

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

GUSTAVO BERALDO ALVES

GESTÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ALTOS

São Paulo

2024

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

GUSTAVO BERALDO ALVES

GESTÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ALTOS

Versão original

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Especialista em Tecnologia
e Gestão na Produção de Edifícios

Orientador:

Prof. Carlos Eduardo Grazina

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Alves, Gustavo Manuel Beraldo Esteves
GESTÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ALTOS / G. M. B. E. Alves --
São Paulo, 2024.
84 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Edifícios Altos 2.Arranha-Céu 3.Edifícios 4.Gestão da Construção
5.Edifícios Super Altos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli
Integra II.t.

Referência bibliográfica ao trabalho de monografia: Alves, Gustavo Manuel Beraldo Esteves. **Gestão da Construção de Edifícios Altos**. 2024. 84 p.: il. Monografia (Especialidade em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Aprovado em: 05 de novembro de 2024

Banca Examinadora

Orientador: Professor Mestre Carlos Eduardo Grazina

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Examinador 1: Professor Doutor Mestre Luiz Reynaldo de Azevedo Cardoso

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Examinador 2: Mestre Thomas Martin Diepenbruck

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

À minha família que me permitiu me tornar quem sou.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização desta monografia.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador Carlos Grazina, pela sua orientação, paciência e apoio ao longo de todo o processo de pesquisa e escrita deste trabalho. Agradeço também aos meus professores e colegas de curso, que compartilharam seus conhecimentos e experiências, enriquecendo assim o meu aprendizado e a qualidade deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais e a minha namorada, pelo amor incondicional, apoio emocional e incentivo constante. Sem o seu apoio, este trabalho não teria sido possível. Aos meus amigos, colegas de trabalho e entes queridos, que estiveram ao meu lado durante todo o processo, compreendendo os momentos de ausência e me incentivando nos momentos de desafio. Suas palavras de encorajamento foram essenciais para manter minha motivação.

Por fim, agradeço a todas as fontes de inspiração que encontrei ao longo desta jornada acadêmica, sejam elas obras literárias, pesquisas anteriores, ou experiências pessoais. Cada uma delas contribuiu de alguma forma para a construção deste trabalho.

RESUMO

A construção de edifícios altos tem se mostrado uma tendência nas grandes metrópoles mundiais, e se tornaram símbolos de desenvolvimento e prosperidade. Contudo, buscar eficiência na construção de edifícios altos requer soluções e tecnologias que podem ser em boa parte diferentes das soluções adotadas para edifícios convencionais, especialmente na busca de um bom planejamento e logística durante o processo de construção.

A CTBUH é a organização responsável por classificar e listar os maiores edifícios do mundo, com critérios e métricas para classificar essas construções. Neste sentido, o trabalho apresenta uma análise sobre a construção de edifícios altos e seus desafios de projeto e execução, focado na logística e produtividade.

Para desenvolver o estudo, foi feita uma revisão bibliográfica dos últimos três edifícios detentores dos títulos de mais altos do mundo. A pesquisa traz diferentes soluções de engenharia adotadas, compreendendo o projeto, planejamento e execução de alguns elementos essenciais ao caminho crítico dos empreendimentos, cujas inspirações podem servir de referência para a construção de novos edifícios até hoje.

Além disso, o trabalho apresenta um estudo de caso analisando a construção do mais alto edifício da cidade de São Paulo até 2024, visitando quais tecnologias foram adotadas visando garantir a produtividade e eficiência da construção. O estudo traz também desafios de logística e as soluções encontradas para contornar as dificuldades encontradas pela equipe durante a gestão da construção, além de uma análise sobre o planejamento prévio levando em conta a altura do edifício.

Por fim, são apresentadas indicações de melhorias que poderiam ser implantadas na construção do estudo de caso, bem como recomendações para novos edifícios altos que venham a ser construídos no Brasil.

Palavras chaves: Edifícios Altos; Arranha-Céu; Edifícios; Gestão da Construção; Edifícios Super Altos.

ABSTRACT

The construction of tall buildings has become a trend in major global metropolises, serving as symbols of development and prosperity. However, seeking efficiency in the construction of tall buildings requires solutions and technologies that can be largely different from those adopted for conventional buildings, particularly in achieving effective planning and logistics throughout the construction process.

The Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) is the organization responsible for classifying and listing the tallest buildings in the world, using specific criteria and metrics. In this context, the paper presents an analysis of the construction of tall buildings and the challenges associated with design and execution, focusing on logistics and productivity.

To develop the study, a literature review was conducted on the last three buildings that held the titles of the tallest in the world. The research presents various engineering solutions adopted, encompassing the design, planning, and execution of essential elements related to the critical path of these projects, whose inspirations may serve as references for the construction of new buildings to this day.

Additionally, the paper includes a case study analyzing the construction of the tallest building in São Paulo as of 2024, examining the technologies adopted to ensure productivity and construction efficiency. The study also discusses logistical challenges and the solutions implemented to overcome difficulties encountered by the team during the construction management, along with an analysis of prior planning considering the building's height.

Finally, suggestions for improvements that could be implemented in the case study's construction are presented, as well as recommendations for new tall buildings that may be constructed in Brazil.

Keywords: Tall Buildings; Skyscrapers; Buildings; Construction Management; Super Tall Buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação de edifício ou torre de serviço.....	12
Figura 2– Características da ocupação de edificações.....	13
Figura 3 – Diferentes classificações de altura das edificações	14
Figura 4 – Classificação de edifícios altos	14
Figura 5 – Núcleo Burj Khalifa	16
Figura 6 – Plantas Burj Khalifa	17
Figura 7 – Concretagem noturna	18
Figura 8 – Formas Doka	19
Figura 9 – Instalação de painéis de vidro	20
Figura 10 – Pagoda Chinesa	21
Figura 11 – Modelo túnel de vento Taipei 101	22
Figura 12 – Planta Taipei 101	23
Figura 13 – Mega pilar	23
Figura 14 - Sistema de treliças	24
Figura 15 - Sistema de treliças	24
Figura 16 - TMD Taipe 101	24
Figura 17 – Sistema de Inércia Taipei 101	25
Figura 18 – TMD Taipe 101	25
Figura 19 – Sistema jump formwork	26
Figura 20 – Torre de montagem	27
Figura 21 – Formato das Petronas Twin Towers.....	28
Figura 22 – Concretagem do bloco da Petronas Tower 1.....	29
Figura 23 – Desaprumo da torre A	30
Figura 24 – Passarela suspensa.....	31
Figura 25 – Índice de Frequência: Fatores que afetam a produtividade da mão de obra	33
Figura 26 – Fórmula de Spearman	33
Figura 27 – Índice de Frequência: Fatores que afetam a produtividade dos equipamentos	34
Figura 28 – Divisão de andares Platina 220	40
Figura 29 – Fachada ventilada do Platina 220.....	41
Figura 30 – Localização da obra.....	42
Figura 31 - Vista da fachada com grua.....	43

Figura 32 – Placing Boom	44
Figura 33 - Layout de Canteiro Térreo	46
Figura 34 - Layout de Canteiro 1º Subsolo	46
Figura 35 - Layout de Canteiro 2º Subsolo	47
Figura 36 – Plataformas cremalheiras	50
Figura 37 – Suportes.....	52
Figura 38 – Perfis verticais.....	52
Figura 39 – Perfis horizontais.....	53
Figura 40 – Emendas entre perfis horizontais	53
Figura 41 – Ganchos.....	54
Figura 42 – Colagem dos ganchos e painéis.....	54
Figura 43 – Instalação dos painéis de porcelanato	54
Figura 44 - Esquema vertical – média tensão.....	57
Figura 45 – Estrutura auxiliar para cremalheira do Taipei 101	64
Figura 46 - Plataformas externas	65
Figura 47 – Ciclo de 5 dias.....	67
Figura 48 - Mesa voadora.....	68
Figura 49 - Forma deslizante - Petronas Tower	69
Figura 50 - Ciclo just in time.....	70
Figura 51 - Montagem de elevador em 2 etapas.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Edifícios mais altos do Brasil	39
Tabela 2 – Produtividade média por pavimento	49
Tabela 3 – Tempo médio da cremalheira cenário 1.....	62
Tabela 4 – Tempo médio da cremalheira cenário 2.....	63
Tabela 5 - Tempo para abastecimento de areia para contrapiso.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	American Institute of Architects
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
SOM	Skidmore, Owings & Merrill
FCK	Feature Compression Know
MPa	Mega Pascal
ZMRC	Zona Máxima de Restrição de Circulação
VER	Vias Estruturais Restritas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CNI	Confederação Nacional da Indústria
TMD	Tuned Mass Damper
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
ABRAINC	Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Arranha-céus	1
1.1.1 Políticas públicas para o desenvolvimento urbano	2
1.1.2 Desafios das etapas de construção	4
1.2 Objetivo	6
1.3 Justificativa	6
1.4 Métodos de pesquisa	8
1.5 Estruturação do trabalho	9
2. EDIFÍCIOS ALTOS.....	10
2.1 A origem dos arranha-céus	10
2.2 Conceitos e fundamentos gerais	11
2.3 Edifícios mais altos do mundo.....	15
2.3.1 Burj Khalifa	15
2.3.1.1 Estratégias logísticas da produção do Burj Khalifa	19
2.3.2 Taipei 101	21
2.3.3 Petronas Twin Towers	28
2.4 Requisitos essenciais no planejamento da construção de edifícios altos.....	31
2.4.1 Gestão da construção	32
2.4.2 Logística do canteiro de obra.....	35
2.4.3 Aprendizados sobre os estudos de casos.....	37
3. ESTUDO DE CASO	38
3.1 Caracterização do empreendimento.....	38
3.1.1 Informações do Projeto	39
3.2 Desafios logísticos do empreendimento	42
3.3 Caminho crítico e principais impactos no prazo da construção.....	47

