, 1997), fizemos uma planta triangular e escadas de fuga em cada um dos três cantos. O trabalho de pesquisa que fizemos desde o 11 de Setembro ... foi no sentido de procurar um pensamento lateral, alternativo. Esse cruzamento de ideias interdisciplinar sobre os arranha-céus fez com que avançássemos em relação à segurança.”²⁰

Contudo, com o progresso obtido na primeira década de 2000 dC, as cidades e as grandes metrópoles depararam-se com um problema grave e emergente relacionado com a construção. As cidades estavam a ficar sobrelotadas e a falta de espaço levou a que se comesçassem a construir cada vez mais arranha-céus no local onde já foram espaços verdes da cidade e, por esse motivo, as pessoas começaram a notar que a qualidade do ar e de vida começou a ficar desfavorecido. Então, começaram a aparecer arquitetos com projetos direcionados para este problema.

20 REIS, Bárbara, FARIA, Óscar. 2004. “Se não há edifícios de onde podemos olhar, regressamos às cavernas”, in PÚBLICO, publicado a 14/02/2004. Disponível na Internet em: < <https://www.publico.pt/2004/02/14/jornal/se-nao-ha-edificios-de-onde-podemos-olhar-regressamos-as-cavernas-184174>>. Acesso em 05 de Abril de 2023

Um dos mais emergentes é o arquiteto Stefano Boeri que viu um dos seus projetos verdes (que começou como um projeto idílico) materializar-se. O *Bosco Verticale* (Milão, 2014) é um complexo residencial composto por duas torres de 76 e 110 metros, cujas fachadas são compostas por mais de 2000 espécies de árvores, arbustos e plantas, distribuídas de acordo com a posição solar. Este incremento nos arranha-céus pode contribuir para um aumento da humidade do ar, favorece o edifício servindo de isolamento térmico e acústico e ainda promove a biodiversidade atraindo insetos e aves.

Como Boeri, outros arquitetos têm procurado desenvolver projetos na mesma linha de pensamento, como é o caso de Vicent Callebaut, arquiteto belga que projetou a torre *Tao Zhu Yin Yuan* (Taiwan, 2018). Esta torre no centro de Taiwan possui vinte e três mil árvores e arbustos com o intuito de combater um dos principais problemas do país, a poluição. Segundo Callebaut, “A torre apresenta um conceito pioneiro de ecoconstrução residencial sustentável que visa limitar a pegada ecológica de seus habitantes”²¹, utilizando ventilação e iluminação natural, fazendo o reaproveitamento da água da chuva e ainda utilizando a energia recolhida pelos painéis solares colocados no telhado.

Existem outros países com projetos do mesmo perfil do de Boeri e de Callebaut, mas que ainda não foram colocados em prática, como por exemplo:

- a. Torre dos Cedros ou *Tour des Cedres* (desenhado por Boeri para Lausana, na Suíça);
- b. *Naijing Vertical Forest* (desenhado por Boeri para Naijing, na China);
- c. Bairro Ecológico ou *Tour & Táxis Masterplan* (desenhado por Callebaut para Bruxelas, na Bélgica).

Ainda que na Europa, na Ásia e na América se comece a pensar neste assunto por diferentes motivos, no outro hemisfério a situação é muito diferente. Vemos o caso da Arábia Saudita e dos Emirados Árabes Unidos onde isto não é um problema, até pelo contrário. Temos exemplos como o edifício Burj Khalifa (desenhado pelo atelier SOM e inaugurado em 2010) e em breve a Jeddah Tower (desenhada pelos arquitetos Gordon Gil e Adrian Smith, ex colaborador da SOM) que demonstram que a luta por atingir a meta de edifício mais alto é o objetivo que prevalece sobre tudo o resto, independentemente do custo ou das implicações para o ambiente que as rodeia.

21 HASSETT, Melissa. 2007. “TAO ZHU YIN YUAN”, in CNN, publicado a 06/01/2017. Disponível na Internet em: <https://vincent.callebaut.org/object/110130_taipei/taipei/projects>. Acesso em 05 de Abril de 2023

1.5 O impacto dos arranha-céus no contexto das cidades

Como já fora mencionado, os arranha-céus surgiram como resposta a um problema grave nos estados unidos no século XIX, com o incêndio de Chicago, as crises económicas e a falta de terrenos para construção. Houve um grande êxodo rural e as pessoas não tinham espaço para ficar, daí o grande crescimento demográfico e construtivo espontâneo. Se virmos o exemplo de Chicago, cidade onde nasceram os primeiros arranha-céus, que em 1850 tinha cerca de trinta mil habitantes crescendo rapidamente para os trezentos mil em 1870. (BLUESTONE, D. 1991: 03)

É certo que os arranha-céus são construídos apenas no centro das grandes cidades, mas verificou-se que no início do século XX, isso deveu-se ao surgimento das novas empresas que se quiseram sediar nos pontos mais estratégicos e afluentes das cidades, os núcleos urbanos e quanto mais alto, maior a sua visibilidade. Assim, as grandes empresas que quiseram sediar-se aqui, onde o preço dos terrenos é exorbitantemente alto, tiveram de tornar os edifícios construídos rentáveis, de forma a obter um retorno económico.

Por este motivo, atualmente só se encontram arranha-céus no centro das grandes cidades como Nova Iorque, Chicago ou Los Angeles, por serem considerados centros administrativos, onde ficam situadas as maiores empresas do mundo. Por sua vez, as habitações foram cada vez mais sendo afastadas destes centros neurálgicos para os subúrbios, locais com mais tranquilidade e maior qualidade de vida.

Contudo, este afastamento só começou a ser perceptível no século XXI, porque até então, era frequente que as torres habitacionais e os bairros fossem vistos ao lado dos arranha-céus nas cidades.

Conforme explicado na nota 9 e 10 do capítulo '1.1.3 Torres de Habitação, de Escritórios e torres Mistas', em 1916 surgiu a primeira lei de zonamento na cidade de Nova Iorque, devido ao sombreamento que os recentes arranha-céus estavam a provocar nas ruas e nos edifícios de pequeno porte dos arredores. Com esta lei, os arranha-céus tiveram a necessidade de fazer alguns recuos, o que em certa medida influenciou um novo *design*. Assim como esta legislação, uma série de outras regras restritivas (como a de Chicago em 1920, que criou uma divisão da cidade em 77 setores) levou a que as cidades se comesçassem a dividir em zonas, onde frequentemente as administrativas ficaram no centro e as habitacionais mais nos subúrbios.

Tomemos o *Downtown* de Los Angeles como exemplo. Este centro, é dividido por vários distritos, cujas funções foram definidas pelo tipo de atividades que lá se instalaram ao longo do tempo, como por exemplo os distritos de bancos, de teatro, de moda, de arte, etc.

Além destes, um dos mais conhecidos é o CBD (*Central Business District*), que é o centro do comércio e de negócios de Los Angeles, sendo frequentemente associado ao centro nevrálgico da cidade, quer pela sua localização, quer pela fácil acessibilidade.

Como o *Downtown* em Los Angeles, podem-se encontrar outros CBD's espalhados pelo mundo como:

- a. o *Midtown Manhattan* em Nova Iorque (que é o maior centro de negócios do mundo);
- b. o *Loop* em Chicago que é o segundo maior CBD dos Estados Unidos e do mundo;
- c. a cidade de Londres e as reformadas *Docklands* no Reino Unido;
- d. o *Paseo de la Reforma* (do século XX) e o *Santa Fé*, na cidade do México;
- e. o MIBC (*Moscow International Business Center*) que é o maior CBD de Moscovo, na Rússia.



Figuras 063 e 064 | *Downtown* de Los Angeles e *Midtown Manhattan*, respetivamente



Figuras 065 e 066 | *Loop* de Chicago e *Docklands* de Londres, respetivamente

Além dos CBD's das grandes cidades, vários espaços comerciais foram sendo criados, no centro, com o aparecimento das torres habitacionais. Como já fora dito, para construir nas grandes cidades, o empreendimento tem de ser capaz de obter um reembolso financeiro que compense a construção de arranha-céus. Assim, ao construir nesses distritos, a sua finalidade será a habitação pois apenas dessa forma se consegue um reembolso de determinado investimento.

Por este motivo, as pessoas comuns começaram a procurar novas zonas de residência, mais segregadas da cidade, onde o aluguer dos terrenos para construção era muitíssimo mais barato.

1.6 Conclusão

No decorrer deste capítulo, pudemos definir com clareza o que é considerado um edifício em altura. Pudemos verificar que foram várias as variantes de torres que já existiram, até chegar aos arranha-céus de habitação, de escritórios ou de uso híbrido.

Após esta investigação, concluímos que estes últimos surgiram com a escola de arquitetura de Chicago que, em conjunto com os ideais defendidos na Bauhaus levaram à criação do movimento moderno da arquitetura que, permitiu aos edifícios, sobretudo aos arranha-céus, multiplicar o seu tamanho, com a introdução de estruturas de aço e betão armado, em vez das antigas estruturas em alvenaria de pedra. Foi neste tempo que a torre ganhou um papel importante no *skyline* das cidades, como acento tónico e símbolo das mesmas, devido à sua rápida propagação.

É inquestionável que o modernismo na arquitetura teve influências da Bauhaus e da escola de Chicago, mas também da França, chegaram grandes contributos para o estilo moderno. Le Corbusier trouxe grandes contributos para o movimento, como os seus cinco pontos que definiram a arquitetura moderna.

Além de Le Corbusier, outros grandes nomes deste movimento ficaram marcados na história como o arquiteto Louis Sullivan (que defendeu a norma onde 'a forma segue a função' ao invés do contrário), o arquiteto Frank Lloyd Wright (com a sua obra mais notória, a casa da cascata), o arquiteto Walter Gropius (criador do movimento da Bauhaus e arquiteto do seu icónico edifício em Dessau) e por último, o arquiteto Ludwig Mies van der Rohe (que é o principal nome associado ao movimento moderno em arquitetura), cujo expoente máximo foi atingido com o *Seagram Building* em 1958.

Por último, neste capítulo pudemos concluir que a maior concentração destes edifícios se situa no centro das grandes cidades desenvolvidas. Este facto deveu-se ao surgimento das novas empresas emergentes que se quiseram sediar nos grandes centros de poder das cidades, onde podiam ter mais controlo sobre as massas. Assim, grandes centros administrativos começaram a ser criados nas grandes cidades como Nova Iorque, Chicago ou Los Angeles, denominados por CBD's, ou Distritos Centrais de Comércio, fazendo com que as habitações e mesmo alguns arranha-céus mais baixos fossem sendo cada vez mais afastados para as periferias das cidades.

Com isto, vimos ao longo deste capítulo que apesar do conceito de torre se ter mantido ao longo do tempo, a sua funcionalidade variou de acordo com as determinantes das épocas. Assim, tendo começado por ser uma construção defensiva ou sinalética, foi evoluindo até culminar num uso híbrido, maioritariamente comercial. Manteve, contudo, a sua característica de criar um lugar, ao assenhorear-se do espaço envolvente e de representar o poder e o desejo humano de se transcender.



2 Sistemas construtivos aplicados aos arranha-céus

2.1 Introdução - os problemas mais complexos entre todos

Na construção de um edifício deste tipo, é necessário ter em consideração a composição de um vasto conjunto de programas que, quando agregados, funcionem como um só. Estes espaços, são distribuídos ao longo de todo o edifício, associando-se um conjunto de questões, como a escolha dos materiais e do tipo de estruturas, que devem ser ponderadas de forma a evitar problemas de estabilidade. Os arranha-céus devem conseguir prevenir ainda, um conjunto de ações de modo que a segurança e a vida útil do edifício não sejam colocadas em risco. São três conjuntos de ações que se devem considerar:

- As **ações permanentes**, compostas pelo peso próprio dos elementos estruturais (como sendo as lajes, os pilares e as vigas), pelo peso próprio dos elementos não estruturais (paredes divisórias e semelhantes) e pelo peso próprio dos equipamentos fixos (como máquinas de apoio ao edifício);
- As **ações variáveis**, compostas pela sobrecarga de utilização (como o peso das pessoas), pela ação do vento (tendo em conta que quando mais alto pior é a situação), pelas ações sísmicas (que podem afetar parcial ou totalmente a estrutura, levando mesmo ao colapso) e pela temperatura (cujo material de revestimento pode ou não ter impacto e influencia para o edifício e para a envolvente);
- As **ações acidentais** (muito menos espectáveis, mas ainda a ter em consideração), compostas pelos incêndios e explosões, ou seja, devem-se tomar medidas de forma a prevenir que um incidente destes provoque danos graves ao edifício.

A par disto, todos os projetos deste tipo devem ser totalmente acessíveis por todas as pessoas e conseguir criar microclimas internos para que os seus utilizadores se sintam confortáveis.

Posto isto, é possível afirmar que os problemas encontrados neste tipo de construções são considerados entre os mais complexos de todo o tipo de edifícios, sendo necessário fazer uma boa coordenação entre a economia, a tecnologia e a gestão da obra.

2.2 Processo evolutivo

2.2.1 As primeiras estruturas e as novas materialidades

As paredes estruturais características dos sistemas tradicionais de alvenaria de pedra tornaram-se obsoletos a partir do século XIX e começaram-se a desenvolver novos métodos para tornar os novos materiais mais acessíveis, pois a sua fabricação em massa ainda era muito dispendiosa.

Com a introdução do betão armado e do aço, puderam-se projetar novos edifícios com estruturas colossais, impensáveis até então. Isto levou a que as paredes se tornassem cada vez mais aligeiradas pois já não tinham necessidade de serem tão espessas e pesadas, tornando o espaço mais amplo e permitindo a abertura de vãos de grandes dimensões.

Como a estrutura podia ser agora um elemento independente da fachada dos edifícios, formando um endoesqueleto, os arquitetos e engenheiros tiveram de arranjar um novo revestimento que enclausurasse a fachada de forma que esta não ficasse completamente exposta as condições atmosféricas. Assim, introduziram-se as chamadas paredes cortina que são nada mais que elementos independentes da estrutura que servem para encerrar a estrutura do edifício, servindo também para fazer o contraventamento do mesmo. Estas paredes cortinas são apoiadas ou suspensas na estrutura e diferem das paredes convencionais por não terem nenhum tipo de função estrutural.

Nos edifícios contemporâneos, este ainda é o método utilizado para o revestimento da maioria dos arranha-céus, pela sua facilidade de revestimento, montagem, translucidez e minimalismo. São compostas na sua maioria por uma estrutura oculta onde os painéis (envidraçados ou de outro tipo) fazem os remates do edifício, podendo ser nas mais diversas cores e formas, desde regulares como o *Seagram building*, até às trapezoidais do futurista *Al Tijuaria Tower*.

2.2.2 Aparecimento dos sistemas estruturais tubulares e modulares

Nos primórdios da década de 1960, apareceu um engenheiro de estruturas chamado Fazlur Khan que ficou conhecido como o autor dos projetos estruturais 'em tubos' (ou modulares) para arranha-céus. Khan percebeu que o sistema utilizado até à data de betão armado não poderia ser a única forma de se construir este tipo de estruturas. Então, começou a trabalhar num sistema de "tubos" cuja inspiração terá tido origem na sua cidade natal, em Dhaka, onde Khan percebeu que o bambu que crescia à volta da cidade, possui uma elevada resistência e durabilidade vertical pela sua estrutura rígida e oca de paredes delgadas²², ou seja, as paredes exteriores da estrutura atribuíam toda a rigidez necessária para a segurança, enquanto o espaço interior era completamente libertado de qualquer elemento rígido. Assim, Khan introduziu os conceitos dos sistemas estruturais em tubulares (em forma de tubo, com a estrutura no exterior) com algumas variáveis como o 'tubo' emoldurado, o 'tubo' treliçado²³ ou o 'tubo' agrupado, aproveitando todo o perímetro das paredes externas para simular o bambu, obtendo assim mais espaço livre no interior.

O **modelo emoldurado**, segundo Khan, "era uma estrutura tridimensional constituída por três, quatro, ou mais molduras, ou paredes estruturais, interligadas nas suas extremidades para formar uma estrutura vertical em forma de tubo capaz de resistir a pressões laterais... O 'tubo' emoldurado requer menos colunas interiores, permitindo assim mais espaço útil, e aproximadamente metade da superfície exterior está disponível para janelas."²⁴. Isto significa que "**colunas perfeitamente espaçadas no perímetro do edifício, combinadas com as vigas a ele ligadas, atuam como uma moldura rígida**"²⁵. Isto liberta totalmente o interior dos edifícios, podendo adotar divisão do espaço da melhor maneira possível. O primeiro edifício onde este tipo de sistema foi colocado em prática foi o *Dewitt Chestnut Apartments* (atualmente *Plaza on DeWitt*) em Chicago, no ano 1965, pelo grupo SOM, onde Khan trabalhava. Este tipo de estrutura também usado anos mais tarde na construção das torres um e dois do complexo do *World Trade Center*²⁶.

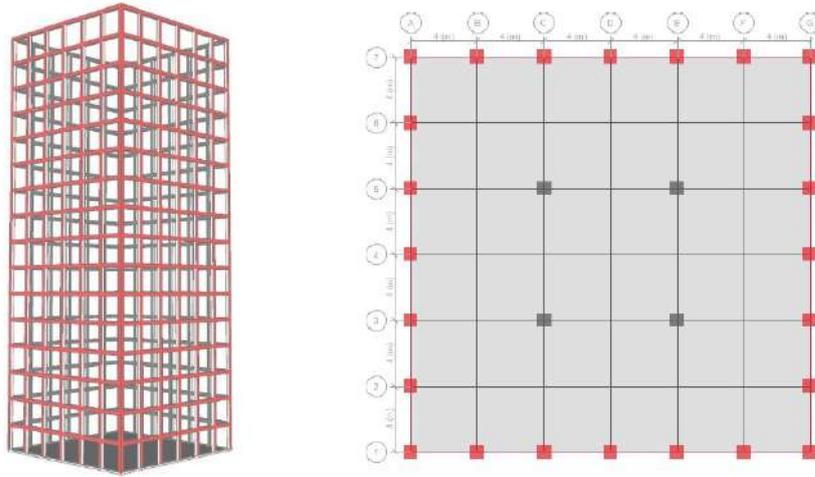
22 DUBEY, Parul (2016). The Man Who Saved the Skyscraper. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://informedinfrastructure.com/25510/the-man-who-saved-the-skyscraper/>>. Acesso em 30 de Outubro de 2022

23 Que é feito com treliças, um sistema de vigas cruzadas usado no travejamento de pontes e telhados.

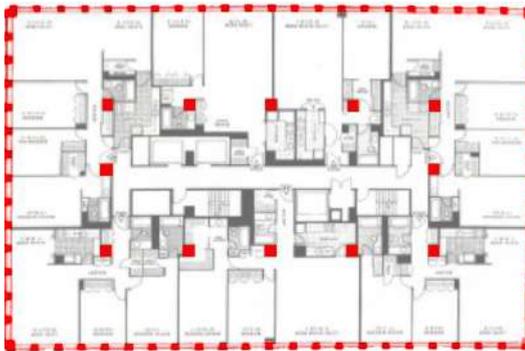
24 Tradução de fonte disponível na Internet em < <http://www.visual-arts-cork.com/architecture/fazlur-khan.htm#framedtube>>. Acesso em 30 de Outubro de 2022

25 Tradução de fonte disponível na Internet em: <<http://khan.princeton.edu/khanTwoShell.html>>. Acesso em 30 de Outubro de 2022

26 Este World Trade Center mencionado diz respeito ao complexo das "torres gémeas" destruído nos ataques do 11 de Setembro de 2001.