3.3.1	Fundação e estrutura	48
3.3.2	Fachada	50
3.3.3	Elevadores	55
3.4	Sistemas prediais.....	56
3.4.1	Instalações elétricas	56
3.4.2	Instalações hidráulicas	59
4.	OPORTUNIDADES DE MELHORIAS	61
4.1	Logística.....	62
4.2	Prazo	66
4.2.1	Estrutura.....	66
4.2.2	Fachada	69
4.2.3	Elevadores.....	71
5.	CONCLUSÃO	74
5.1	Sugestões de temas de pesquisa a serem estudadas	76
6.	REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO

1.1 Arranha-céus

A construção de edifícios altos tornou-se uma resposta essencial ao crescimento acelerado dos centros urbanos, especialmente nas grandes metrópoles, onde a escassez de espaço e o aumento da demanda por áreas comerciais e residenciais tornam-se desafios constantes. Estes edifícios oferecem uma solução prática para otimizar o uso do solo, permitindo que grandes áreas possam ser aproveitadas verticalmente, sem a necessidade de expandir horizontalmente as cidades. Além disso, os edifícios altos são símbolos de modernidade e progresso, atraindo investimentos e promovendo o desenvolvimento de infraestrutura urbana. A verticalização também possibilita a criação de ambientes mais dinâmicos, onde diversos serviços e empresas podem coexistir em um mesmo local, aumentando a conveniência e a acessibilidade para os habitantes.

O adensamento urbano por meio da construção de edifícios altos pode ter um impacto significativo na mobilidade urbana (FEUNTES, 2021). Alguns fatores-chave a serem considerados são: otimização do transporte público, acessibilidade, plano urbano integrado, segurança viária, dentre outros. O adensamento urbano, por meio de edifícios altos pode oferecer oportunidades para melhorar a mobilidade urbana, desde que seja acompanhado por um planejamento urbano integrado e pela implementação de políticas que priorizem o transporte público, a acessibilidade a pé e a segurança viária.

Porém, a construção de arranha-céus em áreas urbanas também apresenta desafios significativos. Embora a verticalização promova eficiência no uso do solo, ela pode intensificar problemas, como a gentrificação. Segundo Gregoletto (2019) a alteração da paisagem urbana, a sobrecarga na infraestrutura urbana, o aumento da densidade populacional, o adensamento do tráfego e a alteração do microclima local são os principais impactos gerador pelos edifícios altos no espaço urbano. Além disso, do ponto de vista ambiental os edifícios altos geram impactos como luminosidade, sombreamento e ventilação dos centros urbanos. Portanto, embora os edifícios altos tragam benefícios inegáveis para o desenvolvimento urbano, é fundamental que sua construção seja acompanhada de um planejamento cuidadoso e sustentável para mitigar os malefícios associados.

De acordo com o Conselho de Edifícios Altos Habitação e Urbanismo (CTBUH, 2023), a cidade de São Paulo possui apenas 17 edifícios acima dos 150 metros de altura devido à falta de incentivos do último planos diretores da cidade, entretanto o novo plano diretor estratégico do município, datado de 08 de julho de 2023, (Lei 17.975/2023), pode mudar esse cenário. Segundo o último levantamento da National Geographic, São Paulo é a quinta maior metrópole do mundo, entretanto nenhum dos edifícios da cidade estão entre os 100 edifícios mais altos do mundo. Porém, caso siga as tendências mundiais como Xangai, Tóquio e Nova Iorque, São Paulo pode entrar no mapa das metrópoles com os edifícios mais altos do mundo.

1.1.1 Políticas públicas para o desenvolvimento urbano

No cenário nacional, a construção de edifícios altos tem sido um marco de desenvolvimento urbano, refletindo uma tendência crescente em grandes centros como São Paulo, Rio de Janeiro e Balneário Camboriú. Esse último destaca-se nacionalmente pela sua impressionante verticalização. Com a construção de vários arranha-céus, a cidade ostenta alguns dos edifícios mais altos do Brasil, como o edifício "Meyer" e o "Infinity Coast". Esse fenômeno é impulsionado por políticas públicas específicas que incentivam a verticalização, como o Plano Diretor Municipal, que permite a construção de edifícios com mais de 100 andares, devido à sua localização em áreas de alta densidade e demanda (OLIVEIRA, 2022). Além disso, as políticas de zoneamento e de incentivo fiscal têm sido cruciais para atrair investimentos no setor imobiliário, permitindo a construção de torres residenciais e comerciais de grande altura. Entretanto o modelo da cidade se mostra insustentável com o sombreamento da praia e criação de uma orla utópica com a concentração de recursos e a criação de abismos sociais.

Nos últimos 20 anos, São Paulo, a maior cidade do Brasil, tem experimentado um crescimento urbano significativo, mas sem o mesmo nível de verticalização observado em Balneário Camboriú. Em São Paulo, as restrições impostas pelo Plano Diretor e a preocupação com a mobilidade urbana têm limitado a construção de edifícios extremamente altos (FERREIRA, 2023). O Plano Diretor de São Paulo estabelece zonas com diferentes coeficientes de aproveitamento, o que limita a altura dos edifícios em áreas residenciais e comerciais, em contraste com as políticas mais permissivas de Balneário Camboriú (OLIVEIRA, 2022).

Embora São Paulo tenha um número considerável de arranha-céus, a ausência de edifícios no ranking dos 100+ mais altos do mundo pode ser atribuída à combinação dessas regulamentações e à falta de incentivos comparáveis aos de Balneário Camboriú.

A verticalização promovida por arranha-céus pode ter significativos impactos sociais e econômicos. Em Balneário Camboriú, o desenvolvimento de arranha-céus não apenas transformou o skyline da cidade, mas também impulsionou a economia local, atraindo investimentos e gerando empregos na construção civil e setores correlatos (GARCIA, 2024). Em contraste, em São Paulo, a verticalização é mais controlada devido a preocupações com a mobilidade urbana e a infraestrutura (ALMEIDA, 2022). Embora a cidade tenha avançado na construção de edifícios altos, a necessidade de equilibrar desenvolvimento e qualidade de vida limita a construção de arranha-céus que poderiam impactar positivamente a economia, mas, ao mesmo tempo poderiam sobrecarregar a infraestrutura existente.

De acordo com a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (ABRINC) Singapura, China, Dubai, Londres, Toronto, Hong Kong e Nova York são exemplos de lugares que vêm se verticalizando mais intensamente nos últimos anos e adotando uma série de medidas para conter a expansão de seus territórios ao mesmo tempo, em que buscam atender à demanda por mais moradias e infraestrutura, nesse sentido, essas regiões têm visto crescer cada vez mais o número de arranha-céus. Para o professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da USP Nabil Bonduki (2021) “não resta dúvida de que é importante se garantir uma possibilidade mais densa, mais compacta, ou seja, uma cidade que se espraia menos em direção às zonas rurais”.

Para Villanova (2023), erguer arranha-céus é ainda uma maneira de responder à escassez de residências sem espraizar as cidades. Quando uma cidade espraia os seus limites, há um custo maior para levar toda a estrutura até esses novos bairros, com rede elétrica, sistema de coleta de esgoto, abastecimento de água, transporte coletivo. Além disso, a mobilidade urbana é afetada, pois aumentam os deslocamentos e o tempo que as pessoas gastam para irem de suas casas até o trabalho ou terem acesso a espaços de lazer, ou ao comércio e serviços.