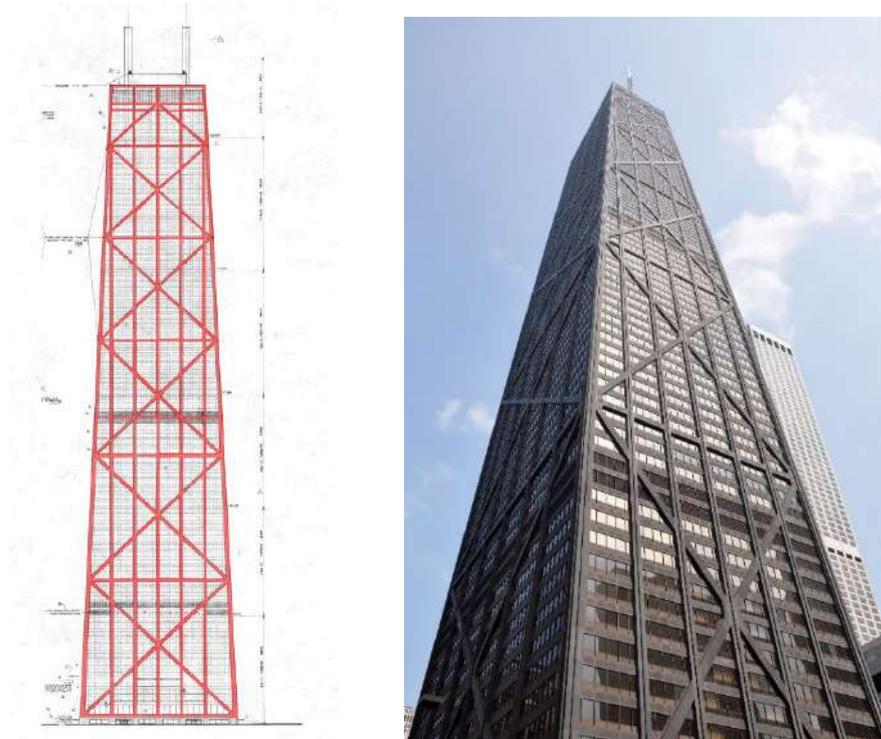
Figuras 064 e 065 | Diagramas de duas estruturas de tubo emoldurado



Figuras 066 e 067 | Edifício Dewitt Chestnut Apartments, planta e vista a partir da rua

Já o **modelo treliçado** foi utilizado pela primeira vez no edifício *John Hancock Center*, em 1969. Ao olhar para o edifício, instantaneamente percebemos que este distribui as cargas verticais e horizontais recebidas para os pilares externos em formato de X, libertando a pressão exercida para os pilares nos cantos. Aqui, facilmente se percebe que a estrutura da fachada parte do sistema estrutural do edifício, pela sua robustez visual. Essa técnica arquitetônica foi utilizada para marcar claramente as alturas do edifício, já que todo o conceito do sistema tubular é servir de coluna vertebral do edifício, como um exosqueleto, libertando o interior de uma estrutura massiva. Com a estrutura totalmente travada por si mesma, o edifício fica protegido contra as ações do vento, assim como das eventuais ações sísmicas, tendo como bônus a possibilidade de libertar totalmente a planta de qualquer elemento estrutural interno.

Um aspeto a ter em consideração neste tipo de estruturas é a utilização de aço necessária para a sua construção. O *Empire State Building* exigiu cerca de 206 quilos de aço por metro quadrado, em 1930 e o *One Chase Manhattan Plaza* exigiu cerca de 275 em 1961. Já o *John Hancock Center*, com este sistema treliçado necessitou apenas de 145 quilos de aço por metro quadrado em 1969, o que torna este sistema muito mais eficiente.²⁷



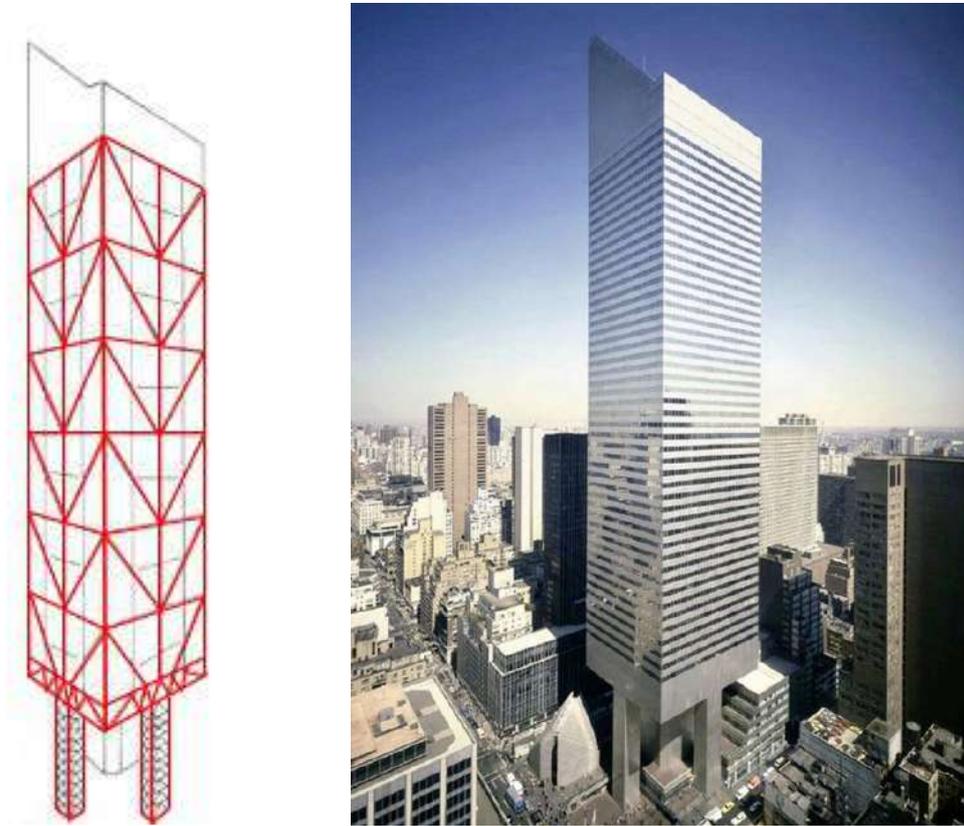
Figuras 068 e 069 | Edifício John Hancock Center, alçado e vista a partir da rua

Um edifício posterior ao *John Hancock Center* que utilizou o mesmo sistema estrutural de 'x-bracing' foi o *Citigroup Center* (em 1977) em Nova Iorque. Este edifício gerou polémica no seio da comunidade científica entre arquitetos e engenheiros devido à sua complexa estrutura que teve a necessidade de ser elaborada especificamente para aquele projeto.

O autor do projeto, William J. LeMessurier, não quis que a torre de escritórios entrasse em contacto direto com o chão. Assim, este arranha-céus é suportado por quatro colunas situadas no eixo geométrico das quatro faces da torre. O que era mais espetável de acontecer na estrutura, que as forças descarregassem para os quatro pilares nos cantos, acabou por se tornar numa tarefa de extrema complicação pois agora todo o peso do edifício teria de 'descarregar' todas as forças para aqueles quatro pilares.

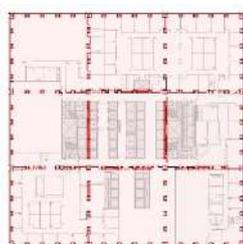
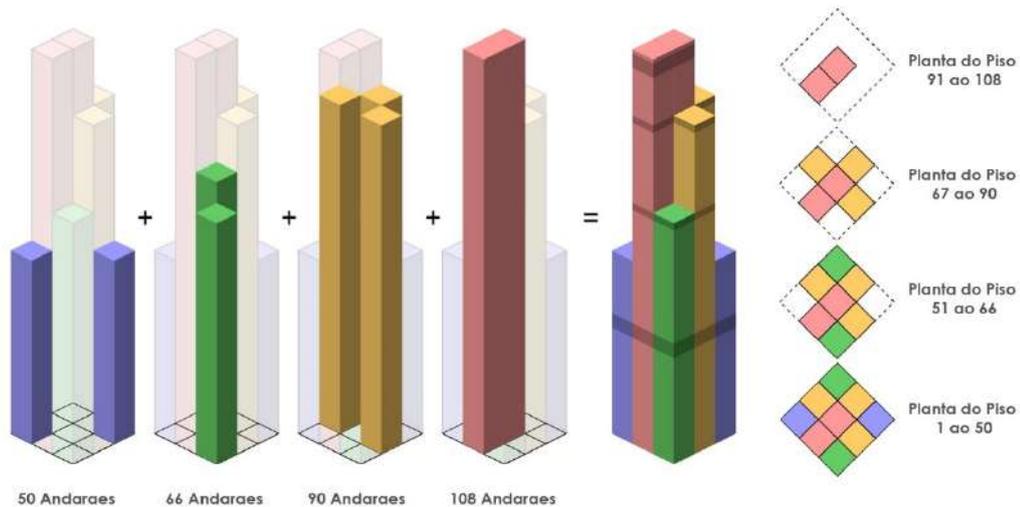
27 STRINGFIXER. (2021). Arranha-céus. [em linha]. Disponível na internet em: <https://stringfixer.com/pt/Office_tower>. Acesso em 04 de Setembro de 2022

Assim, o arquiteto desenhou uma megaestrutura de tubos treliçados, de maneira a isto acontecer. O que sucedeu foi que a proposta foi tao bem conseguida que em Junho de 1977, o *Citicorp Center* foi inaugurado com toda a sua exuberância.

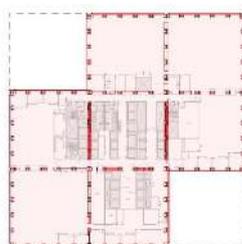


Figuras 070 e 071 | Edifício Citicorp Center, diagrama estrutural e vista aérea

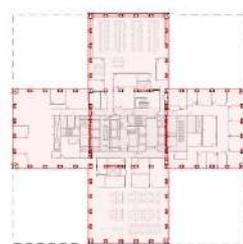
Por sua vez, o **modelo agrupado** é uma junção de vários 'tubos' agrupados uns nos outros, formando um conjunto de módulos tecnicamente encastrados, criando unidade e estabilidade na estrutura, distribuindo as forças gradualmente aos pilares de ligação dos módulos adjacentes. Pode-se perceber este conceito na *Willis Tower*, em Chicago, onde o arquiteto decidiu variar nas alturas dos módulos de forma a obter a sua aparência singular. Este sistema é, entre todos, o mais versátil do conjunto pois permitiu aos arquitetos destruir o estereotipo de que todos os arranha-céus teriam necessariamente de ser retangulares ou em forma de "caixa" e passaram a construir edifícios com mais expressão, agrupados nas mais diversas formas.



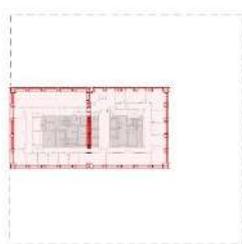
Piso 41



Piso 51



Piso 82



Piso 95



Figuras 072, 073 e 074 | Edifício Willis Tower, diagrama dos pisos, plantas e vista a partir do exterior

Atualmente, os sistemas tubulares ainda são um dos sistemas constritivos utilizados neste tipo de edifícios. Quando a altura ultrapassa os 40 pisos, já é frequente encontrar uma estrutura deste tipo, cujos princípios derivaram dos conceitos de Khan.

2.3 Decoração vs Necessidade, uma questão de sustentabilidade

Com o aparecimento de definições como os edifícios '*supertall*' e '*megatall*'²⁸, foi introduzido um novo conceito arquitetônico denominado "altura da vaidade". De acordo com o CTBUH, esta altura é a distância entre o andar mais alto e o seu topo construído, não podendo exceder 50% da altura total do edifício (caso contrário passaria a ser uma torre de comunicações ou de observação)²⁹. Esta definição "apareceu pela primeira vez em alguns arranha-céus da cidade de Nova Iorque nas décadas de 1920 e 1930, onde os edifícios *supertall* contavam com essas extensões inabitáveis, em média, 30% da sua altura, levantando potenciais questões de definição e sustentabilidade."³⁰

Alguns dos arranha-céus mais altos do mundo conseguiram tal distinção através da altura da vaidade, composta na maior parte das vezes por "... antenas, espaços e recursos arquitetônicos que, no fim, deixam o prédio mais alto."³¹

Tomemos como referência o edifício atual mais alto do mundo, o *Burj Khalifa*. Composto por 828 metros totais, apenas 70% destes são pisos úteis sendo o restante, cerca de 245 metros, considerada a altura da vaidade, representada com a vermelho, na Figura 075.³²

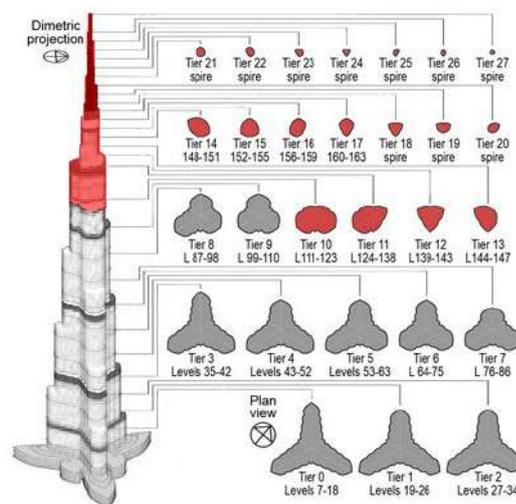


Figura 075 | Diagrama dos pisos do Burj Khalifa com a altura da vaidade

28 De acordo com o CTBUH, um edifício *supertall* obtém esta classificação quando ultrapassa os 300 metros de altura e um *megatall* é quando ultrapassa os 600 metros de altura.

29 CTBUH. Tall Building Criteria. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.ctbuh.org/resource/height>>. Acesso em 31 de Outubro de 2022.

30 STRINGFIXER. (2021). Arranha-céus. [em linha]. Disponível na internet em: <https://stringfixer.com/pt/Office_tower>. Acesso em 04 de Setembro de 2022.

31 e 32 PREVIDELLI, Amanda. (2016). Os arranha-céus que mais "roubam" nas alturas. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://exame.com/mundo/os-arranha-ceus-quemais-roubam-nas-alturas/>>. Acesso em 30 de Setembro de 2022.

Vejam-se outros exemplos onde a altura da vaidade muda substancialmente a altura real dos edifícios, segundo os dados constantes nos respetivos arquivos do CTBUH:

- No edifício *Zifeng Tower*, na China, a sua altura total é de 450 metros. Estando o seu último piso útil a 317 metros, sobram 133 metros de vaidade (Figura 076);

- No edifício *Emirates Tower One*, no Dubai, a sua altura total é de 355 metros. Estando o seu último piso útil a 242 metros, sobram 113 metros de vaidade (Figura 077);

- No edifício *Bank of America Tower*, em Nova Iorque, a sua altura total é de 366 metros. Estando o seu último piso útil a 235 metros, sobram 131 metros de vaidade (Figura 078).



Figura 076



Figura 077



Figura 078

Assim, entende-se que a “altura da vaidade” dos arranha-céus é o espaço livre entre o último piso habitável e o ponto mais elevado dos mesmos, excluindo torres, antenas ou geradores de qualquer tipo. Frequentemente, estes andares “extra” são utilizados para a manutenção do edifício, onde são colocadas as infraestruturas necessárias ao funcionamento do mesmo.

Nestes pisos técnicos ficam os sistemas de refrigeração e climatização do edifício, local onde não incomodam pelo ruído nem são facilmente acessíveis. Ainda nestes espaços, ficam alocados os sistemas anti-sísmicos a ser tratados no paragrafo ‘2.4.2 As ações sísmicas’ a partir da página 90.

2.4 Problemas de Estabilidade

Com o desenvolvimento progressivo das técnicas de construção, passaram-se a construir arranha-céus cada vez mais esbeltos e elaborados. Alguns componentes que permitiram este tipo de situações foram, além do tipo de estruturas mencionadas no capítulo '2.2.2 Aparecimento dos sistemas estruturais tubulares e modulares', a própria forma do edifício que está diretamente relacionada com a estrutura e os amortecedores de massa que são utilizados para evitar que o edifício balance e acabe por desmoronar, agindo contra as várias ações a que este está sujeito.

2.4.1 As ações do Vento

A pressão horizontal que um edifício comum sofre pela ação dos ventos é algo com que os engenheiros têm de se preocupar desde que começaram a construir edifícios isolados superiores aos demais. Quando havia uma envolvente que ajudava o vento a dissipar, isto não era um problema a ser ponderado enquanto projeto. Contudo, quando os edifícios começaram a duplicar de escala e a deixar de ter uma envolvente que ajudasse na dissipação das ações do vento, os engenheiros tiveram de repensar os cálculos de forma a evitar danos sem precedentes.

Sendo os arranha-céus edifícios isolados, estes sofrem ventos muito mais fortes na parte superior do que inferior pela sua alta exposição. Assim, por ser um elemento à partida estático, a sua "coluna vertebral" age como um todo, podendo a incidência do vento fazer com que o seu topo balance vários metros e, em casos mais complicados, levar à sua queda.

2.4.1.1 As formas adotadas

Uma das soluções encontradas pelos engenheiros e arquitetos para reduzir as ações do vento foi utilizar a aerodinâmica da forma. Desde sempre os arquitetos utilizaram formas básicas e se possível geométricas para traduzir certos preceitos associados a temas como a pureza ou a religião.

Contudo, o gosto pelas formas geométricas como o quadrado ou o retângulo é algo intemporal. Ao verificar os seguintes edifícios, podemos verificar que todos eles assentam numa base geométrica, com um sistema estrutural tubular, onde a forma obtida no final foram torres que se destacam das demais pela sua escala retangular a elevar-se no céu:

- *Seagram Building*, em Nova Iorque (1958) (Figura 079);
- *Citigroup Center*, em Nova Iorque (1977) (Figura 080);
- *432 Park Avenue*, em Nova Iorque (2015) (Figura 081);
- *Shum Yip Upperhills Towers*, em Shenzhen (2019) (Figura 082);
- *Guangzhou CITIC Plaza*, em Guangzhou (2019) (Figura 083);
- *Abu Dhabi Plaza*, em Nur-Sultan (2020) (Figura 084);



Figura 079



Figura 080



Figura 081



Figura 082



Figura 083



Figura 084

Por sua vez, outros edifícios optaram por formas mais incomuns, ainda que não descartem a utilização da lógica na sua composição. Assim, surgem arranha-céus de formatos naturalistas, radiais e de estrelas como é o caso de Marina City (1964) em Chicago (Figura 085), das Petronas Twin Towers (1998) em Kuala Lumpur (Figura 086), ou da Lakhta Tower (2019) em São Petersburgo (Figura 087).

Também foram construídas algumas torres com formatos trapezoidais ou de prismas, onde as ações do vento são refletidas nas várias faces, dispersando em grande parte o impacto sofrido. Exemplos deste tipo são a *Shanghai World Finances Center* (2008) em Shangai (Figura 088), a *PIF Tower* (2020) em Riad (Figura 089) e a *Chengdu Greenland Tower* (2021) em Chengdu (Figura 090).



Figura 085



Figura 086



Figura 087



Figura 088



Figura 089



Figura 090

Assim, depois destes edifícios que já atribuem uma nova “imagem” ao ícone dos arranha-céus, colocando de parte a ideia que os edifícios altos têm de ser maciços brutalistas³³ construídos em altura, autênticos blocos de aço e vidro, eis que os arquitetos e engenheiros, ao evoluírem cada vez mais os seus estudos sobre os efeitos do vento ao chocarem com as superfícies, perceberam que quanto mais plana esta for, mais forte é a pressão exercida sobre o mesmo.

Assim, com os contributos da tecnologia e dos programas BIM (*Building Information Modeling*), os engenheiros puderam dar um contributo gigante para a construção de novas estruturas de arranha-céus, ditando que estas não precisavam de ser algo ortogonal, podendo assumir um carácter mais orgânico, de modo que, orientadas na direção correta, agissem em conformidade com as ações dos ventos do local, diminuindo e antecipando possíveis problemas.

Alguns exemplos deste tipo de arranha-céus são o *Al Hamra Tower* (2011) no Kuwait (Figura 091), o *Burj Mohammed Bin Rashid* (2014) em Abu Dhabi (Figura 092) e o *LCT The Shard Landmark* (2019) em Busan (Figura 093).

Outros três edifícios curvilíneos onde os ventos são mais imprevisíveis que os anteriores ficam situados na China, onde os princípios de execução e de opção de projeto são similares aos anteriores. São eles a *Shanghai Tower* (2015) em Shangai (Figura 094), a *Wuhan Center Tower* (2018) em Wuhan (Figura 095) e a *Corporate Avenue One* (2022) em Chongqing (Figura 096).



Figura 091



Figura 092



Figura 093

33 Brutalistas aqui diz respeito aos monolíticos massivamente construídos. Não confundir com o movimento brutalista britânico defendido por Le Corbusier “Le béton brut”. (GLANCEY, J. 2001: 193)



Figura 094



Figura 095



Figura 096

Com este variadíssimo espólio de edifícios com as suas formas mais diversas que a anterior, pode-se concluir que ao longo dos anos, um pouco por todo o mundo, os arquitetos e engenheiros quiseram sempre evoluir mais um pouco, transformando um simples paralelepípedo em impressionantes obras escultóricas que compõem os *skylines* das cidades espalhadas ao redor do mundo:

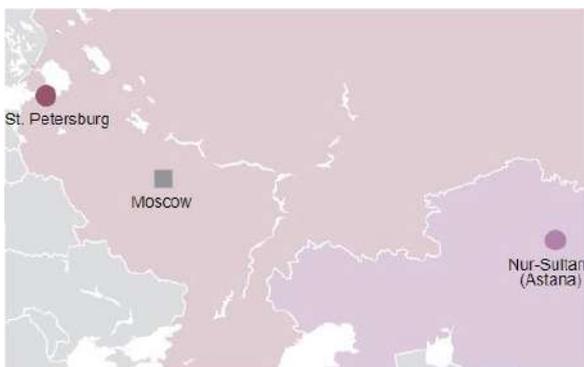


Figura 097 | Na Rússia e no Cazaquistão



a. Lakhta Tower

b. Abu Dhabi Plaza

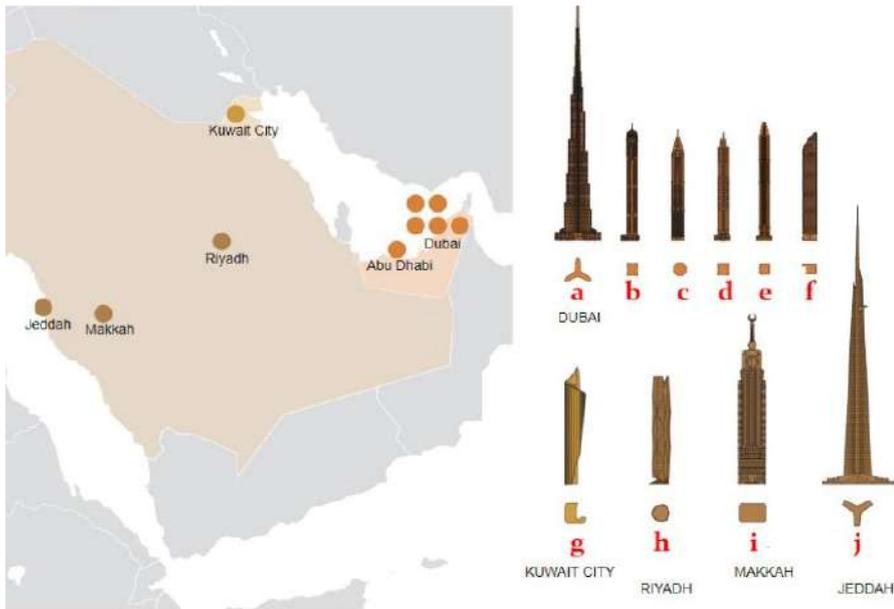


Figura 098 | No médio oriente

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| a. Burj Lhakifa | f. Burj Muhammed Bin Rashid |
| b. Princess Tower | g. Al Hamra Tower |
| c. 23 Marina | h. PIF Tower |
| d. Elite Residence | i. Makkah Royal Clock Tower |
| e. Marina 101 | j. Jeddah Tower |

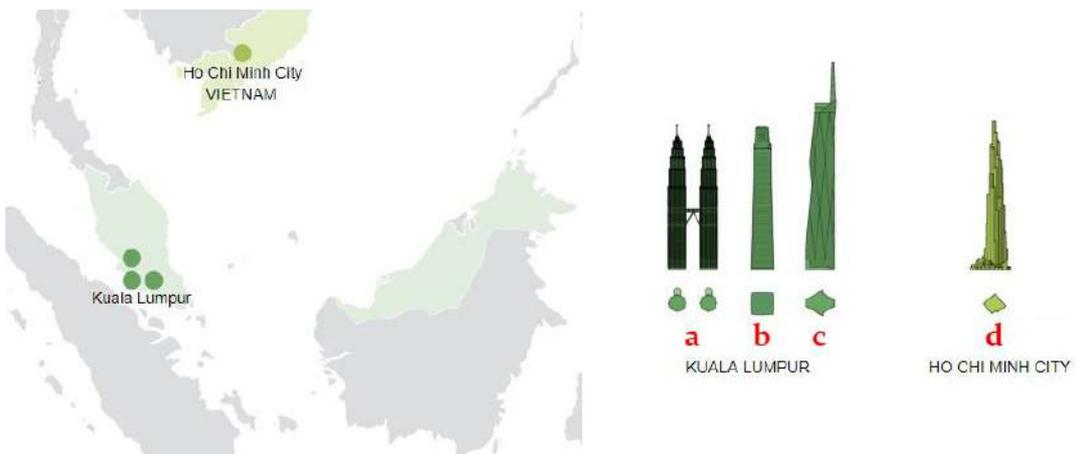


Figura 099 | No Sudeste da Ásia e Malásia

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| a. Petronas Towers | c. Merdeka 118 |
| b. The Exchange 106 | d. Vincor Landmark 81 |

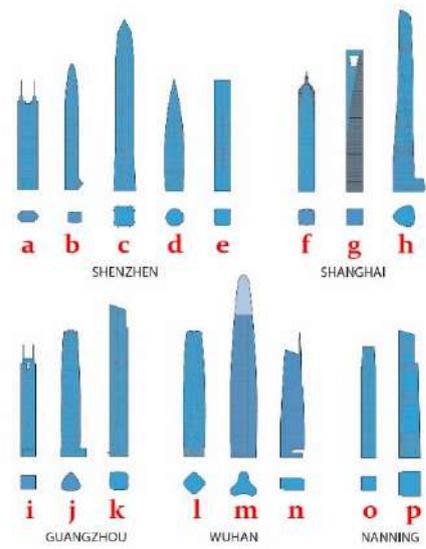


Figura 100 | Na China

- a. Shun Hing Square
- b. KK100
- c. Ping An Finance Centre
- d. The Spring Bamboo
- e. Shum Yip Upperhills Towers
- f. Jin Mao
- g. Shanghai WFC
- h. Shanghai Tower

- i. Guangzhou CITIC Plaza
- j. Guangzhou IFC
- k. CTF Finance Centre
- l. Wuhan Center Tower
- m. Wuhan Greenland Center
- n. Riverview Paza A1
- o. Nanning Logan Century 1
- p. China Resources Tower

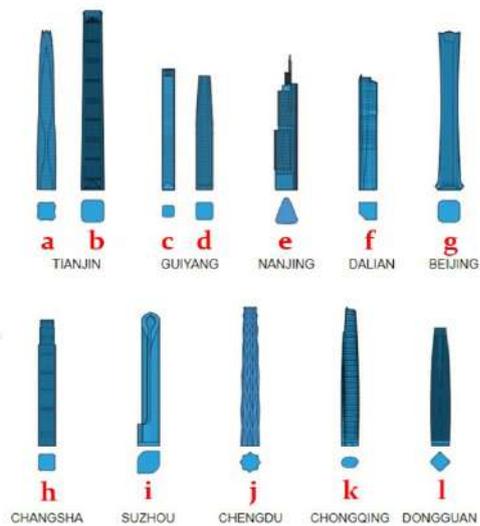


Figura 101 | Na China

- a. Tianjin CTF
- b. Goldin Finance Center
- c. Guiyang IFC
- d. Guiyang WTC
- e. Zifeng Tower
- f. Eton Place Dalian Tower

- g. CITIC Tower
- h. Changsha IFS
- i. Suzhou IFC
- j. Chengdu Greenland Tower
- k. Corporate Avenue 1
- l. Dongguan International TC

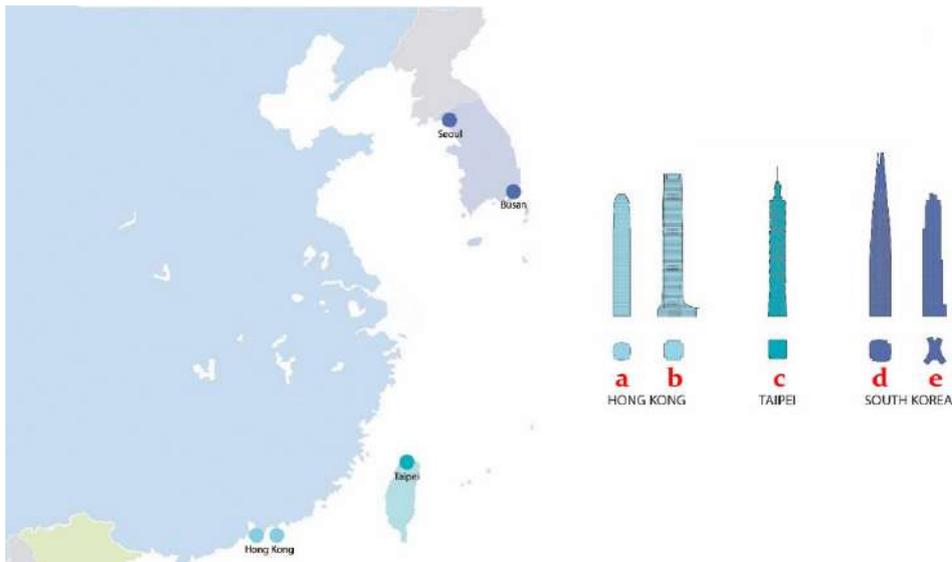


Figura 102 | Em Hong Kong, Taiwan e na Coreia do Sul

- a. Two International Finance Center
- b. International Commerce Center
- c. Taipei 101
- d. Lotte World Tower
- e. LCT The Sharp Landmark

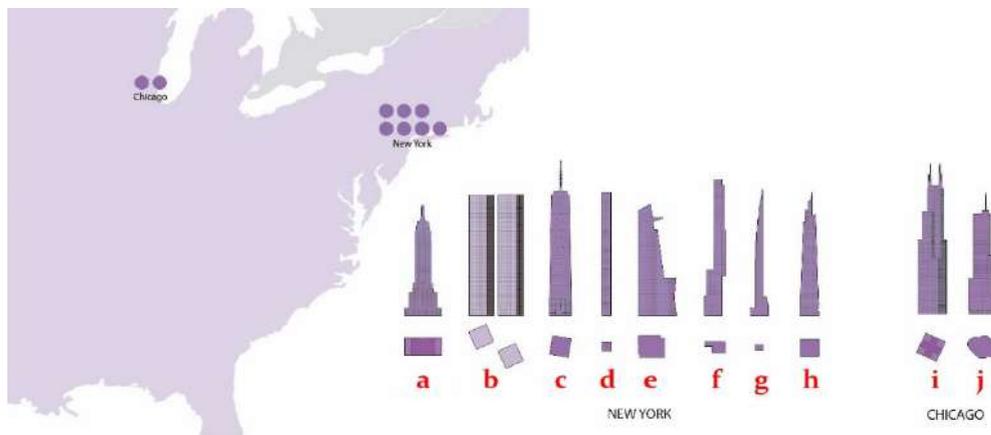


Figura 103 | Nos Estados Unidos da América

- a. Empire State Building
- b. World Trade Center Twin Towers
- c. One World Trade Center
- d. 432 Park Avenue
- e. Hudson Yards
- f. Central Park Tower
- g. Steinway Tower
- h. One Vanderbilt
- i. Willis Tower
- j. Trump Tower

2.4.2 As ações sísmicas

Outro problema estático gravíssimo que os arquitetos em conjunto com os engenheiros tiveram de resolver no momento de projetar este tipo de edifícios foi a questão dos sismos. Este fator natural, ao contrário dos ventos que se podem medir e prever, é imprevisível quanto aos danos que poderá provocar. Contudo, temos a noção que se um gigante destes fosse derrubado no meio de uma cidade, as consequências seriam incalculáveis.

Assim, a solução encontrada para minimizar os danos causados aos edifícios numa situação destas, foi implementar um dispositivo chamado *Tuned Mass Damper* (TMD), vulgarmente conhecido por amortecedor de massa sintonizado ou simplesmente amortecedor sísmico, nos edifícios deste tipo.

2.4.2.1 Tipos de TMD's e suas aplicações

Tudo começou no tempo das missões da Apollo com os foguetões *Saturn V*. Para estes conseguirem efetuar uma descolagem eficiente de modo a projetar-se para fora da atmosfera, a NASA (National Aeronautics and Space Administration), contratou uma empresa externa para desenvolver um amortecedor de choque. Mais tarde, requisitou um computador de alta velocidade com base hidráulica, de onde terão surgido os TMD's. Posteriormente às missões da NASA, a empresa contratada adaptou essa tecnologia para ser colocada nas estruturas de edifícios e pontes, contribuindo para que estes pudessem resistir aos sismos e ventos fortes.³⁴

É possível encontrar estes dispositivos no automobilismo, em todas as zonas onde existem ruídos ou transmissão de vibrações, ainda que o principal local onde se podem encontrar seja na cambota³⁵.

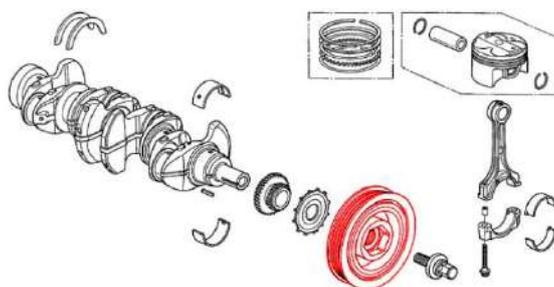


Figura 104 | Localização do TMD na cambota

34 Fonte disponível na Internet em: <<https://canaltech.com.br/espaco/5-tecnologias-criadas-pela-nasa-para-chegar-a-lua-que-mudaram-a-vida-na-terra-151815/>>. Acesso em 31 de Outubro de 2022

35 A cambota "é uma componente metálica que está alojada na parte inferior do bloco de motor. Feita em alumínio, é das componentes que sofre maior carga durante o funcionamento normal do motor e é a responsável por coordenar o funcionamento dos cilindros. A cambota do motor transforma o movimento linear dos cilindros num movimento de rotação". Fonte disponível na Internet em: <<https://blog.kroftools.com/pt/tudo-sobre-cambota-do-motor/>>. Acesso em 07 de Outubro de 2022

Outro local onde é possível encontrar este tipo de dispositivos é em algumas pontes, mais especificamente em pontes pedonais, onde estes amortecedores de massa são ajustados para evitar as vibrações criadas pelos passos dados pelas pessoas.

Um dos casos onde o TMD foi extremamente importante foi na ponte *Millenium*, em Londres. "No dia da inauguração, 80 000 a 100 000 pessoas atravessaram a estrutura, resultando numa densidade de 1.3 a 1.5 pessoas por metro quadrado. As vibrações registadas, em termos de deslocamentos na direção lateral, foram cerca de 70 mm no vão central, o que causou o seu encerramento após dois dias. Para contornar este problema foi implementada uma solução com amortecedores viscosos e amortecedores de massa sintonizada, de maneira a controlar as vibrações excessivas na direção lateral e vertical, respetivamente. Assim, foi possível reduzir os níveis de vibração da ponte permitindo a sua reabertura."³⁶



Figuras 105 e 106 | Ponte Millenium, vista lateral e localização dos TMD's

36 SANCHES, João P. F. (2012). Controlo de vibrações em pontes pedonais sujeitas a ações de multidões. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Fonte disponível na Internet em <<https://run.unl.pt/handle/10362/7947>>. Acesso em 07 de Outubro de 2022

Nos arranha-céus, o TMD mais conhecido implementado num arranha-céus está localizado no *Taipei 101*, em Taiwan. Com 101 pisos e 508 metros, este edifício possui uma esfera de aço com aproximadamente 730 toneladas, implementada entre os pisos 87 e 91 e, ao contrário da maioria dos amortecedores de carga em edifícios, este está situado no topo, de forma acessível, com o objetivo de ser observado em funcionamento através das galerias circundantes.³⁷

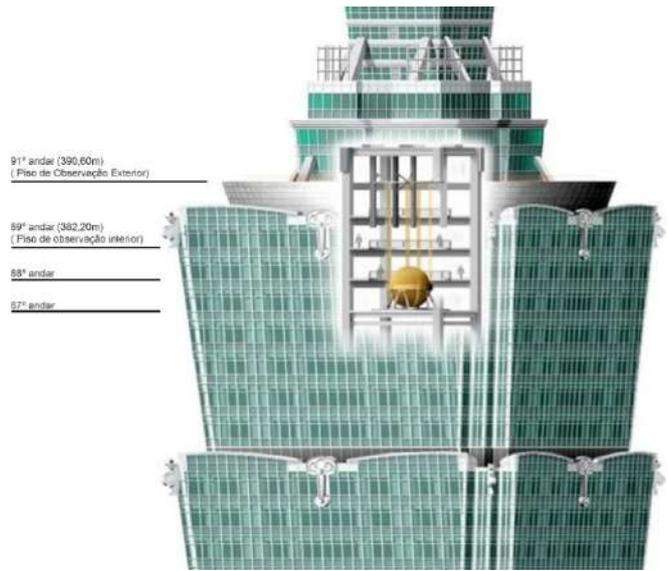
“Oito cabos de aço formam uma escora para apoiar a bola, enquanto oito amortecedores viscosos atuam como absorvedores de choque quando a esfera se desloca. A bola pode mover-se 1,5 metros em qualquer direção e reduzir as oscilações em 40%. Dois amortecedores de massa sintonizados adicionais, cada um com um peso de 7 toneladas, instalados na ponta da esfera, proporcionam uma proteção adicional contra fortes cargas de vento.”³⁸

No dia a dia, “esta esfera balança cerca de 35 cm a cada sete segundos, algo que é considerado mínimo e imperceptível quando comparado com o tamanho deste arranha-céus. Este movimento é contrário ao movimento do vento e, desta forma, amortece o balanço em todas as direções. No caso de furacões, a esfera tem um sistema de segurança com pistões de modo a não oscilar mais do que a média.”³⁹

37 Fonte disponível na Internet em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/tufao-aprova-amortecedor-famoso/>>. Acesso em 31 de Outubro de 2022

38 PATOWARY, Kaushik. (2014). The 728-Ton Tuned Mass Damper of Taipei 101. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.amusingplanet.com/2014/08/the-728-ton-tuned-mass-damper-of-taipei.html>>. Acesso em 08 de Outubro de 2022

39 NEMES, Ana. (2014). Megaestruturas inteligentes: a engenharia dos novos arranha-céus. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.tecmundo.com.br/engenharia/51950-megaestruturas-inteligentes-aengenharia-dos-novos-arranha-ceus.htm>>. Acesso em 08 de Outubro de 2022



Figuras 107 e 108 | Localização e esquema do TMD do Taipei 101

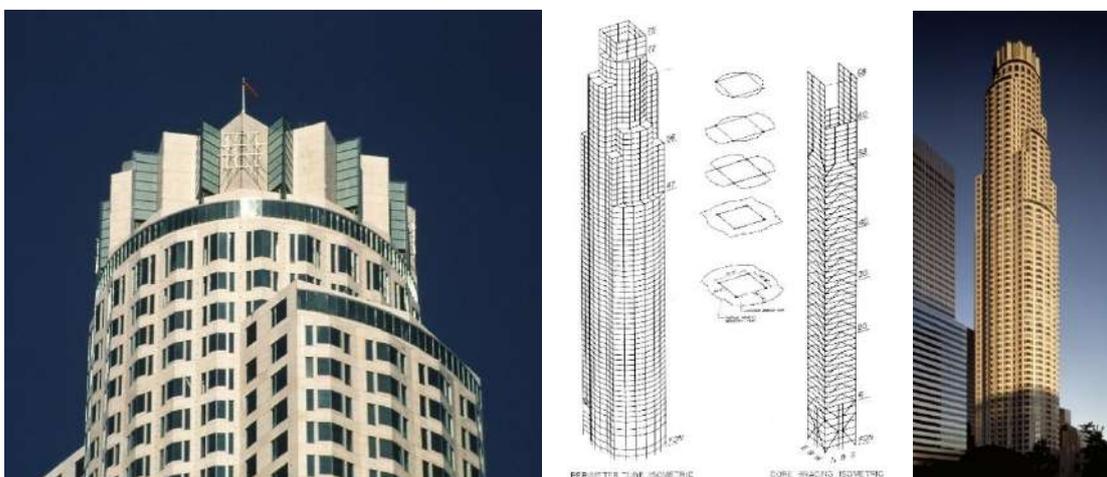


Figuras 109 | TMD do Taipei 101: vista das galerias circundantes

2.4.2.2. Outros sistemas anti-sismicos

Em Los Angeles, temos o exemplo do *US Bank Tower* (com 310 metros) que consegue resistir a terremotos de até 8,3 na escala de *Richter*, sendo considerada a torre mais alta “da zona de alto nível sísmico da Califórnia”.⁴⁰ Isto só é possível através “do layout da planta, baseado num conceito de geometrias sobrepostas: uma forma circular sobreposta a uma matriz retilínea, que se traduz para o exterior do edifício e é extrudida para cima numa série de recuos e uma fachada composta por janelas triangulares. As baías triangulares são repetidas na coroa com ângulos mais vincados, proporcionando uma maior distinção visual entre ela e a estrutura em baixo.”⁴¹.