Entretanto, Refinetti (2021) ressalta que a verticalização não é necessariamente adensamento, quando a legislação urbanística não estabelece densidade ocupacional das construções criassem brechas para a criação de vazios urbanos, com apartamentos muito grandes em localizações repletos de infraestrutura pública de transporte e serviços. É bastante

preocupante a questão, porque a cidade se verticaliza, por não haver efetivamente uma proposta de verticalização, de adensamento, com inclusão social (SILVIA, 2021).

Além disso existem malefícios para os usuários quando os edifícios altos são utilizados para habitação,

1.1.2 Desafios das etapas de construção

A concepção do canteiro de obras para grandes empreendimentos enfrenta desafios significativos relacionados ao gerenciamento do espaço e à coordenação de atividades. A necessidade de espaço para a armazenagem de materiais, equipamentos e para a movimentação de trabalhadores pode ser crítica, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas. Para Vieira (2006), a gestão eficaz do canteiro de obras deve considerar o impacto no fluxo de tráfego e na acessibilidade, além de garantir que o espaço seja otimizado para minimizar congestionamentos e interrupções nas vias adjacentes. A implementação de medidas de controle de poeira, ruído e segurança também são essenciais para minimizar os impactos negativos na vizinhança e garantir o cumprimento das normas ambientais e de segurança (SINDUSCON-SP, 2005).

Para Silva e Cardoso (1997) a logística na construção trata-se de um processo multidisciplinar aplicado nas obras que visa garantir a aquisição, o armazenamento, o processamento e a disponibilidade de recurso/materiais nas frentes de trabalho, bem como o dimensionamento das equipes de produção e a gestão dos fluxos físicos. Tal processo ocorre com base em atividades de planejamento, organização, direção e controle, tendo como principal suporte o fluxo de informação, antes e durante o processo produtivo.

O impacto no entorno das grandes obras é um fator importante na concepção do canteiro, especialmente em áreas urbanas. A realização de grandes empreendimentos pode afetar o trânsito local, gerar poluição e alterar a dinâmica da vizinhança. O planejamento adequado deve incluir estratégias para mitigar esses efeitos, como a coordenação com autoridades locais para otimizar o fluxo de tráfego e a implementação de medidas para reduzir a poluição sonora e atmosférica. Conforme o estudo de Franco (1992), é fundamental o investimento em um

canteiro eficiente para a execução das tarefas ligadas a produção para obter um nível elevado de racionalização e produtividades.

A construção de edifícios altos demanda um planejamento especial em comparação com edifícios convencionais devido às complexidades inerentes à sua escala e ao impacto vertical das atividades. Para Vieira (2006), um dos principais desafios é o dimensionamento do canteiro, que deve acomodar não apenas a estrutura e os materiais, mas também as operações de elevação e transporte de grandes volumes. A necessidade de equipamentos especializados, como guindastes de grande porte e sistemas de transporte vertical, exige um planejamento detalhado para garantir a segurança e a eficiência no canteiro de obras. Além disso, a construção de edifícios altos envolve a coordenação de múltiplas frentes de trabalho simultâneas, o que demanda um plano logístico complexo para garantir a entrega oportuna de materiais e a coordenação entre equipes.

O planejamento logístico e o plano de trabalho para edifícios altos são mais desafiadores devido às características únicas desses projetos. Segundo o estudo de Sabino (2016), a gestão eficaz das operações no canteiro de obras deve incluir a programação detalhada das atividades de construção e a sincronização das etapas críticas, como a montagem da estrutura e a instalação da fachada. O controle rigoroso das etapas de trabalho e a otimização dos processos são essenciais para minimizar o tempo de construção e evitar atrasos. A utilização de tecnologias avançadas, como o Building Information Modeling (BIM), é fundamental para gerenciar o planejamento e a execução das tarefas, permitindo uma visão integrada e facilitando a resolução de problemas de forma proativa. Tendo em vista todas as características típicas de uma construção de edifício alto, há de se buscar soluções específicas para superar os desafios de logística em diversos requisitos e etapas da obra.