Como acréscimo, a torre possui ainda dois andares técnicos que ajudam na questão do contraventamento⁴² e como estabilizadores em situações de sismos.



Figuras 110, 111 e 112 | *US Bank Tower*, detalhe do coroamento, geometrias e vista a partir da rua

40 MOLINA, Johan A. P. (2018). *US Bank Tower*. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/u-s-bank-tower/>>. Acesso em 08 de Outubro de 2022

41 Tradução de excerto sobre o *US Bank Tower*. Skyscraper Center. Fonte disponível na Internet em: <<https://www.skyscrapercenter.com/building/us-bank-tower/445>>. Acesso em 08 de Outubro de 2022

42 Contraventamento é o ato ou ação de criar barreiras que auxiliem no combate às ações do vento.

Já em Kuala Lumpur, as *Petronas Twin Towers* com 452 metros estão unidas por uma ponte situada entre o 41º e o 42º andar. Este elemento foi pensado para servir como um estabilizador entre as duas torres, sendo 'um peso extra' em caso de sismos ou de ventos fortes. Contudo, para evitar que estas colapsassem pela estaticidade⁴³ das fixações da ponte, elas foram unidas através de dobradiças e rolamentos flexíveis.

“Desta forma, se os edifícios oscilarem em direções opostas ao vento ou durante tempestades mais fortes, a ponte permanece fixa e neutraliza o movimento, de modo que as pessoas que passarem por ela sintam o mínimo desconforto possível. De facto, embora ela seja flexível, não é possível perceber movimentos fortes na ponte entre as Torres Gémeas Petronas.”⁴⁴

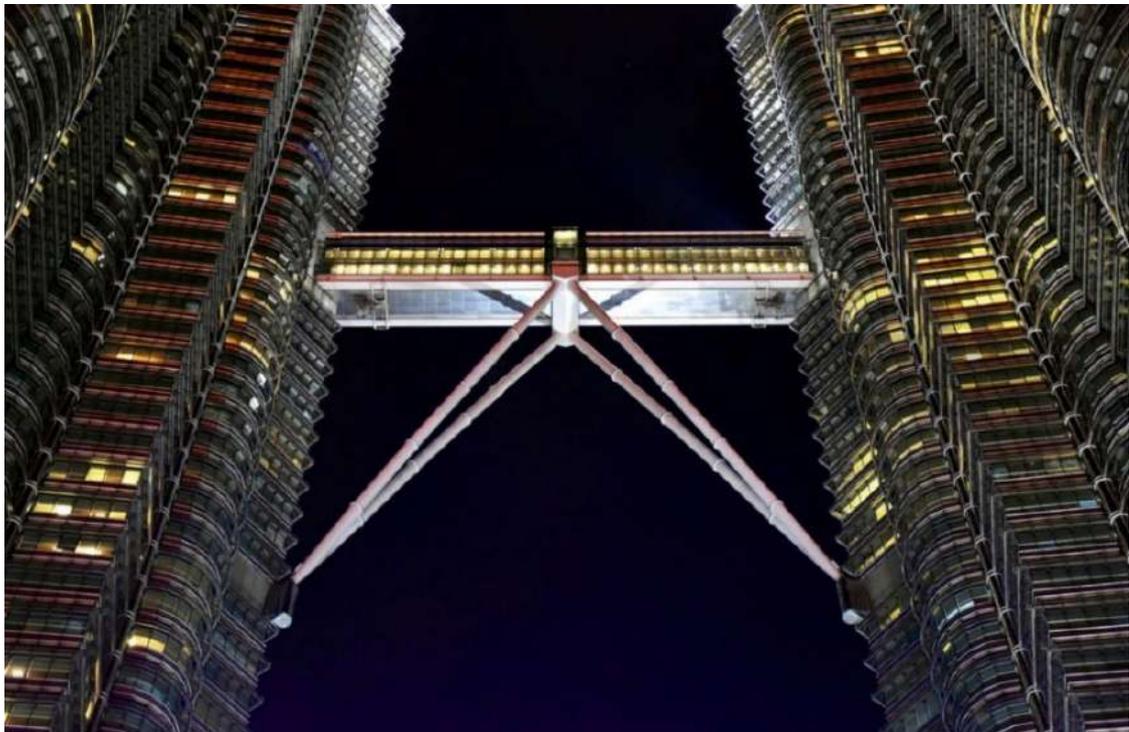


Figura 113 | Detalhe da ponte entre as *Petronas Twin Towers*

⁴³ Qualidade do que é estático.

⁴⁴ NEMES, Ana. (2014). Megaestruturas inteligentes: a engenharia dos novos arranha-céus. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.tecmundo.com.br/engenharia/51950-megaestruturas-inteligentes-a-engenharia-dos-novos-arranha-ceus.htm>>. Acesso em 08 de Outubro de 2022

2.4.3 Problemas pelo uso de formas e materiais indevidos

a. Edifício Vdara Hotel e o 'raio da morte', em Las Vegas

Em 2009, o Vdara Hotel fora construído na cidade do deserto de Nevada, nos Estados Unidos. Com temperaturas secas e extremamente quentes no verão, as pessoas da cidade procuram deslocar-se em veículos ou pelo subterrâneo, evitando ao máximo a exposição solar.

Assim, em Dezembro de 2009 foi construído o Vdara Hotel & Spa, composto por uma panóplia de espaços e equipamentos como "...aproximadamente 1.495 unidades habitacionais, incluindo estúdios, estúdios de luxo, apartamentos de um e dois quartos, assim como *penthouses* de um e dois quartos (de um e dois andares), variando de 150 a 500 m². As comodidades e serviços incluem um luxuoso spa e salão, piscina com cabanas para uma maior privacidade, um centro de fitness, um restaurante, serviço de rececionista 24 horas por dia, salas de conferências e reuniões de última geração, uma sala de jantar, serviços de limpeza e estacionamento com manobrista."⁴⁵.

Num comunicado de 2008, o responsável pelo projeto Rafael Vinoly, declarou que:

"... a forma em lua crescente distinta de Vdara e a sua pele singular de vidro estampado criarão uma das declarações de design mais marcantes em Las Vegas."⁴⁶

Contudo, quando o edifício já exercia funções, os hóspedes começaram a relatar um grave problema que este apresentava. No verão de 2010, alguns hóspedes referiram que saíram do edifício com graves queimaduras solares.

Concluiu-se que, devido à incidência dos raios solares em determinado ângulo contra a fachada devido ao seu design curvo, esta refletia um feixe de luz tão forte para a zona da piscina, efeito semelhante ao de uma lupa gigante (situação que se repetiu no edifício do "walkie-talkie" anos mais tarde).

45 e 46 Tradução de texto de Casino City Times, 2008. Fonte disponível na Internet em: <<https://www.casinocitytimes.com/news/article/citycenter-commemorates-construction-milestone-173071?contentID=173071>>. Acesso em 08 de Outubro de 2022



Figuras 114 e 115 | Edifício "Vdara Hotel" e esquema do problema

"À medida que o dia passa, o ponto quente desloca-se na área da piscina, aumentando as temperaturas em cerca de 20 °C. No início de Junho de 2016, um hóspede alegou que a área da piscina era de 107,6 graus Fahrenheit."⁴⁷, o equivalente a 42 graus Celcius.

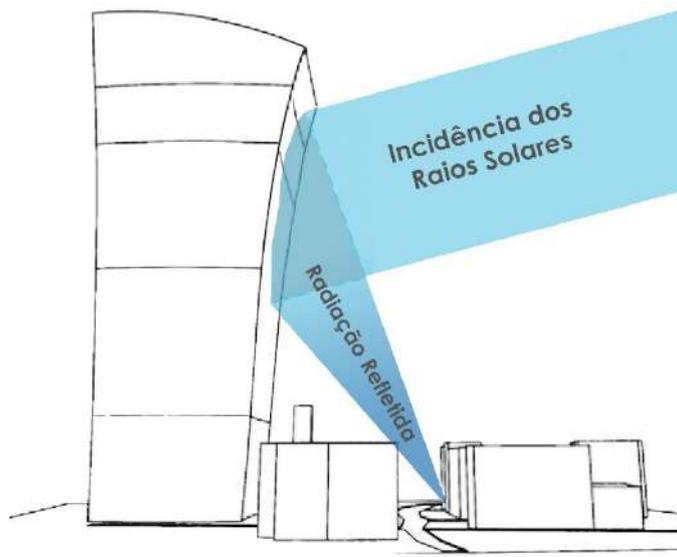
Contudo, a solução encontrada para minimizar o problema foi implementar duas soluções que em nada afetam o edifício. Como a zona da piscina era o local onde este 'raio da morte' incidia, a solução foi espalhar dispersamente guarda-sóis gigantes sobre a piscina, de modo a bloquear os feixes de luz provenientes da fachada, permitindo que o sol continuasse a penetrar em algumas zonas. A outra solução adotada foi plantar algumas árvores de copa mais densa de forma a fazer algum sombreamento aos banhistas, impedindo que estes sofressem insolações.

Atualmente, os guarda-sóis continuam a ser a solução utilizada pelo hotel, em complemento à vegetação que cresceu desde então. O problema não foi totalmente eliminado, mas a direção salienta que "Há muitas áreas com sombra para garantir que os nossos hóspedes permaneçam confortáveis e recebam a quantidade de sol que preferem"⁴⁸.

47 e 48 GARFIELD, Leanna. (2016). The 'death ray hotel' burning Las Vegas visitors came up with a simple fix. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.businessinsider.com/the-vdara-death-ray-hotel-is-still-burning-people-in-lasvegas-2016-6>>. Acesso em 14 de Outubro de 2022

b. Edifício 20 Fenchurch Street⁴⁹, o 'Walkie-Talkie' de Londres

Projeto do mesmo autor do 'raio da morte' de Las Vegas, este arranha-céus fica situado no distrito comercial de Londres. Popularmente conhecido como "o walkie-talkie" pela sua forma, este projeto do arquiteto Rafael Vinoly passou a fazer parte do skyline de Londres desde 2014, ano em que foi concluído. Porém, o edifício ficou conhecido ainda antes de ser inaugurado. Fora detetada uma anomalia na sua forma: por possuir faces concavas, quando o sol incidia diretamente sobre estas, a luz era refletida como acontece com um espelho, direcionando toda a energia do sol para a rua a Sul. Os indícios que algo não estava bem foram vários, pois as leituras que foram efetuadas na rua registaram valores entre 91°C a 117°C, acompanhadas por focos de luz de até seis vezes mais brilhante que a própria luz solar.⁵⁰



Figuras 116 e 117 | Edifício "Walkie-Talkie", vista a partir da rua e esquema do problema

49 LÓES, João. (2013). Arquitetura incendiária. [em linha]. Disponível na internet em: <https://istoe.com.br/323011_ARQUITETURA+INCENDIARIA/>. Acesso em 08 de Outubro de 2022

50 Fonte disponível na Internet em: <<https://www.mississauga.com/news-story/4067822-london-s-fryscaper-draws-crowd-on-hottest-day/>>. Acesso em 09 de Outubro de 2022

Enquanto as equipas não arranjam uma solução para o problema, foram ocorrendo algumas situações inusitadas. Houve relatos de algumas viaturas danificados pelas fortes temperaturas projetadas, um dos quais um Jaguar cujo dono teve de ser indenizado pela carcaça derretida.⁵¹ Outros casos foram de algumas lojas e materiais que também derreteram pela incidência destes feixes de luz, assim como um reporter local que conseguiu fritar um ovo no passeio.⁵²

Rapidamente o edifício começou a ser mal visto por parte da população e até foi apelidado como “walkie-scorchie⁵³” ou “Fryscrapper⁵⁴”.

Contudo, em Setembro de 2013, a empresa responsável pelo projeto e construção em assessoria com o governo local, optaram por remover alguns estacionamentos daquela rua a Sul, assim como cobrir algumas das janelas refletoras até outra melhor solução ser encontrada. Apenas em 2014, com a finalização da obra, o arquiteto optou por aplicar uma película anti-refletores nos vidros dos vãos daquele alçado, impedindo assim que o mesmo incidente pudesse ocorrer no futuro.

51 BBC. (2013). ‘Walkie-Talkie’ skyscraper melts Jaguar car parts. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-23930675>>. Acesso em 09 de Outubro de 2022

52 Fonte disponível na Internet em: <<https://newsfeed.time.com/2013/09/04/londons-tower-melts-cars-fries-eggs/>>. Acesso em 09 de Outubro de 2022

53 “Walkie-Scorchie” fora a junção de “Walkie-Talkie”, com o termo “Scorch” que significa Chamuscar.

54 “Fryscrapper” fora a junção do termo “Fry” que significa Fritar, com o termo “Skyscraper” que significa Arranha-céu.

2.5 Tecnologia incorporada nos edifícios

2.5.1 Uma questão de acessibilidade

O aparecimento dos elevadores foi uma necessidade que surgiu em prol do eminente desenvolvimento dos edifícios do início do século XX. Como os edifícios construídos à data tinham pouco mais de quatro andares, não eram colocados quaisquer problemas de locomoção pois as pessoas sabiam que era uma condição de habitar no cimo dos edifícios. Quem apresentasse problemas de locomoção, optava por habitações mais baixas, sem desníveis.

Contudo, com o desenvolvimento dos edifícios e o valor económico das propriedades, principalmente nas grandes cidades norte americanas, houve a necessidade de encontrar uma solução para facilitar o transporte das pessoas até os pisos mais altos.

Em 1857, o inventor Elisha Otis desenvolveu um projeto que visava solucionar este problema, onde introduz o primeiro elevador num edifício em altura, possibilitando o fácil acesso a todos os pisos. Com esta invenção, imprescindível para o desenvolvimento décadas mais tarde dos arranha-céus, a locomoção foi sendo cada vez mais desenvolvida até se chegaram aos “elevadores expresso” que se deslocam ao longo de centenas de metros numa questão de segundos.

Com o passar do tempo, o *design* dos elevadores foi sendo aperfeiçoado, chegando ao ponto de serem um dos elementos imprescindíveis dos projetos de arquitetura. Tão necessários como a água canalizada ou a energia, os elevadores num edifício destas dimensões têm de ser pensados desde o início pois as colunas verticais, ou seja, os maciços de betão armado onde estes se deslocam, podem ditar toda a organização funcional do projeto.

Assim, os elevadores criaram um paradoxo aos arquitetos pois o espaço necessário para os elevadores de deslocarem ocupam imensa área inutilizável. Assim sendo, quanto maiores os arquitetos quiserem os seus arranha-céus, maior será o número de elevadores necessários para fazer a locomoção das pessoas pelo edifício, e por sua vez, maior será a área ocupada pelos poços de elevador, colocando em questão a eficiência do edifício. Assim, os arquitetos devem ponderar sobre as mais valias entre ganhar altura, mas perder espaço útil, ou vice-versa.

Com isto, começou-se a estudar uma forma de reduzir o número de elevadores necessários para a boa eficiência do edifício, até que chegaram a algumas conclusões.

Com o desenvolvimento dos chamados “*Sky Lobbies*” ou *lobbies* aéreos em conjunto com os elevadores “expresso”, foi elaborada uma estratégia onde os passageiros entram num elevador e seguem diretos até determinado piso (*lobby* aéreo) ignorando todos os pisos intermédios e daí

fazem a distribuição para outros elevadores locais, ou seja, para o andar desejado. Como este sistema pode ser replicado, os poços de elevador que até então teriam de ter ligação direta com o piso da entrada, agora podiam ser colocados uns sobre os outros devido a essa organização funcional, reduzindo de forma prática e racional todo aquele espaço inutilizado que até então estava perdido para todo aquele agregado de acessos.

É certo que estes elevadores, por fazerem maiores distâncias, têm de ter maiores dimensões para transportar um maior número de passageiros, mas em contrapartida ocupam muito menos área, pois em vez de dois ou três elevadores pequenos que teriam cada um o seu poço de locomoção, utiliza-se apenas um maior, compactando assim o espaço.

Este modelo de *lobbies* aéreos foi colocado pela primeira vez em prática no edifício *John Hancock Center*, por Fazlur Khan. “Para servir eficazmente os andares mais altos da torre de 100 andares, foi construído um 'lobby' no 44º andar que serve apenas os pisos habitacionais da torre do 45º ao 92º andar (Figura 122). Os habitantes utilizam elevadores expresso para evitar os primeiros 43 andares e deslocam-se diretamente para o 'lobby', onde entram nos elevadores 'locais' para chegar aos andares de destino.”⁵⁵

Nos anos posteriores, é possível encontrar em quase todos os arranha-céus, *Lobbies* que interligam os elevadores expresso aos elevadores locais, para tornar a dinâmica e o deslocamento dentro dos próprios edifícios o menos demorada e conflituosa possível. As primeiras torres que tiveram mais do que um *lobby* aéreo foram as ‘torres gêmeas’ do *World Trade Center*, em 1973, cada uma delas com um *lobby* nos pisos 44º e 78º, como pode ser visto na figura 123.



Figuras 118 e 119 | Esquema dos Elevadores e dos Lobbies Aéreos dos edifícios *John Hancock Center* e *World Trade Center*, respetivamente

55 LANDAU, Jack. (2016). Explainer: Sky Lobby. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://skyrisecities.com/news/2016/03/explainer-sky-lobby>>. Acesso em 22 de Outubro de 2022

2.5.2 Desenvolvimento da domótica

Com a criação da domótica no século XX, os edifícios ganharam outras escalas de detalhe que não existia até então. Desde que os edifícios começaram a embutir energia e água canalizada para servir as necessidades humanas inerentes à boa vivência em sociedade, assim como todas as preocupações com a higiene e também com a confecção de alimentos, o desenho dos edifícios necessitou de algumas alterações relativas ao desenho técnico das estruturas e dos próprios métodos construtivos.

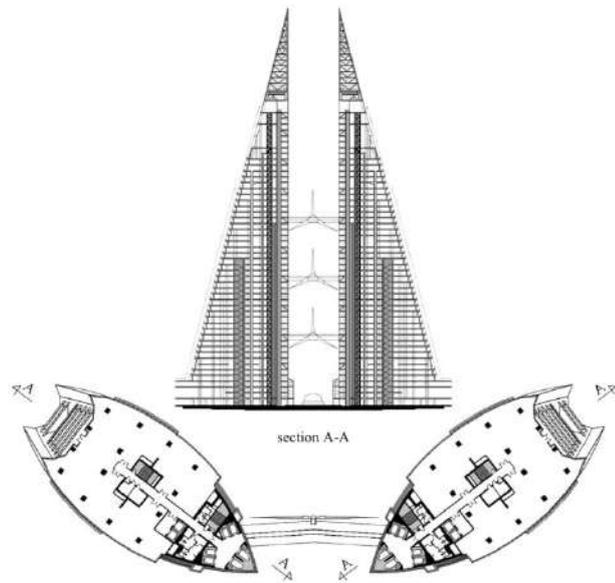
Com a chegada da energia aos edifícios, a vida tornou-se mais fácil, mas também mais dispendiosa. Contudo, nos finais do século XX e início do século XXI, com o constante desenvolvimento dos aparelhos eletrónicos e dos eletrodomésticos, as pessoas tornaram-se totalmente dependentes da energia elétrica, pois tudo agora funcionava através dela. Assim, à existência de algum problema na central de distribuição de energia, cria-se logo um congestionamento na grande maioria das habitações contemporâneas.

Com o decorrer do tempo, as pessoas começaram a desenvolver ambientes de conforto nunca vistos, onde a eficiência das próprias habitações é colocada em questão. Por exemplo, se a habitação não atribui às pessoas o conforto térmico suficiente, estas recorrem a aparelhos externos para colmatar essa deficiência. Então, num edifício como um arranha-céus, a energia elétrica é um dos fatores mais críticos, pela sua utilização massiva.

Assim, as torres contemporâneas procuram cada vez mais ser o máximo independentes e até mesmo autossuficientes no fator da produção de energia.

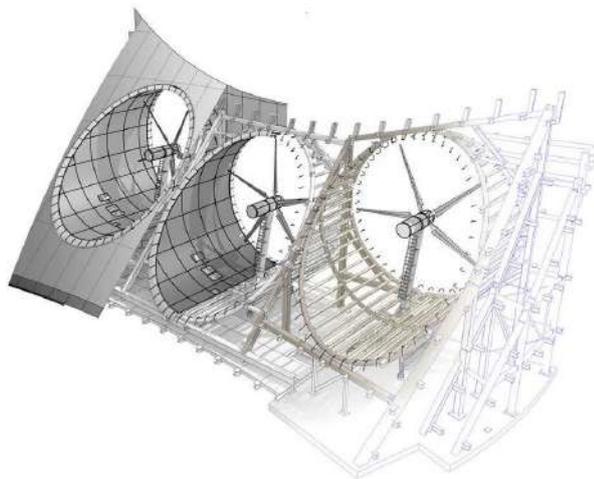
Muitos destes edifícios já possuem geradores capazes de produzir energia suficiente para determinados equipamentos. Os mais icónicos são aqueles onde as turbinas, no caso eólicas, são completamente evidentes. No edifício *Bahrain World Trade Center* (2007), observam-se três geradores eólicos embutidos na própria estrutura. Composto por duas torres simétricas de 240 metros cada, o edifício possui, de forma a criar união no conjunto, três pontes suspensas, pensadas propositadamente para suportar os três geradores eólicos de 29 metros de diâmetro. Estas turbinas funcionam até hoje e geram entre 11 a 15 % do consumo total dos edifícios, aproximadamente 1,1 a 1,3 Gigawatt/hora por ano.⁵⁶

⁵⁶ Fonte disponível na Internet em: <<https://www.designbuild-network.com/projects/bahrain-world-trade-centre/>>. Acesso em 23 de Outubro de 2022



Figuras 120 e 121 | Edifício *Bahrain WTC*, alçado principal e secção do gerador mais elevado

Por sua vez, temos o exemplo da *Strata Tower* (2010), em Londres, que foi a segunda torre a incorporar três aerogeradores na sua estrutura de forma a produzir 8% da sua energia sendo, portanto, considerado um edifício 'verde'. Contudo, por imposição dos inquilinos dos últimos andares habitacionais, os geradores foram forçados a parar durante o horário compreendido entre as 23 e as 7 horas todos os dias, pelo ruído que emitiam, ainda que durante a fase de projeto, esta tivera sido uma preocupação que os engenheiros tiveram.⁵⁷ Contudo, uma vez que pararam, nunca mais voltaram a girar e o que poderia ser um grande avanço na produção de energia daquele edifício, em vez de 8% a torre produz 0% de energia, sendo totalmente dependente da energia da rede.



⁵⁷ URBAN, Mike. (2021). The totally pointless, rarely-spinning turbines of the Strata Tower in south London. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.brixtonbuzz.com/2021/02/the-totally-pointless-non-spinning-turbines-of-the-strata-tower-in-south-london/>>. Acesso em 22 de Outubro de 2022



Figuras 122, 123 e 124 | Edifício *Strata Tower*, detalhes da construção dos geradores, vista a partir da rua e alçados com detalhes da estereotomia

A questão da energia é uma condicionante tão grande a ter nos projetos que é necessária a todos os equipamentos que dele fazem parte.

Outro fator imprescindível nos arranha-céus é a ventilação porque a partir de determinada altura, a pressão exercida é tão grande que a abertura de vãos se torna perigosa, sendo, portanto, impossível de ventilar naturalmente. Assim, estes edifícios são pensados para incluírem projetos de ventilação mecânica, como equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, servindo para "...garantir o conforto térmico desses espaços"⁵⁸. Contudo, estes tipos de sistemas têm de ser pensados como um conjunto, ou seja, não vale de nada ter bons sistemas de climatização se as janelas não forem termicamente eficientes, nem se existirem quaisquer pontes térmicas.

Quanto à forma de aquecer estes edifícios, para além do sistema já mencionado, que pode ser utilizado tanto para arrefecer como para aquecer os espaços, outra forma de aquecer estes edifícios é o pavimento radiante hidráulico, onde é colocado um percurso de tubulações do tipo PEX com início e fim numa central, que faz a renovação do circuito e a distribuição da água para aquecer o piso.

Como mencionado, as pessoas tornaram-se tão dependentes da energia que os próprios equipamentos dos edifícios se tornaram uma constante. Para se poderem monitorizar, começaram a ser desenvolvidos dispositivos que, através de uma rede interligada a todos estes sistemas (a

58 Fonte disponível na Internet em: <<https://goldenergy.pt/glossario/aquecimento-ventilacao-ar-condicionado-avac/>>. Acesso em 03 de Novembro de 2022

geração e distribuição de energia, assim como os sistemas de refrigeração e ventilação mecânica e seus consumos), tornou-se possível fazer uma gestão equilibrada da energia gasta nestes sistemas, podendo agir em conformidade com os desejos dos proprietários, numa questão de segundos à distância de uma aplicação. Existem já vários dispositivos que prestam este tipo de serviços, fazendo uso da inteligência artificial (IA), operacionados pelos vários assistentes virtuais do mundo moderno, como é o caso da 'Amazon Alexa', da 'Apple Siri' ou da 'Google Assistant'.

Estes assistentes vieram revolucionar o habitar dos espaços no mundo moderno. Para além de controlarem os gastos energéticos de uma habitação ou edifício, estes assistentes têm vindo a ser cada vez mais desenvolvidos, chegando mesmo a ser programados para responder a qualquer ordem do dono. Estes assistentes conduzem agora os seus utilizadores a uma vida cada vez mais sedentária pela facilidade de efetuar qualquer ação do edifício.

Um ótimo exemplo é a iluminação artificial tão característica dos edifícios contemporâneos.

Desde que a energia elétrica chegou aos edifícios, a iluminação artificial foi uma das primeiras situações alteradas, face às iluminações anteriores. Já neste tipo de edifícios, a iluminação artificial é uma questão obrigatória, pois por serem edifícios de grandes dimensões, com programas extremamente complexos, torna-se impossível a abertura de vãos de modo que luz solar chegue a todos os espaços. Assim, a utilização de iluminação artificial é uma peça fulcral.

Esta utilização dos assistentes veio facilitar a vida às pessoas, que agora podem controlar todas as luzes da sua casa com um simples toque, desde apagá-las como escolher em certas situações a intensidade de luminosidade e até mesmo a cor.

Outra situação que sofreu grandes mudanças com a introdução de toda esta domótica nos edifícios foram os estores e os *black-out's*. Anteriormente, as pessoas teriam de fechar os estores manualmente assim como as luzes, coisa que agora não se verifica devido ao surgimento destes *ex-libris* da tecnologia moderna.

Outros sistemas que podem ser controlados com a utilização destes mega sistemas interconectados são, por exemplo, a utilização de fechaduras eletrónicas, com cartões magnéticos, com chaves eletrónicas ou até mesmo com fatores biométricos, como a utilização de impressões digitais ou visualização ocular. Ainda podem ser associados a esta rede os sistemas de deteção de fumo, para o caso da ocorrência de incêndios e ainda os vários sistemas de videovigilância incorporados cada vez mais nos edifícios.

2.6 Conclusão

Ao longo deste capítulo fizemos a análise e concluímos que os arranha-céus devem, ainda na fase de projeto, conseguir antecipar e prevenir um alargado conjunto de problemas por forma a impedir a falha total ou parcial destes edifícios, principalmente as ações variáveis, que neste tipo de edifícios são das mais complexas entre todas.

Quando analisados os sistemas construtivos nos arranha-céus, verificou-se que só apareceram na segunda metade do século XX, com a introdução do betão armado e do aço, onde as paredes aligeiradas e as fachadas cortina permitiram um melhor aproveitamento dos espaços.

Este método foi tão eficiente que se manteve até à atualidade, onde os edifícios ainda utilizam estruturas ocultas com grandes envidraçados para encerrar as paredes dos grandes arranha-céus contemporâneos.

Pudemos ainda comprovar que os arranha-céus fazem uso de um conceito criado por eles: a 'altura da vaidade', que é a distância entre o último andar habitável e o topo do edifício. Com isto, alguns edifícios conseguiram distinções de altura pelo CTBUH e pelo *Skyscraper Center*, como os mais altos do mundo.

Contudo, logicamente deduzimos que, quanto mais altos estes edifícios são, mais complexos são os problemas derivados às causas naturais, obrigando à adoção de soluções para minimizar o impacto das ações naturais dos ventos e dos sismos.

Assim, para contornar as ações dos ventos, uma das soluções encontradas foi utilizar a aerodinâmica das formas, de modo que agissem em conformidade com as ações dos ventos.

Por sua vez, para contornar o problema relacionado com os sismos, uma das soluções encontradas foi implantar um dispositivo no topo dos edifícios deste tipo, de forma que estes possam resistir aos abalos fortes dos ventos e principalmente dos sismos.

Vimos que existem a par, outros subsistemas que contribuem para minimizar o impacto das ações sísmicas nos arranha-céus. A utilização de um sistema estrutural eficaz, como o desenvolvido por Khan, e outros designs de estruturas geométricas ou ainda a utilização de elementos que ajudem no contraventamento dos edifícios como é o caso da ponte entre as *Petronas Twin Towers.*, conseguem prevenir os danos provocados pelos sismos.

Contudo, é perceptível que por vezes, as próprias formas são a origem de outros problemas secundários aqueles mencionados. Vimos nos casos de dois edifícios do arquiteto Rafael Vinoly que os revestimentos escolhidos em conjunto com as formas curvas, foram o culminar da situação que levou a que tais edifícios ficassem com a sua imagem degradada.

Por último, pudemos perceber que sem as tecnologias inerentes a este tipo de edifícios, a sua construção seria bastante condicionada. Foi somente com a introdução dos elevadores e sua evolução para os elevadores expresso que permitiram a construção dos 'sky lobbies' e consecutivamente das 'cidades aéreas'.

Em suma, concluímos que as problemáticas impostas aos arranha-céus são semelhantes aquelas impostas a qualquer outro edifício que compõe a cidade. A diferença está na sua altura que, muitas vezes por capricho e ' vaidade', acaba por interferir e trazer ao edifício problemas sérios.

Sem o desenvolvimento dos sistemas estruturais introduzidos por Mies e posteriormente desenvolvidos por Khan, talvez a evolução destes edifícios só teria sido possível no início do século XXI, com o desenvolvimento das ferramentas digitalmente assistidas de desenho, como os programas BIM, e as mais recentes tecnologias incorporadas como a domótica, que aos dias atuais já é capaz de controlar todo o edifício.



3 Caso de estudo – O edifício mais alto do mundo

3.1 Introdução e pertinência

Com a pretensão de estudar o que levou as pessoas a construir em altura, verificou-se que existiu, de certa forma, uma corrida àquele que é o edifício mais alto de todos, aquele que é considerado a próxima meta a atingir.

Durante os vários anos de avanços construtivos e tecnológicos, os arquitetos e engenheiros foram capazes de se superarem cada vez mais, levando a que estes atingissem o que antes julgavam intangível. Ao analisar as catedrais góticas, pôde-se verificar que, de certa forma, o Homem já tinha essa pretensão de chegar a ponto de poder tocar o imaterial, o divino.

Aqui, a situação mudou um pouco de paradigma pois já não importava alcançar o divino, mas mostrar-se mais poderoso que o anterior, como forma de se autoafirmar.

Assim, procurou-se fazer uma análise profunda acerca daquele que, no momento da presente dissertação, é considerado o edifício mais alto do mundo, o Burj Khalifa.

Não é um fenómeno estranho que o Dubai possua um edifício com tal distinção porque, analisando as circunstâncias, sendo uma terra de xeiques, o que a cidade mais tem são arranha-céus megalómanos, dignos de distinção por parte do CTBUH, sendo este a estrela de todo o espetáculo.

Com este capítulo, procuraremos qual o âmbito e as ambições por trás do projeto, assim como analisar o seu programa funcional, o sistema construtivo adotado, as tecnologias incorporadas e os detalhes que fazem deste o símbolo e acento tónico do Dubai deste 2010, data em que ganhou o título de edifício mais alto do mundo.



Figura 126 | Skyline do Dubai com Burj Khalifa como acento tónico

3.2 Contextualização

O edifício Burj Dubai, como foi conhecido até à data da sua inauguração, é a maior estrutura alguma vez construída pelo Homem. Com 828 metros de altura, o Burj Khalifa Bin Zayed (vulgarmente conhecido apenas por Burj Khalifa) é o arranha-céus com o título de edifício mais alto do mundo até aos dias atuais, tendo ultrapassado o Taipei 101 (em Taiwan) no ano de 2007. Passados treze anos desde a sua inauguração, o edifício continua com o título de mais alto do mundo, segundo o Guinness World Records e ainda segundo o CTBUH, que o reconheceu após 4 de Janeiro de 2010 aquando da sua inauguração.⁵⁹

O financiamento para tal empreendimento foi feito pelo xeique e presidente dos Emirados Árabes Unidos, Khalifa bin Zayed al Nahyan, que acabou homenageado com a atribuição do seu nome ao próprio edifício.

Na realidade, o Burj Khalifa é um dos edifícios que compõe o '*Downtown Burj Dubai*', um complexo residencial e comercial com mais de dois quilómetros quadrados. Foi implantado numa zona particularmente dispendiosa devido à proximidade com as principais vias de acesso da cidade, a '*Sheik Zayed Road*' e a '*Financial Center Road*'.

O arquiteto responsável pelo projeto foi Adrian Smith, colaborador e responsável pela empresa SOM, com quem trabalhou até ao ano de 2006. Assim, a obra do Burj Khalifa está associada a esta empresa, assim como à '*Samsung Engineering*', que participou no projeto das Petronas Twin Towers, em Kuala Lumpur, na Malásia.

Na sua construção, nos períodos mais necessitadas, estiveram cerca de doze mil funcionários de várias nacionalidades a trabalhar conjuntamente na obra, que custara ao xeique dos Emirados cerca de 1,5 bilhões de dólares.⁶⁰ Contudo, mesmo sendo o edifício mais alto do mundo (cujo aço utilizado chegaria para construir uma ponte que cobriria um quarto do globo terrestre), o Burj Khalifa não foi o edifício mais caro alguma vez construído. Esta menção vai para o *One World Trade Center*, que custou cerca de 3,9 bilhões de dólares.⁶¹

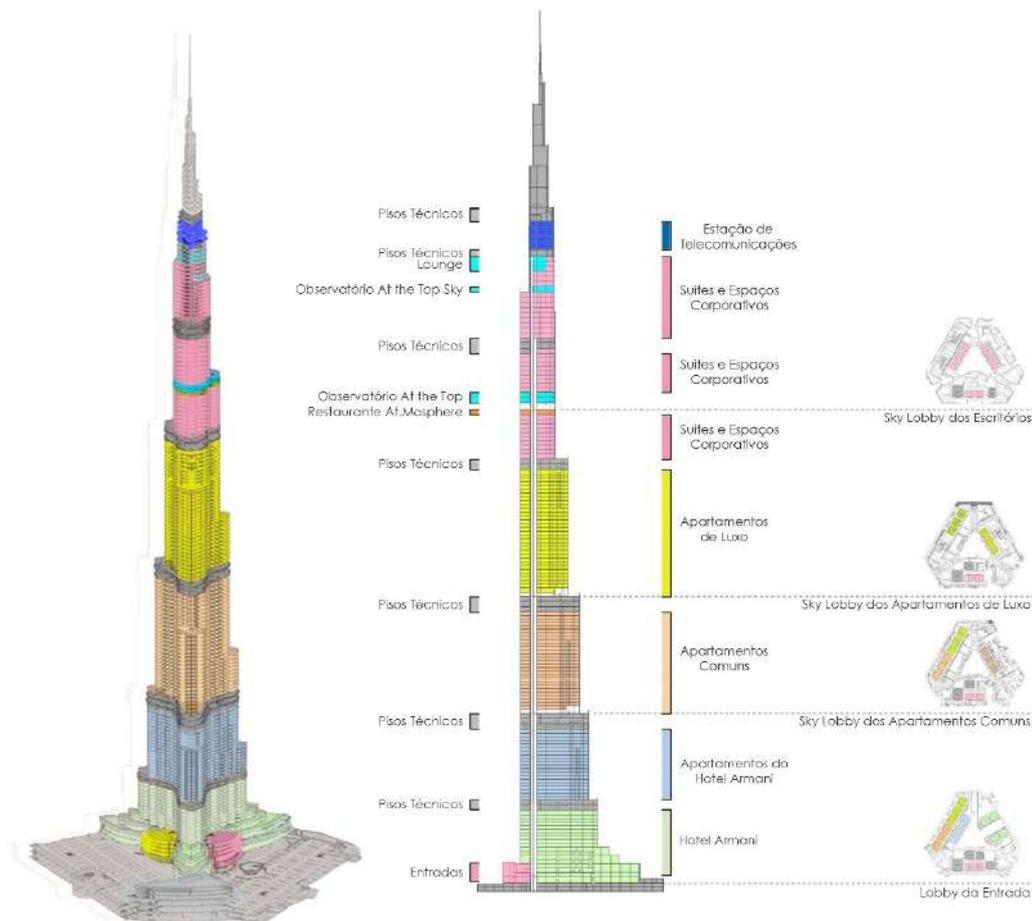
59 GWR. Burj Khalifa: o edifício mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.guinnessworldrecords.com.br/records/hall-of-fame/burj-khalifatallest-building-in-the-world>>. Acesso em 11 de Novembro de 2022

60 e 61 CRUZ, Talita. (2022). Burj Khalifa: 10 curiosidades incríveis sobre o maior prédio do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/burj-khalifa/>>. Acesso em 20 de Novembro de 2022

3.3 Programa funcional

O Burj Khalifa, ao longo de 828 metros de altura totais, conta com 163 pisos ocupáveis⁶², e mais 26 pisos construídos para ganhar altura, somando até um total de 768 metros. Em acréscimo, este possui ainda uma antena que, em conjunto com os 163 pisos uteis mais os 26 de altura arquitetónica ou altura da vaidade, atinge o recorde mundial com 828 metros.