Whitlock (2021) defende a adoção do BIM para o gerenciamento e planejamento logístico, em seu estudo houve consenso entre os entrevistados sobre a melhoria na segurança do local de trabalho, melhora da permeabilidade das informações logísticas e maior eficiência do planejamento do layout. Para Ali (2018), o equilíbrio da logística da construção de um edifício é o resultado da análise sobre o impacto do atraso das atividades devido aos materiais estocados em determinado local versus a necessidade da constante alteração dos locais de estoque de materiais devido à evolução da obra. Tendo em vista todas as características típicas de uma construção de edifício alto, há de se buscar soluções específicas para superar os desafios de logística em diversos requisitos e etapas da obra.

1.2 Objetivo

Este trabalho busca avaliar como diferentes estratégias logísticas influenciam a eficiência e a eficácia do processo de construção de edifícios altos, propondo recomendações baseadas no estudo de caso para aprimorar a execução do projeto.

1.3 Justificativa

As oportunidades de construção de edifícios altos em metrópoles tem sido uma resposta direta às demandas crescentes por espaço em áreas urbanas densamente povoadas. Essa busca por verticalização não apenas reflete a necessidade de maximizar o uso do solo, mas também está intimamente ligada à mobilidade urbana. Edifícios altos, ao concentrar uma grande quantidade de unidades residenciais ou espaços comerciais em uma área verticalmente compacta, contribuem para a redução das distâncias de deslocamento e a facilitação do acesso a serviços e oportunidades. Grandes metrópoles, como São Paulo, criam ambiente favorável ao desenvolvimento desse tipo de edificações. Além disso, a existência de uma lacuna de bibliografias brasileiras sobre edificações com mais de 150 metros de altura, cujos estudos aprofundados em arranha-céus, pode servir de referências para futuras construções.

Comparando-se com as construções convencionais, nas quais os edifícios têm menos andares, as implicações são significativas em diversos aspectos. Logisticamente, a gestão de materiais em edifícios altos é mais complexa, demandando estratégias eficientes para o abastecimento de materiais em alturas consideráveis. O transporte de materiais e equipamentos para grandes alturas também representa um desafio logístico adicional, requerendo planejamento cuidadoso e equipamentos especializados.

Em termos de operações, o prazo de obras pode ser afetado pela complexidade e altura do edifício. Construções altas geralmente exigem um cronograma mais longo devido à necessidade de trabalhos verticais e à complexidade das instalações, como elevadores, sistemas hidráulicos e elétrico e sistemas contra incêndio. O canteiro de obras em edifícios altos precisa ser otimizado para maximizar a eficiência e minimizar os impactos negativos no entorno urbano. Isso inclui a alocação adequada de espaço para armazenamento de materiais, áreas de

refeitório para os trabalhadores e instalações sanitárias, além de medidas para garantir a segurança e a acessibilidade no local de trabalho.

A eficiência no processo construtivo de edifícios altos depende crucialmente da integração e sincronização de atividades críticas, como a execução da estrutura e da fachada. Quando projetadas de forma interdependente, essas atividades podem reduzir o tempo total de construção e minimizar atrasos. De acordo com Garcia (2024), a coordenação entre a estrutura e a fachada permite que a instalação dos elementos de fachada inicie antes da conclusão completa da estrutura, acelerando o progresso da obra e melhorando a eficiência geral do projeto. Esse tipo de abordagem não só economiza tempo, mas também melhora a gestão de recursos e reduz custos associados ao prolongamento das etapas de construção.

Além da estrutura e fachada, a coordenação entre a fachada e os acabamentos internos é essencial para a eficiência na construção de edifícios altos. O planejamento integrado dessas atividades permite que os acabamentos internos comecem em áreas onde a fachada já está concluída, evitando o tempo ocioso e otimizando o fluxo de trabalho. Ferreira (2023) ressalta que a implementação simultânea de fachada e acabamentos internos pode diminuir significativamente o prazo de entrega do edifício, uma vez que essas atividades são repetitivas e frequentemente realizadas em várias frentes ao longo do projeto.

A industrialização da construção, ao introduzir técnicas avançadas e tecnologias de construção modular, também desempenha um papel fundamental na aceleração do processo construtivo. Para Franco (1992), a adoção de métodos industrializados permite que as atividades sejam realizadas em paralelo e de maneira mais eficiente, apoiada por processos padronizados e repetitivos. Isso é particularmente vantajoso em projetos de grandes dimensões, onde a repetição de atividades e a necessidade de precisão são elevadas. A industrialização não só melhora a produtividade, mas também a qualidade e a segurança da construção.