O edifício conta com 700 habitações e um luxuoso hotel Armani, nos seus primeiros 110 andares. Nestes, ainda possui um complexo de bem-estar conhecido por Burj Club. Acima dos 109 pisos, o Burj Khalifa tem espaços corporativos ocupados por escritórios. Este é o programa base do edifício mais alto do mundo. Contudo, este possui um conjunto de miradouros espalhados pelos vários patamares ao longo da sua altura, como nos pisos 124º, 148º e 152º. Ainda que o edifício pareça não ter fim, apenas alguns andares podem ser visitados pelas pessoas exteriores à torre.



Figuras 127 e 128 | Programa funcional do Burj Khalifa, axonometria, corte e plantas dos lobbies aéreos

⁶² Segundo os critérios do CTBUH, o espaço ocupável é aquele que “é concebido para ser ocupado de forma segura por residentes, trabalhadores, ou outros utilizadores do edifício. Não inclui áreas de serviço ou mecânicas que tenham acesso a manutenção ocasional, etc”. Tradução própria do sítio da Internet em: <https://www.ctbuh.org/resource/height>. Acesso em 11 de Novembro de 2022.

3.3.1 O piso térreo

O Burj é um edifício tão magnânimo, que é possível de ser observado de todo o Dubai. Contudo, as suas entradas evidentes não são acessíveis por qualquer pessoa. Na base da sua estrutura tripartida encontram-se as três entradas possíveis do edifício, sendo cada uma delas referente a uma das funções principais do edifício, habitacionais (para quem habita no edifício), para os escritórios (para quem trabalha lá) e para o hotel ancorado no edifício.

Assim, para os turistas puderem aceder aos incríveis miradouros com vista para todo o Dubai, estes têm de entrar no *Dubai Mall* (que é considerado o maior shopping do mundo), e encontrar a 'entrada secreta' para aceder aos observatórios do Burj Khalifa. Após a entrada no edifício, os turistas podem visitar uma exposição permanente interativa, sobre a construção daquele edifício. Uma das partes com maior destaque é uma *Timelapse*⁶³ que demonstra o processo ao longo dos 72 meses de construção do edifício.

3.3.2 A partir do 4º andar

Nos níveis superiores às entradas, fica situado aquele que é o primeiro hotel Armani e ainda o Armani Deli, que nada mais é que o restaurante da marca Armani. Aqui, além de se poder encontrar o famoso café com ouro, é possível permanecer no hotel, que é considerado um dos lugares mais fabulosos para ficar no Dubai. O hotel, que se estende do piso 4º até ao 39º, é composto por 160 quartos ao longo de 8 pisos e ainda por 144 apartamentos de luxo totalmente independentes do piso 19º até ao 39º.

3.3.3 O 5º andar

Neste piso, paralelamente ao hotel Armani, existe numa outra ala do edifício um complexo de bem-estar e spa. Conhecido como Burj Club, o complexo possui ainda uma "piscina interior de tamanho semi-olímpico ou a elegante ao ar livre sob o sol escaldante", um ginásio, bar e um restaurante de luxo, parcialmente a céu aberto.

O Burj Club é todo encerrado por grandes envidraçados e fica situado de frente para a grande fonte do Burj Khalifa (que é um dos pontos principais de visita do edifício).

Um pormenor curioso é que o Burj Club tem certas zonas que apenas podem ser acedidas por mulheres, devido ao grande condicionalismo

⁶³ Timelapse "pode ser traduzido como 'lapso de tempo', e é precisamente isso. Na prática, é uma "sequência de fotos" que vai passando muito depressa..." Tradução própria do sítio da Internet em: <<https://www.epics.com.br/blog/como-fazer-time-lapse>>. Acesso em 11 de Novembro de 2022.

social dos Emirados. Assim, eles oferecem “um piso completo dedicado às senhoras, incluindo um ginásio bem equipado e um luxuoso spa.”⁶⁴

3.3.4 Observatórios panorâmicos

À medida que se sobe o edifício, encontram-se dispersos em alguns pisos os observatórios exclusivos aos utilizadores permanentes, isto porque não são acessíveis pelos turistas. Espaços como estes podem ser encontrados nos pisos 43º, 76º e 123º.

3.3.5 A partir do 44º andar

Sucessivamente aos apartamentos do hotel Armani, a partir do piso 44º, ficam as primeiras habitações desenhadas para o Burj Khalifa, apartamentos estes que, ainda sem muitos luxos, não são acessíveis a qualquer pessoa. Consecutivamente, no piso 77º, começam a aparecer os primeiros apartamentos de luxo, mobiladas com os materiais mais nobres como pedras polidas, aço inoxidável e muito vidro, materiais de eleição da designer Nada Andric, escolhidos cuidadosamente.

3.3.6 Andares técnicos

Com um edifício deste tamanho, foi necessário criar determinados andares onde todos os sistemas e equipamentos anexos ao seu funcionamento pudessem ser colocados, sem perturbarem pelo seu ruído. Estes, de acesso reservado apenas aos técnicos, foram pensados estrategicamente ao longo do Burj Khalifa, de modo que fossem colocados sempre sob os terraços alternadamente de forma a estabilizar a própria estrutura do edifício. Assim, são sete os conjuntos de andares técnicos nos pisos 17º e 18º, nos pisos 40º, 41º e 42º, nos pisos 73º, 74º e 75º, nos pisos 109º e 110º, nos pisos 136º, 137º e 138º, no piso 155º e por fim do 160º até ao 163º.

3.3.7 Espaços corporativos

Nos andares acima dos luxuosos apartamentos do Burj Khalifa, ficam situadas as zonas corporativas do edifício, sendo ocupadas por grandes empresas da região e do mundo. Estes são, no entanto, adjacentes com as suites presidenciais, cuja função é permitir que as empresas, chefes de estado e o corpo diretivo do Burj Khalifa possam permanecer nestes locais. Estes, estão distribuídos entre os andares 111º e 121º, entre os andares 125º e 135º e ainda entre os 139º e 154º andares.

⁶⁴ Fonte disponível na Internet em: <<https://www.burjkhalifa.ae/en/the-burj-club/>>. Acesso em 11 de Novembro de 2022

3.3.8 Restaurante mais alto do mundo

No 122º piso, adjacente aos espaços corporativos e às suites presidenciais, fica situado o restaurante At.Mosphere, local onde se pode comer ou tomar uma bebida, com uma vista deslumbrante do Dubai e do golfo Pérsico.

A sua decoração, diferente da imposta por Nada Andric, ficou encarregue ao designer de Nova Iorque Adam Tihany. Com revestimentos de parede e tetos em madeira de mogno e um pavimento exuberante, o At.Mosphere é considerado um dos melhores restaurantes para jantar no Dubai, tendo sido destacado pelo Guinness World Records com o título de restaurante mais alto do mundo.⁶⁵



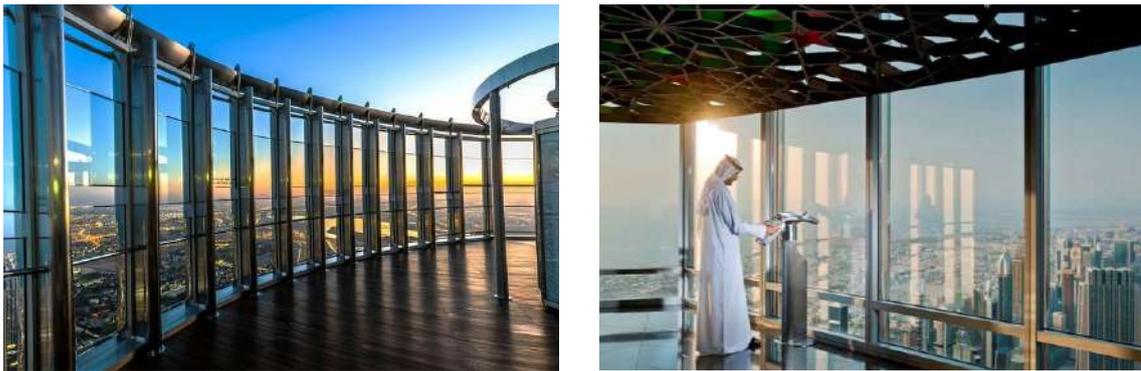
Figura 129 | The Lounge, vista do andar 152º

65 GWR. Burj Khalifa: o edifício mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.guinnessworldrecords.com.br/records/hall-of-fame/burj-khalifatallest-building-in-the-world>>. Acesso em 11 de Novembro de 2022

3.3.9 Miradouros dos andares 124° e 125°

Sendo os miradouros mais conhecidos do Burj Khalifa, os observatórios *At the Top*, nos pisos 124° e 125° são também os mais procurados pelos turistas. No andar 124°, existe a possibilidade de sair do edifício para o exterior, a 442 metros de altura e observar a vista panorâmica do horizonte dos Emirados.⁶⁶

Já no 125°, a 446 metros, é possível contemplar uma vista 360° de todo o Dubai. Esta vista tem ainda uma galeria cujo pavimento e paredes são em vidro, permitindo aos visitantes uma experiência imersiva.



Figuras 130 e 131 | Observatórios At the Top, nos pisos 124° e 125°, respetivamente

3.3.10 Observatório do piso 148°

Outra opção mais requintada é o observatório localizado 23 pisos acima do *At the Top*, conhecido como *At the top of Burj Khalifa SKY*. Este observatório fica localizado a precisamente 555,7 metros do chão, e era considerado o observatório a céu aberto mais alto do mundo até “que a Shanghai Tower, de 632 metros, abriu um com 561,3 metros”.⁶⁷

Segundo relatos de turistas, a diferença entre o miradouro do 125° piso e o do 148° é que no mais alto existem “mais nuvens e o deserto parece ainda maior”.⁶⁸

Este observatório é ainda mais restrito que o *At the Top*, pois neste, a permanência por pessoa é de apenas 30 minutos, enquanto no dos pisos 124° e 125°, a permanência é livre.

66 Fonte disponível na Internet em: <<https://www.burjkhalifa.ae/en/observation-decks/>>. Acesso em 21 de Novembro de 2022

67 GWR. Burj Khalifa: o edifício mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.guinnessworldrecords.com.br/records/hall-of-fame/burj-khalifataallest-building-in-the-world>>. Acesso em 11 de Novembro de 2022

68 LUCA, Leda de. (2022). Burj Khalifa: guia completo do prédio mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://aresdomundo.com/burj-khalifa/>>. Acesso em 25 de Novembro de 2022



Figura 132 | Vista do observatório At the Top Sky, no andar 148°

3.3.11 *The Lounge*

Por último, nos andares 152°, 153° e 154° do Burj Khalifa, semelhante aos outros observatórios já mencionados, pode-se encontrar o *Lounge*. Se for considerada a altura ocupável⁶⁹ do edifício, composta por 163 andares, o *Lounge* está muito perto do topo.

Localizado a 585 metros de altura, este espaço requintado oferece aos seus ocupantes uma experiência exclusiva, como deliciar-se “com uma seleção impecável dos melhores chás e cafés” e degustar “uma bebida da casa ou um copo de espumante complementado por canapés gourmet”⁷⁰, enquanto imerge num “passeio exclusivo pelo terraço ao ar livre”, a uma altura de 585 metros do chão.

⁶⁹ Consultar nota de rodapé 62

⁷⁰ Fonte disponível no sítio da Internet em: <<https://www.burjkhalifa.ae/en/the-lounge/>>. Acesso em 11 de Novembro de 2022.

3.4 Sistema estrutural incorporado

3.4.1 O núcleo central

O elemento que distingue o Burj Khalifa, estruturalmente falando, é o seu núcleo hexagonal. Construído em betão armado, este núcleo é a coluna vertebral que permite que o edifício permaneça de pé, apesar das devastadoras tempestades de vento do Dubai. A par de manter o edifício equilibrado, o núcleo também hospeda todo o conjunto de sistemas de elevadores do edifício, cinquenta e sete no total, que se deslocam a uma velocidade de 10 metros por segundo.

Se o eixo central hexagonal fosse apenas extrudido, um elemento assim tão fino e altamente instável, em teoria teria tudo para colapsar. Contudo, a SOM (empresa que concebeu o Burj Khalifa), apresentou uma solução um tanto inovadora. Inspiraram-se no conceito dos contrafortes, tipicamente românicos, para apoiar as paredes do núcleo em três das seis faces, impedindo que estas sofressem muita pressão pelas ações horizontais como as do vento.⁷¹

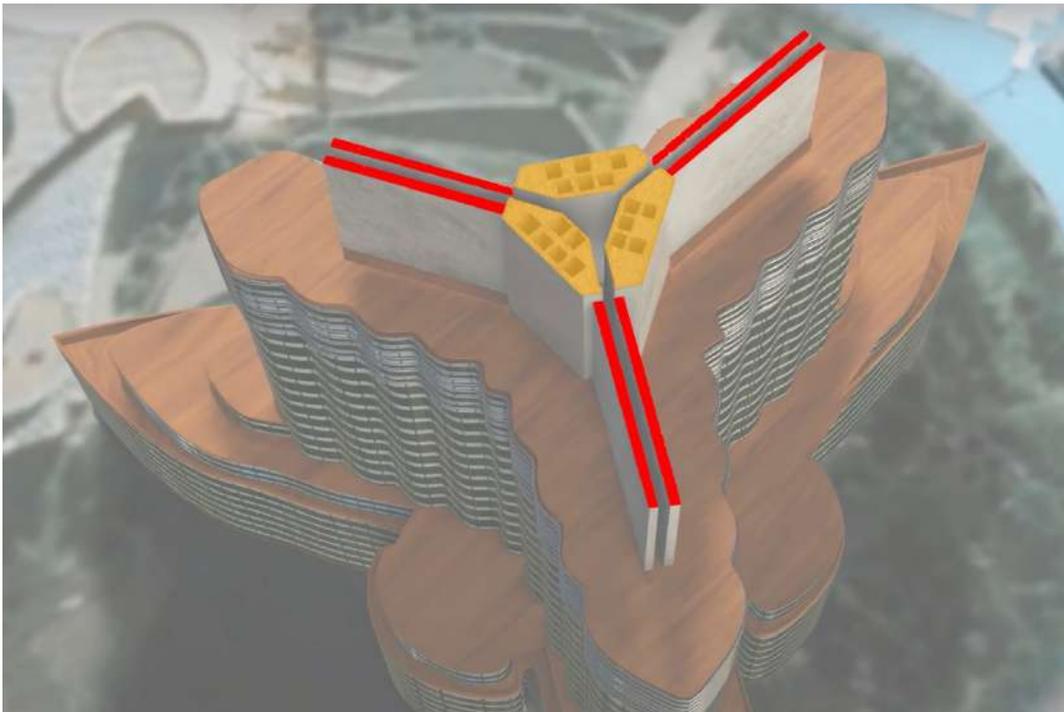


Figura 133 | Núcleo central representado à cor laranja e os contrafortes representados à cor vermelho

Consideremos esta situação: as forças de resistência provenientes dos contrafortes impedem que o edifício seja empurrado. Na outra situação

71 ARCOS. (2017). Burj Khalifa: conheça os segredos de engenharia do prédio mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://arcos.eng.br/burjkhalifa-conheca-os-segredos-de-engenharia-do-predio-mais-alto-do-mundo/>>, Acesso em 22 de Novembro de 2022

possível, a força do vento é amparada pelo efeito combinado dos dois contrafortes que se encontram num único ponto central.

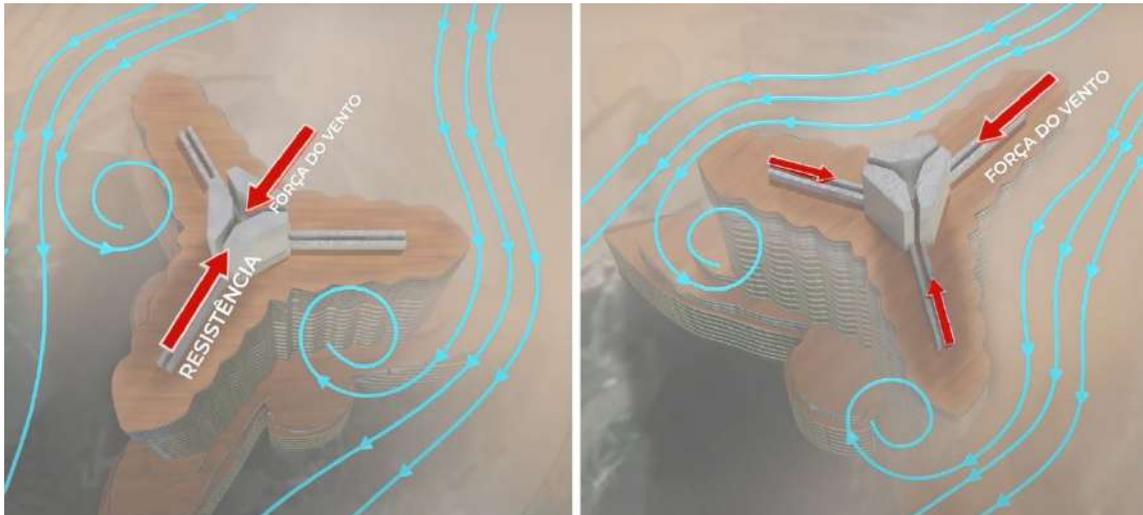


Figura 134 | Esquema de funcionamento dos contrafortes na resistência aos ventos, à cor vermelho

Para tornar os pisos à volta dos contrafortes práticos, estes transformaram-se para atribuir ao edifício um design em forma de degraus, pois se fossem inclinados como no românico, o aproveitamento interior dos espaços seria incalculavelmente condicionado pela sua forma. Os engenheiros da Skidmore conceberam-nos desta forma para que se possa conviver ao seu lado sem sequer nos apercebermos do que são, pois acabam por se misturar com o próprio ambiente.

Os arquitetos, por sua vez, também fizeram uso destes de uma forma eficaz. Removendo a secção central dos contrafortes, puderam utilizar estes espaços para criar corredores, efetuando a saída do núcleo central, onde ficam situados os elevadores, pelo centro dos contrafortes.



Figura 135 | Camuflagem dos contrafortes enquanto elementos presentes nos ambientes, à cor azul

3.4.2 Estruturas adicionais

Perpendicularmente aos contrafortes, foram pensadas umas paredes em betão armado unidas a estes que, além de ajudarem a estabilizar o edifício, servem ainda de suporte para apoiar as fachadas em vidro. Contudo, a principal função destas paredes transversais é transformar a estrutura do Burj Khalifa numa espécie de super esqueleto.

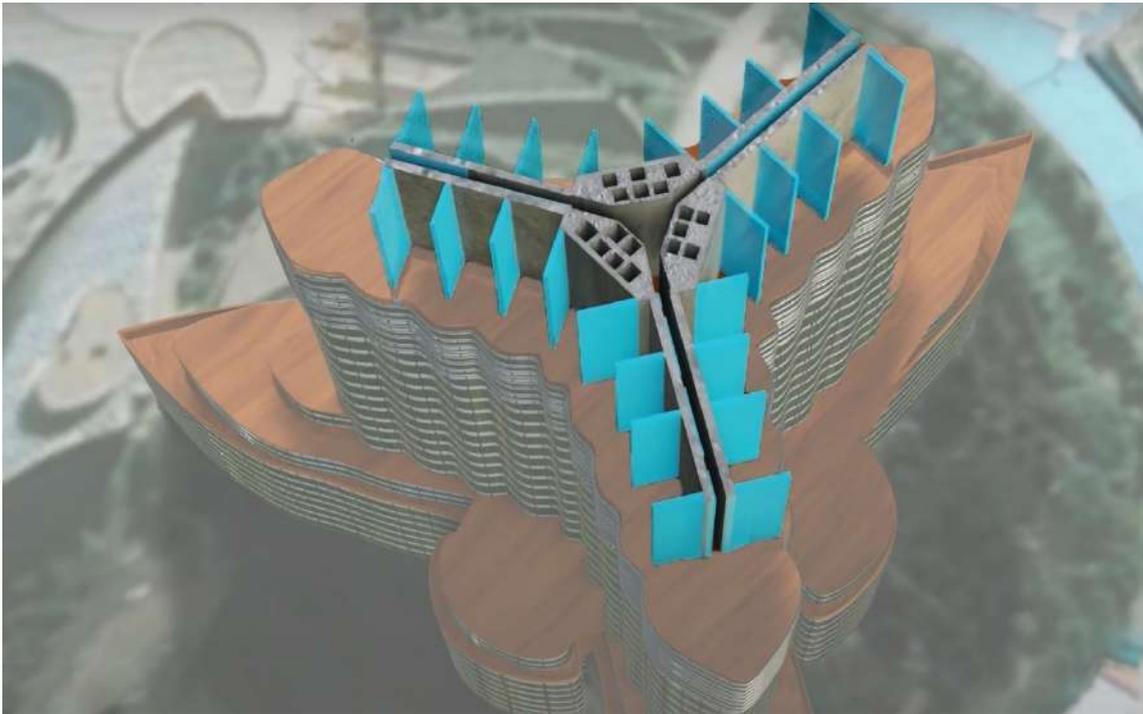


Figura 136 | Esquema das paredes perpendiculares aos contrafortes, à cor azul

O betão é um ótimo material estático e rijo, cuja propriedade de compressão é extraordinária. Contudo, apresenta uma grande fraqueza contra a tração. Quando uma viga de betão armado sofre determinada deformação, a tração causada na secção exterior apenas aguenta uma pequena quantidade de tensão, até que comece a fissurar. Por este motivo, o núcleo do Burj Khalifa é composto por betão armado, com barras de aço no seu interior. As barras de aço, por terem uma ótima resistência à tração, absorvem a maior parte da tensão que o betão não suporta.

O melhor método para evitar a flexão de uma viga na engenharia estrutural é a utilização de vigas de secção I. Isso foi o que os engenheiros fizeram quando criaram as paredes perpendiculares aos contrafortes. Ao visualizar atentamente, pode-se perceber através de uma secção horizontal do edifício, que a forma como as paredes estão dispostas à volta dos contrafortes funcionam como grandes vigas I dispostas verticalmente ao longo de toda a estrutura do edifício.

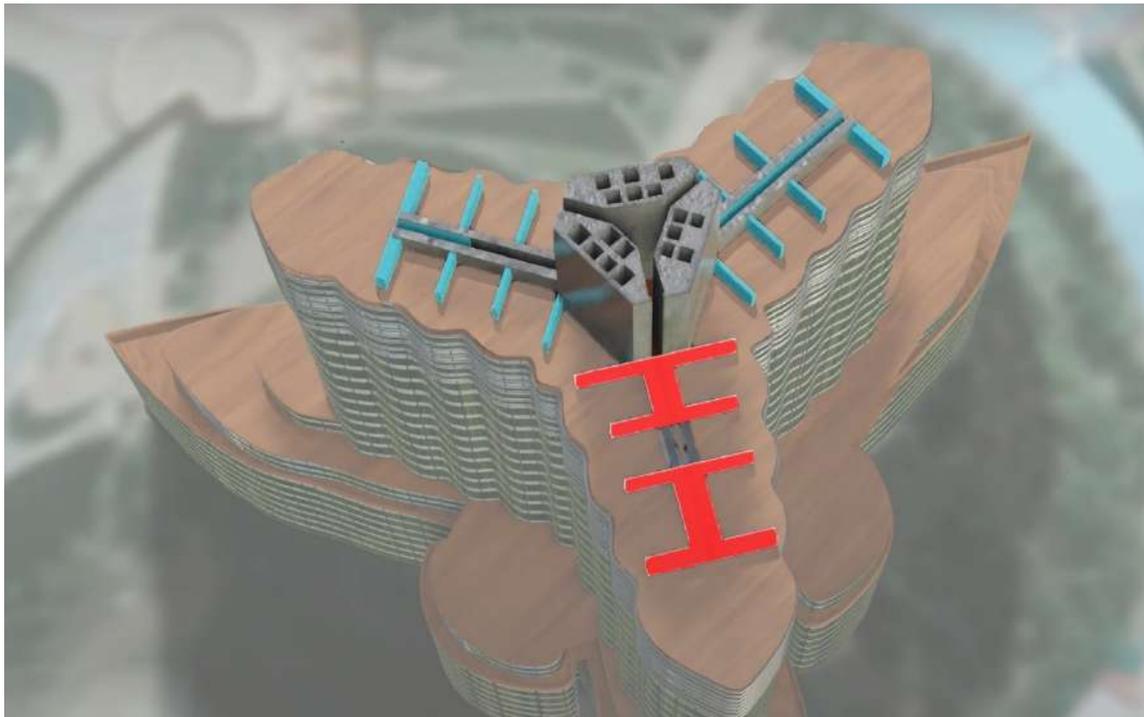


Figura 137 | Demonstração da formação de grandes 'vigas I' com as paredes perpendiculares aos contrafortes, à cor vermelho

Ao analisar o design do Burj Khalifa, percebemos algumas diferenças de cor mais escura nos pisos antecessores às coberturas dos vários patamares do arranha-céus. Isto deve-se à existência de sete pisos técnicos. Os pilares que foram utilizados no Burj Khalifa, compõe um autêntico emaranhado estrutural e, tendo a necessidade de serem estruturalmente bloqueados, criaram-se estes pisos técnicos para colmatar o topo destas colunas, servindo também de 'telhado' aos vários patamares do edifício.

Nestes pisos, ficam alojados os sistemas elétricos e de refrigeração, assim como os tanques de água entre muitos outros sistemas necessários ao funcionamento do Burj Khalifa, pisos estes acessíveis apenas aos técnicos de manutenção. Quando vistos do exterior, estes pisos são enclausurados com paredes de betão armado, onde ficam localizados os tubos utilizados pelos trabalhadores para que se possa efetuar a limpeza das suas fachadas em vidro.

Outro detalhe importante que foi implementado no Burj Khalifa foi um conjunto de salas pressurizadas, colocadas a cada 35 pisos, pensadas para qualquer necessidade de emergência sofrida no edifício, desde um atentado terrorista até a propagação de um incêndio.

3.4.3 Problemas relacionados com a ação dos ventos

Apesar do Burj Khalifa ser um colosso no *skyline* do Dubai, apenas 70% do seu peso é suportado pelo núcleo de betão armado. Os restantes 30% do topo são suportados por uma estrutura de aço, independente do núcleo que, numa tempestade, pode dobrar-se e oscilar cerca de 1,80 metros.

Graças ao betão armado, o núcleo hexagonal combinado com a estabilidade dos contrafortes é capaz de resistir a alguma torção, ou seja, à pressão exercida pelo vento, mais numa direção do que em outra. ~

Mas porque será que os projetistas optaram por um design assimétrico ao invés de um simétrico?

Quando o vento passa à volta de uma estrutura, pode levar a um fenómeno chamado desprendimento de vórtices. Os vórtices criados pelo vento flutuam à volta da estrutura criando uma força sobre o edifício. Aí, o edifício oscilará violentamente, e se estas oscilações continuarem a aumentar, poderão eventualmente levar ao colapso completo do Burj Khalifa. De forma a ultrapassar este problema, Skidmore apresentou uma inovação arquitetónica: criar uma espiral no edifício. Uma forma em espiral é a melhor solução para eliminar o desprendimento do vórtice, segundo os estudos realizados neste âmbito, confundindo o vento, uma vez que a forma varia. Assim, a forma do Burj Khalifa foi repensada sob o conceito de uma espiral de torres onde, à volta do eixo principal e à medida que vão subindo, os andares vão sendo progressivamente mais altos, ou seja, através de torres de diferentes alturas formando uma espiral discreta.⁷²

3.4.4 Problemas relacionados com as fundações

Que o Burj Khalifa é um feito extraordinário da engenharia civil contemporânea e conhecido como acento tónico dos Emirados Árabes Unidos, ninguém pode negar. A questão mais curiosa é:

Como é que um edifício com uma estrutura tão pesada é capaz de aguentar no solo arenoso do Dubai sem se afundar?

Aquando da análise geotérmica para verificar as condições do solo onde fora implantado o Burj Khalifa, os engenheiros não conseguiram encontrar nenhuma zona sólida suficientemente capaz de aguentar as cargas, nem mesmo depois de terem perfurado o solo a 140 metros de profundidade. Assim, os engenheiros tiveram de encontrar uma forma de superar a baixa capacidade de suporte do solo e depois a diferença de cargas a que o solo iria ficar exposto devido ao diverso peso estrutural assimétrico do edifício. A solução, foi utilizar um ensoleiramento geral, sob a

⁷² Fonte disponível na Internet em: <<https://mystudybay.com.br/blog/edificio-mais-alto-do-mundo-tcc-monografia/>>. Acesso em 22 de Novembro de 2022.

estrutura massiva de betão armado, unida ao núcleo hexagonal, aos contrafortes e às paredes que, em conjunto, formavam secções I, como se de colunas se tratassem.

Este ensoleiramento foi construído em betão armado com uma espessura de 3 metros e uma alta capacidade de carga. Esta super laje, distribui o peso do edifício por uma área maior, igualmente distribuída, resistindo, portanto, à diferença de assentamento devido ao peso disperso.

Ainda que o Burj Khalifa estivesse 'apenas' suportado por aquela grande laje, ainda assim, devido ao seu peso, este ainda teria tendência a enterrar-se. Assim, William Baker (engenheiro chefe responsável pelo Burj Khalifa) apresentou uma solução onde, utilizando várias estacas de betão armado, a fricção entre a superfície destas estacas e as rochas sedimentares, resistiria à carga do edifício, impedindo então que este se afundasse.

3.4.5 Tecnologia incorporada

No topo do edifício, fora instalado um pequeno dispositivo para evitar que o Burj Khalifa queime durante as tempestades. Esta antena para-raios é ligada a um sensor alimentado por uma bateria e, assim que esta deteta uma nuvem sobrecarregada nas proximidades, gera instantaneamente cargas opostas na sua superfície, de forma a atrair os raios.

O fluxo de eletrões provenientes dos raios, ao atingir a ponta do dispositivo, passa através da estrutura de aço do núcleo central do edifício, dissipando-se nos poços de terra construídos junto às estacas de fundação do edifício. Por esta façanha tecnológica, o Burj Khalifa é considerado o para-raios do Dubai, uma vez que o seu dispositivo equipado no topo, recebe quase todos os raios daquela cidade, devido à sua altura colossal.

Os elevadores do Burj Khalifa, especificamente os de acesso ao público possuem algo que desperta a atenção de qualquer um pelo uso da tecnologia mais inovadora. Quando os turistas entram pelo centro comercial, após a exposição sobre a construção do edifício, temos os elevadores que dão acesso aos miradouros. Estes elevadores, para além de tecnologicamente avançados são extremamente rápidos e interativos, chegando a percorrer 10 metros em apenas 1 segundo, não totalizando sequer um minuto desde a entrada até ao primeiro miradouro no andar 124.

Enquanto as pessoas esperam pela chegada do elevador, os números da sua localização são apresentados sob a forma de uma projeção, nas suas portas.

Já no interior dos elevadores, a interatividade prolonga-se através de um holograma projetado na cobertura, dando a impressão de que o elevador extrapolou os limites do edifício e saiu a voar do mesmo.

Outro sistema que fora utilizado no Burj Khalifa, ainda na sua fase de construção fora o próprio método de construção do edifício. É certo que não é uma tecnologia propriamente dita, mas foi um método inovador que só assim permitiu a construção desta estrutura.

Devido ao clima quente do Dubai, mesmo utilizado as bombas mais potentes do mundo para transportar o betão, este ter-se-ia solidificado antes de chegar ao seu destino. Assim, as equipas responsáveis por essa tarefa tiveram a necessidade de utilizar um tipo especial de betão com um adjuvante retardador de presa misturado com gelo. Só assim, as equipas conseguiram bombear o betão e construir o edifício mais alto do mundo e com a maior estrutura de betão armado.

Este trabalho foi feito durante a noite e, ainda assim, este solidificava quase imediatamente após o derrame nas formas, levando a que as equipas completassem apenas um piso por semana.

A nível ecológico, como já fora dito no capítulo '2.5.2 Desenvolvimento da domótica', manter um edifício desta dimensão, energeticamente falando, torna-se dispendioso. Não sendo bastante os gastos de um arranha-céus comum, os gastos do Burj Khalifa teriam também eles de ser algo colossal. Assim, estima-se que o edifício gaste diariamente o equivalente ao gasto de uma cidade média com 200 mil habitantes.

Paralelamente a isto, gasta quase um milhão de litros de água por dia. "Como parte de uma tentativa de se manter sustentável, o Burj Khalifa reutiliza quase 57 milhões de litros de água da fonte, para regar as plantas de paisagismo, e com o sistema de refrigeração".⁷³

3.4.6 Formas e materialidades

Quando fazemos uma aproximação aos Emirados Árabes Unidos, a silhueta distinta do Burj Khalifa sobressai no *skyline* da cidade, sendo visível em até 95 quilómetros de distância.⁷⁴

Contudo, quanto mais perto se está do edifício é que se começa a perceber toda a sua magnificência. Coberto por vinte e seis mil painéis de vidro esverdeado cortados à mão, preparados para resistir às altas temperaturas do Dubai (cuja limpeza de cima a baixo se prolonga durante 3 meses consecutivos, tendo a necessidade de recomeçar no fim desse tempo), o Burj Khalifa eleva-se desde a sua fundação em espiral até ao céu, impondo respeito com os seus 828 metros. Existe, inclusive, uma placa à entrada onde está escrita a seguinte citação: 'Da Terra para o Céu: um

73 Fonte disponível na Internet em: <<https://www.dubai-tickets.co/pt/burj-khalifa/fatos-imperdiveis/>>. Acesso em 10 de Novembro de 2022.

74 Fonte disponível na Internet em: <<https://cadbe.es/burjkhalifaeledificiomasaltodelmundola-nueva-relacion-delo-espanol-con-la-vivienda-2/>>. Acesso em 10 de Novembro de 2022.

símbolo brilhante daquilo pelo que o Dubai se esforça e daquilo que nós podemos realizar⁷⁵.

Este brilho diz respeito às enormes fachadas que os arquitetos conceberam ao redor do edifício, atribuindo a todos os espaços interiores habitacionais e hoteleiros, uma vista deslumbrante do Dubai. Toda esta exuberância, alinhada com os materiais interiores como pedra polida, aço inoxidável e vidro, a cargo da design de interiores Nada Andric, tornou os espaços do Burj Khalifa confortavelmente inspiradores para muitos arranha-céus ao redor do mundo.

Ao visualizar o Burj Khalifa de cima, pode-se perceber que a sua forma intrigante, apesar dos motivos relacionados com a sua rotação, tem algo de geométrico. Ao estudar o caso, percebe-se que a inspiração para a forma da base do edifício está relacionada com uma flor sagrada do médio oriente, de nome científico *Hymenocallis*, vulgo lírio-aranha. Esta flor composta por seis pétalas, sendo três as preponderantes, terão estado na origem do conceito tripartido da base do Burj Khalifa. Estas três alas principais que estruturam a base do edifício, como já mencionado, servem de entrada aos programas preponderantes, como o hotel, os escritórios e as habitações de luxo, à semelhança da flor onde apenas três das pétalas têm destaque.⁷⁶



Figuras 138 e 139 | Formato da base do Burj Khalifa e lírio-aranha, respetivamente

75 LUCA, Leda de. (2022). Burj Khalifa: guia completo do prédio mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://aresdomundo.com/burj-khalifa/>>, Acesso em 25 de Novembro de 2022

76 Fonte disponível na Internet em: <<https://cadbe.es/burjkhalifaeledificiomasaltodelmundola-nueva-relacion-delo-espanol-con-la-vivienda-2/>>. Acesso em 25 de Novembro de 2022.

3.5 Conclusão

Neste capítulo, procurámos debruçar-nos acerca das questões diretamente relacionadas com o Burj Khalifa.

Pudemos apurar que o seu financiamento foi feito pelo xeique e presidente dos Emirados Árabes Unidos à época, que terá sido homenageado com o seu nome no edifício.

Já o arquiteto foi Adrian Smith, através da empresa SOM, que trabalhou em inúmeros projetos de arranha-céus de renome como a *'Willis Tower'*, o *'John Hancock Center'* ou mais recentemente o *'One World Trade Center'*.

Quanto ao seu programa, verificou-se que, apesar do edifício contar com habitações de luxo, um hotel Armani, um conjunto de spa, vários espaços corporativos e ainda um conjunto de miradouros, apenas alguns destes andares podem ser acessíveis para visitas.

Analisado todo o programa, foi analisado o sistema construtivo utilizado no Burj Khalifa. Percebemos que o elemento que o distingue dos demais é o seu núcleo hexagonal em betão armado, em conjunto com uns contrafortes que servem para o auxiliar, apoiando três das suas seis faces, atribuindo a forma em Y quando visto de cima.

Os engenheiros conceberam os contrafortes de tal forma que se possa conviver ao seu lado sem ninguém se aperceber que eles lá estão, envolvendo-se com o próprio espaço, removendo a secção central dos mesmos.

Verificou-se também que, para atribuir mais rigidez e segurança à estrutura, a SOM implementou um sistema com paredes transversais aos contrafortes, em betão armado, para auxiliarem na estabilidade do edifício, agindo como grandes vigas I dispostas verticalmente ao longo de toda a estrutura do edifício, funcionando como uma espécie de super estrutura.

A jusante, notou-se a existência de seis pisos técnicos, antecessores às coberturas dos patamares do edifício. Nestes pisos, ficam todos os sistemas necessários ao funcionamento do Burj Khalifa.

Quando fomos perceber de que forma é que o edifício estava preparado para resistir às ações dos ventos, descobrimos que 30 % do topo (altura da vaidade) é suportado por uma estrutura de aço independente do núcleo, de forma a poder oscilar cerca de 1,80 metros, durante as tempestades. À parte do topo, graças ao núcleo hexagonal combinado com a estabilidade dos contrafortes, o edifício é capaz de resistir a alguma torção devido à sua forma, cujos andares vão sendo progressivamente mais altos, formando uma espiral e dissipando assim as fortes ações dos ventos.

Outra questão que nos pareceu pertinente abordar foi sobre as fundações do edifício devido à imensa carga a que o solo arenoso do Dubai está sujeito.

Descobrimos que os engenheiros não conseguiram encontrar nenhuma zona sólida capaz de aguentar as cargas, apresentando uma solução onde utilizaram um ensoleiramento geral unido a toda a estrutura principal. Este ensoleiramento, foi construído em betão armado e, apesar de suportar todo o peso, esta imensa laje ter-se-ia afundado se não fosse a utilização de várias estacas de betão armado, cuja fricção entre a superfície e as rochas, resistiria à carga do edifício, impedindo que este se afundasse.