Por fim, as limitações dos recursos disponíveis na cadeia de suprimentos brasileira podem representar um obstáculo para a construção de edifícios altos. A disponibilidade de materiais específicos para construção em altura, como aço estrutural de alta resistência, pode ser limitada no mercado brasileiro. Além disso, a capacidade logística para o transporte de materiais de grandes dimensões e o acesso à mão de obra qualificada são fatores que precisam ser considerados ao planejar e executar projetos de construção de edifícios altos no Brasil.

1.4 Métodos de pesquisa

Para a avaliação dos desafios da construção em diferentes tipos de edifícios altos, será feita uma revisão bibliográfica do tema, incluindo as características construtivas e soluções logísticas aplicadas em três edifícios listados entre os maiores edifícios do mundo na atualidade. Em complemento à revisão bibliográfica, um estudo de caso irá analisar a construção de um edifício alto localizado na cidade de São Paulo, abrangendo uma entrevista com parte da equipe responsável pela obra a fim de reunir informações referentes ao projeto e as dificuldades enfrentadas para sua construção. Os cargos dos colaboradores entrevistados são:

- Gestor da obra – para observar os desafios de planejamento e gestão;
- Engenheiro de campo – para analisar o fluxo de abastecimento dos materiais e gestão dos serviços;
- Encarregado de obra – para identificar as dificuldades da execução dos serviços.

Para essas entrevistas foram elencados os principais tópicos para o desenvolvimento do trabalho de forma a causar uma reflexão aos entrevistados dos desafios vividos e superados, buscando uma análise qualitativa das decisões e dos resultados alcançados.

1.5 Estruturação do trabalho

Inicialmente, o capítulo 1 traz uma contextualização do tema, cenários e desafios, além do objetivo e metodologia estabelecida para obtenção dos dados da pesquisa.

Os conceitos fundamentais envolvidos com o tema da gestão da construção de edifícios altos são apresentados no capítulo 2, através de uma revisão bibliográfica sobre o tema, procurando-se esclarecer e balizar os conceitos e parâmetros que caracterizam e classificam os edifícios altos. Este capítulo também elenca e descreve os três últimos detentores do título de mais alto edifício do mundo até o momento da realização dessa pesquisa, introduzindo conceitos e métodos construtivos característicos desse tipo de construção, bem como os desafios logísticos enfrentados em particularidades que estão diretamente ligadas a importantes fases da construção, gestão de obra e logística de abastecimento desses canteiros.

No terceiro capítulo, é apresentado o estudo de caso do edifício Platina 220, atual edifício mais alto de São Paulo, concluído em 2023, citado como referência na construção de edifícios altos. Nesse capítulo apresentam-se as características do empreendimento, as soluções logísticas adotadas para a distribuição de material e transporte dos colaboradores, e alguns aspectos determinantes no planejamento e execução da construção.

No quarto capítulo, reservado às oportunidades de melhorias, apresentam-se os aprendizados gerados pela construção e quais as melhorias que podem ser implantadas em novas construções de edifícios desse porte, bem como, a necessidade da continuidade dos trabalhos e pesquisas voltadas para a construção de edifícios altos. Por fim, o capítulo cinco traz a conclusão do trabalho, observando as experiências acumuladas do autor a partir dessa pesquisa.

2. EDIFÍCIOS ALTOS

2.1 A origem dos arranha-céus

A história dos arranha-céus iniciou-se no final do século XIX e início do século XX. Antes dessa época, os edifícios geralmente tinham altura limitada devido às restrições tecnológicas e à falta de necessidade de estruturas tão altas. O primeiro edifício que ganhou essa denominação foi o Home Insurance Building, construído em Chicago em 1885, com 10 andares, foi o primeiro a usar o aço como estrutura principal, permitindo uma maior altura e abrindo caminho para futuros arranha-céus (RIZZI, 2016).