À parte desta matéria, toda a análise nesta dissertação permite-nos concluir que a construção de arranha-céus não seria possível sem a utilização de tecnologia incorporada. Assim, com o Burj Khalifa não foi diferente. No topo do edifício, fora instalado um dispositivo para prevenir que este queime durante as tempestades. Assim, é considerado o para-raios do Dubai, uma vez que recebe todos os raios da cidade devido à sua altura.

Outro incremento do Burj Khalifa são os elevadores tecnologicamente avançados que são extremamente rápidos e interativos, apresentando sob a forma de uma projeção nas suas portas, os números da sua localização e no interior um holograma projetado que dá a impressão do ambiente exterior, como se estivessemos a subir num elevador translúcido.

Outro aspeto formal que descobrimos nesta investigação foi que os arquitetos se inspiraram numa flor sagrada do médio oriente composta por seis pétalas, sendo três delas as preponderantes, de onde a origem do conceito tripartido da base do Burj Khalifa terá tido origem.

Em conclusão, pode-se afirmar que um edifício como o Burj Khalifa, com a sua escala colossal, somente poderia ser construído num país como o Dubai, pelo seu poder económico e pela sua escala e implicações envolventes. Ao imaginar este edifício numa cidade ocidental como Nova Iorque ou Londres, são inimagináveis as consequências que tal colosso traria para a cidade. É certo que o edifício foi considerado por muito tempo, aquilo que os arquitetos procuraram desde o início da construção em altura, atingir o intangível.

Contudo, à data deste texto, já existe outro arranha-céus em fase de construção, na cidade de Gidá na Arábia Saudita, que promete ser o edifício mais alto do mundo. A Jeddah tower (previamente Kingdom Tower), projetada pelo mesmo arquiteto do Burj Khalifa (cujo arquiteto Adrian Smith se separou do grupo SOM e criou uma parceria com o seu novo sócio Gordon Gill, fundando a ASGG), garante ser o primeiro arranha-céus de 1 quilómetro de altura.

Assim, todos os conceitos e programas discutidos neste capítulo, possivelmente poderão ser encontrados na nova Jeddah Tower, devido ao facto de ter sido o mesmo arquiteto a criar um 'transito de formas'.

Conclusões Finais

No início da presente investigação, após a definição do objeto em estudo cujo enquadramento teve por base a continuidade da análise desenvolvida na unidade curricular de projeto III, foram enumeradas algumas ideias acerca do conceito de torre no imaginário popular.

Contudo, pudemos perceber, com base nos contributos dados pelo CTBUH e pelo *Skyscraper Center*, que existe um conjunto de critérios de seleção que categorizam os arranha-céus através de vários fatores, como a sua altura, a sua proporção face à envolvente, os seus usos, o seu espaço ocupável versus não ocupável, assim como a sua altura da vaidade e topo construído.

Assim, através destes critérios, todos os edifícios arranha-céus do mundo são categorizados de forma que lhes seja atribuído variadíssimas distinções como pudemos verificar ao longo da investigação, seja como o 'edifício mais alto do mundo', seja por ter o 'miradouro a céu aberto mais alto num edifício', ou até por ter 'o elevador mais rápido'. Estes edifícios tornaram-se numa grande parte dos casos, ícones das próprias cidades onde estão inseridos, tornando-se na imagem publicitária da própria cidade, como é o caso do Dubai com o *Burj Khalifa*, o caso de Taiwan com o *Taipei 101* ou ainda Kuala Lumpur com as *Petronas Twin Towers*.

Com objetivos muito vinculados, procurou-se através de uma metodologia assertiva, analisar e concluir quais os motivos que levaram ao abandono da expansão territorial preponderantemente horizontal em permuta por uma expansão cada vez mais vertical.

Para isso, no primeiro capítulo 'Enquadramento histórico', compreendemos a evolução do conceito de torre até à sua versão contemporânea de arranha-céus, assim como analisar as variantes de torres que já existiram, incluindo os seus contextos e a sua história, concluindo, que as torres mantiveram os seus preceitos, embora desde as primeiras até à atuais, tenham mudado os seus usos.

Posteriormente, foram investigados os motivos que levaram à construção destes edifícios cada vez mais elevados. Concluimos que toda aquela 'corrida' ao edifício mais alto, teve como origem uma disputa por orgulho, por fazer maior e melhor que o anterior, disputa esta que se prolonga até à atualidade.

Percebendo os motivos que levaram a essa corrida e onde tivera início, a pesquisa liderou-nos a perceber que, se não fosse o aparecimento da arquitetura moderna e os avanços tecnológicos emergentes, nenhum destes edifícios teria sido possível de ser construído. Evidentemente, sem os contributos dos arquitetos como Mies van der Rohe, Le Corbusier e Walter Gropius, os arranha-céus provavelmente continuariam a ser, até aos dias atuais, como os primeiros edifícios assumidamente altos da história, como o

Chrysler Building ou o *Empire State Building*, munidos de ornamentação e ainda envoltos num espírito neoclássico.

Percebemos por último que este aumento de edifícios levou a que as cidades 'compartimentassem' a sua área, de forma a organizarem-se por funções, levando à criação dos CBD's, onde ficam situados todos os principais arranha-céus do mundo, cujas funções estão essencialmente relacionadas com escritórios.

Uma vez efetuada a análise histórica relacionada com os arranha-céus, foram vistos outros parâmetros como compreender as motivações estéticas que levaram a tais designs e ainda perceber a sua expressão através da tecnologia.

Investigou-se, numa primeira fase, os tipos de construção que estes edifícios tinham em meados do século XIX, quando houve a necessidade de evoluírem. Apenas com a introdução do betão armado e do aço, assim como das fachadas cortina, os arranha-céus puderam atingir patamares impensáveis.

Foram também os contributos do engenheiro estrutural Fazlur Khan que, pelo seu trabalho desenvolvido no âmbito dos sistemas modulares para arranha-céus, que estes puderam ganhar novas formas e silhuetas, dando uma nova imagem ao símbolo do arranha-céus.

Ao possuímos de antemão, conhecimentos técnicos suficientes para reconhecer os problemas e eventuais soluções inerentes à construção dos edifícios (fruto das aprendizagens efetuadas ao longo do percurso académico), concluímos, após uma análise, que os problemas afetos a este tipo de construções são dos mais complexos que existem, devido à sua escala. Evidentemente, as piores ações estão relacionadas com o vento e com a sismologia.

Descobrimos que para combater ambas as ações, os edifícios muniram-se de alguns equipamentos e designs próprios que amortecem a incidência dos ventos e as ondas de choque provocadas pelos sismos. Estes métodos são a utilização das suas formas (fazendo com que o vento se desvie ao embater nas suas fachadas) e a implementação dos TMD's no topo dos edifícios, para os contrabalançar.

Por último, a análise levou-nos a verificar quais os incrementos tecnológicos que levaram à concretização destes edifícios. Desde cedo na investigação que descobrimos que os elevadores tinham sido a chave que desbloqueou a construção dos arranha-céus. Para tal dedicamo-nos a pesquisar aprofundadamente a história dos elevadores, desde os mais básicos implementados no *Home Insurance Building*, até aos mais modernos implementados no Burj Khalifa. Descobrimos que uma escolha eficiente da utilização dos elevadores pode fazer toda a diferença no projeto de um arranha-céus, assim como a utilização dos 'sky lobbies' para fazer as distribuições em determinados programas do edifício, como um para as habitações, outro para os escritórios, etc.

Finalmente, como forma de colmatar toda a investigação realizada, decidimos fazer uma análise, como caso de estudo principal, daquele que é o acento tónico dos arranha-céus, o Burj Khalifa.

Ao investigar sobre o seu contexto, descobrimos que a empresa responsável pelo projeto do Burj Khalifa fora a SOM em parceria com a *Samsung Engineering*, cujo trabalho na área dos arranha-céus já conta com vários exemplares deste tipo de edifícios em todo o mundo.

Isto permitiu-nos concluir que, por este motivo, aconteceu um 'trânsito de formas', visto que as duas empresas, como já têm experiência de construção neste tipo de edifícios, os conhecimentos e ideias formais transitam de um lugar para o outro, ajustando-se evidentemente ao clima e à situação onde este seria implantado.

Assim, vimos que tipo de programa tinha sido idealizado para o Burj Khalifa, descobrindo que apenas 30% deste é aberto ao público em geral. Os outros 70% dos espaços são reservados aos vários programas particulares que este possui.

Fazendo uma abordagem sucinta, pode-se resumir que o Burj Khalifa tem na sua base uma estrutura tripartida em forma de Y, contendo cada uma das extremidades uma entrada individual afeta a cada um dos programas principais do edifício. Este programa, é composto por um glamoroso hotel Armani conhecido em todo o mundo pelas suas ofertas exclusivas, que compõe os andares 4º até ao 39º. Outro dos programas principais com uma entrada exclusiva são as habitações desenhadas para o Burj Khalifa que diferem em dois tipos, apartamentos comuns e apartamentos de luxo. Estes estão dispostos desde o andar 44º até ao 108º andar. Por último, a terceira entrada efetuada pela base do Burj Khalifa dá acesso aos espaços corporativos pensados para o Burj assim como para as suites presidenciais, que vão do andar 111º até ao 121º e ainda do 125º até ao 154º.

Por sua vez os turistas, para visitarem os 30 % do edifício supracitados, efetuam a entrada por um acesso secundário, no *Dubai Mall*, anexo ao Burj Khalifa.

Estes, podem visitar apenas o 5º andar do edifício, onde fica situado o Burj Club. Podem ainda visitar o conceituado restaurante At.Mosphere situado no 122º andar do Burj Khalifa. Por último, podem visitar os miradouros situados nos pisos 124º e 125º, o observatório do piso 148º ou ainda o Lounge, nos andares 152º, 153º e 154º.

Percebendo o seu programa, foi feita uma investigação sobre a parte construtiva de forma a perceber de que forma é que todos aqueles princípios que fomos abordando ao longo da presente investigação, tinham sido aplicados ou, pelo menos, tidos em consideração.

Assim, vimos que o que torna o Burj Khalifa estável é o seu núcleo hexagonal auxiliado por contrafortes que lhe garantem toda a estabilidade

necessária para não colapsar com a incidência dos ventos. A parte disto, foram pensados ainda um conjunto de paredes adjacentes aos contrafortes, cujo objetivo foi atribuir mais solidez e segurança, agindo como grandes vigas I, dispostas verticalmente. Para colmatar, todo este conjunto estrutural foi encastrado por pilares e andares técnicos, que a par de serem um elemento estrutural a jusante, funcionam ainda para acomodar todos os equipamentos necessários ao funcionamento do edifício.

Como conclusão da investigação, foi visto o tipo de tecnologia que tinha sido implementada no Burj Khalifa. Além do para-raios da cobertura supramencionado, o grande ex-libris do edifício são sem dúvida os elevadores mais rápidos do mundo, tecnologicamente avançados e interativos, cuja projeção de um holograma na cobertura e paredes é o que o distingue.

Ainda em relação à forma, apesar da sua formalização por questões associadas ao combate das ações dos ventos, os arquitetos terão obtido inspiração para a sua forma tripartida através da flor sagrada mencionada no capítulo '3.4.6 Formas e materialidades', o lírio-aranha.

Fontes e Bibliografia

- Bibliografia

- AIELLO, Carlo (2008). Skyscraper for the XXI Century. 1ª edição. Evolo Publishing, New York.
- ARMAS, Duarte de (1997). Livro das Fortalezas. 2ª edição. Edições INAPA.
- BAKER, Geoffrey H. (1991). Analisis de la forma: urbanismo e arquitectura. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- BENÉVOLO, Leonardo (1994). História de la arquitectura moderna. 7ª edição. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- BLUESTONE, Daniel (1991). Constructing Chicago. Yale University Press, London.
- CHING, Francis D. K. (2015). Architecture: Form, Space and Order. 4ª edição. Wiley Publisher, New Jersey.
- CIUCCI, Giorgio, et al. (1975). La ciudad americana. 4ª edição. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- CONDIT, Carl W. (1964). The Chicago School of Architecture – a history of comercial and public building in the Chicago area. The University of Chicago Press, Chicago.
- CORNILLE, Didier (2014). Who built that? Skyscrapers. Princeton Architectural Press, New York.
- GIL, Júlio (1986). Os mais belos Castelos de Portugal. 2ª edição. Editorial Verbo, Lisboa.
- GLANCEY, Jonathan (2001). História da Arquitectura. Civilização Editora, Itália. Tradução de: Ana Maria Pinto da Silva.
- GRAVE, João. Castelos Portugueses: Enciclopédia pela Imagem. Lello & Irmão Editores, Porto.
- GROPIUS, Walter (2001). Bauhaus: novarquitectura. 6ª edição. Editora Perspectiva, São Paulo. Tradução de: J. Guinsburg, Ingrid Dormien.
- KRIER, Rob (1981). El Espacio Urbano. 2ª edição. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- LESLIE, Thomas (2013). Chicago Skyscrapers: 1871 – 1934. University of Illinois Press, Illinois.
- LINCH, Kevin (2011). A imagem da cidade. 1ª edição. Edições 70, Lisboa. Tradução de: Maria Cristina Tavares Afonso.
- MACAULAY, David (1995). (Des)construção de um Arranha-céus. 1ª edição. Martins Fontes, São Paulo
- MAUSBACH, Hans (1977). Urbanismo Contemporâneo. Editorial Presença, Lisboa.
- MONTEIRO, João Gouveia e PONTES, Maria Leonor (2002). Castelos Portugueses: Guias Temáticos. IPPAR, Lisboa.

- NUNES, António Lopes Pires (2005). Dicionário de Arquitectura Militar. Caleidoscópio, Lisboa.

- PEREIRA, Paulo (2022). Arquitectura Portuguesa: história essencial. 1ª edição. Temas e Debates, Lisboa.

- SUTTON, Ian (2004). História da arquitectura no ocidente: desde a grécia antiga até ao presente. Editorial Verbo, Lisboa. Tradução de: Francisco Silva Pereira.

- Dissertações

- AZEVEDO, Alexandre B. S. (2016). Construção em altura: reflexões - uma análise sobre o fenómeno da construção em altura. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Arquitectura da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

- FERNANDES, - João F. C. (2014). As cidades verticais, um mito ou uma realidade - Caso de estudo - Burj Al Khalifa. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Arquitectura da Escola Universitária Vasco da Gama

- SANCHES, João P. F. (2012). Controlo de vibrações em pontes pedonais sujeitas a ações de multidões. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

- Fontes impressas

- BUI, Quoc Trung, CHABAN, Matt Av, WHITE, Jeremy. 2016. 40 Percent of the Buildings in Manhattan Could Not Be Built Today, in New York Times, publicado a 30/05/2016.

- REIS, Bárbara, FARIA, Óscar. 2004. "Se não há edifícios de onde podemos olhar, regressamos às cavernas", in PÚBLICO, publicado a 14/02/2004.

- Endereços Eletrónicos

- ARCOS. (2017). Burj Khalifa: conheça os segredos de engenharia do prédio mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://arcos.eng.br/burj-khalifa-conheca-os-segredos-de-engenharia-do-predio-mais-alto-do-mundo/>>, consultado em 22 de Novembro de 2022.

- BBC. (2013). 'Walkie-Talkie' skyscraper metls Jaguar car parts. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-23930675>>, consultado em 09 de Outubro de 2022.

- CRUZ, Talita. (2022). Burj Khalifa: 10 curiosidades incríveis sobre o maior prédio do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/burj-khalifa/>>, consultado em 20 de Novembro de 2022.

- CTBUH. Tall Building Criteria. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.ctbuh.org/resource/height>>, consultado em 31 de Outubro de 2022.

- DUBEY, Parul. (2016). The Man Who Saved the Skyscraper. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://informedinfrastructure.com/25510/the-man-who-saved-the-skyscraper/>>, consultado em 30 de Outubro de 2022.

- GARFIELD, Leanna. (2016). The 'death ray hotel' burning Las Vegas visitors came up with a simple fix. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.businessinsider.com/the-vegas-death-ray-hotel-is-still-burning-people-in-las-vegas-2016-6>>, consultado em 14 de Outubro de 2022.

- GWR. Burj Khalifa: o edifício mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.guinnessworldrecords.com.br/records/hall-of-fame/burj-khalifa-tallest-building-in-the-world>>, consultado em 11 de Novembro de 2022.

- HASSETT, Melissa. (2017). TAO ZHU YIN YUAN, CNN. [em linha]. Disponível na internet em: <https://vincent.callebaut.org/object/110130_taipei/taipei/projects>, consultado em 05 de Abril de 2023.

- HISTÓRIA. (2010). Home Insurance Building. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.history.com/topics/landmarks/home-insurance-building>>, consultado em 29 de Outubro de 2022.

- IMBROISI, Margaret; MARTINS, Simone. (2022). Bauhaus. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.historiadasartes.com/nomundo/arte-seculo-20/bauhaus/>>, consultado em 31 de Agosto de 2022.

- LANDAU, Jack. (2016). Explainer: Sky Lobby. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://skyriscities.com/news/2016/03/explainer-sky-lobby>>, consultado em 22 de Outubro de 2022.

- LÓES, João. (2013). Arquitetura incendiária. [em linha]. Disponível na internet em: <https://istoe.com.br/323011_ARQUITETURA+INCENDIARIA/>, consultado em 08 de Outubro de 2022.

- LUCA, Leda de. (2022). Burj Khalifa: guia completo do prédio mais alto do mundo. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://aresdomundo.com/burj-khalifa/>>, consultado em 25 de Novembro de 2022.

- MOLINA, Johan A. P. (2018). US Bank Tower. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/u-s-bank-tower/>>, consultado em 08 de Outubro de 2022.

- NEMES, Ana. (2014). Megaestruturas inteligentes: a engenharia dos novos arranha-céus. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.tecmundo.com.br/engenharia/51950-megaestruturas-inteligentes-a-engenharia-dos-novos-arranha-ceus.htm>>, consultado em 08 de Outubro de 2022.

- PATOWARY, Kaushik. (2014). The 728-Ton Tuned Mass Damper of Taipei 101. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.amusingplanet.com/2014/08/the-728-ton-tuned-mass-damper-of-taipei.html>>, consultado em 08 de Outubro de 2022.

- PREVIDELLI, Amanda. (2016). Os arranha-céus que mais "roubam" nas alturas. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://exame.com/mundo/os-arranha-ceus-que-mais-roubam-nas-alturas/>>, consultado em 30 de Setembro de 2022.

- STRINGFIXER. (2021). Arranha-céus. [em linha]. Disponível na internet em: <https://stringfixer.com/pt/Office_tower>, consultado em 04 de Setembro de 2022.

- TEIXEIRA, Carlos M. (2012). De volta a 1916 – Sobre o concurso para edifício Park Avenue 425. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/13.148/4566>>, consultado em 29 de Outubro de 2022.

- URBAN, Mike. (2021). The totally pointless, rarely-spinning turbines of the Strata Tower in south London. [em linha]. Disponível na internet em: <<https://www.brixtonbuzz.com/2021/02/the-totally-pointless-non-spinning-turbines-of-the-strata-tower-in-south-london/>>, consultado em 22 de Outubro de 2022.



Fábio Guimarães, 24 anos, natural de Guimarães. Apaixonado pela lógica e pela razão, desde cedo gostei da profissão do Arquiteto, por ser capaz de conseguir ver além do que é palpável, sendo assim um visionário. Entrar na Universidade Lusíada, em Vila Nova de Famalicão, foi a resolução de um sonho pois permitiu me adquirir os conhecimentos e valores necessários para começar o meu próprio caminho enquanto Arquiteto.