Um marco importante na história dos arranha-céus foi a conclusão do Edifício Chrysler em Nova York, em 1930. Projetado por William Van Alen, o edifício de 77 andares foi o primeiro a superar a altura da Torre Eiffel, tornando-se o edifício mais alto do mundo na época. Após o Edifício Chrysler, a corrida pela construção dos arranha-céus mais altos intensificou-se, com as cidades competindo para ter o título do edifício mais alto. O Empire State Building, concluído em 1931 em Nova York, tornou-se o novo recordista, com 102 andares. Nas décadas seguintes, os arranha-céus continuaram a crescer em altura e se tornaram ícones das paisagens urbanas em todo o mundo. Além disso, novas técnicas de projeto e construção, como a utilização de fachadas de vidro, sistemas de climatização ecológicos e sustentáveis, por exemplo, bem como avanços na engenharia estrutural, permitiram a construção de arranha-céus cada vez mais altos, eficientes e seguros (LELLO, 2008).

A disseminação dos arranha-céus não foi um fenômeno exclusivamente americano. Durante o século XX, várias cidades ao redor do mundo começaram a adotar a construção de edifícios altos como símbolo de modernidade e prosperidade. Na Ásia, metrópoles como Tóquio, Hong Kong e Xangai se destacaram por incorporarem técnicas avançadas de construção e materiais inovadores para criar estruturas imponentes que se integrassem aos desafios urbanos locais, como alta densidade populacional e espaço limitado. O surgimento desses centros urbanos globais consolidou o arranha-céu como um elemento essencial no planejamento urbano de grandes cidades, influenciando a arquitetura contemporânea e os padrões de desenvolvimento vertical.

2.2 Conceitos e fundamentos gerais

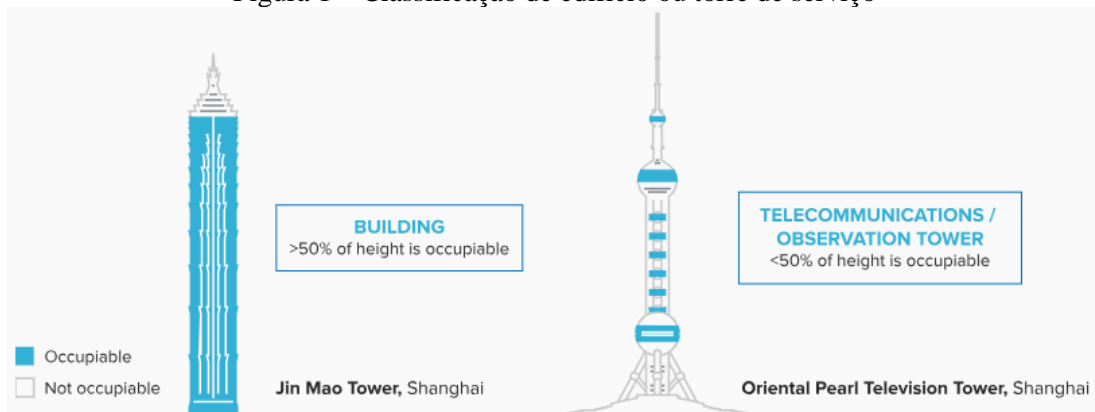
Quando se trata de edifícios altos, é importante estabelecer quais parâmetros definem uma edificação como alta, pois não há uma definição absoluta. Para isso, a CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat), organização sem fins lucrativos para o desenvolvimento do futuro das cidades, atribui algumas categorias para reconhecer e classificar um edifício como alto, entre elas a altura em relação ao entorno, proporção das dimensões do edifício, tecnologias adotadas e ocupação do edifício. Para Gerometta (2023), edifícios podem parecer altos dependendo das construções ao seu redor, prédios considerados altos em cidades europeias como Madri, são na realidade baixos quando comparados ao skyline de Hong Kong.

Outra característica para enquadrar a edificação é sua proporção, muitos edifícios não muito altos são estreitos, dando a sensação de serem altos. Enquanto edifícios de mesma altura, porém largos, dão a impressão de serem baixos. Já algumas tecnologias empregadas na construção ajudam na caracterização do edifício como alto, como a adoção de equipamentos tecnológicos específicos para o rápido deslocamento vertical de pessoas e contraventamentos estruturais criados para combater a ação do vento como resultado da altura. O indicador da quantidade de andares do edifício não é muito utilizado na classificação dos edifícios, pois diferentes pés direitos e peculiaridades regionais que excluem algumas numerações de pavimentos (exemplo 1, 13, 24, etc.) mudam a percepção da altura.

O primeiro projeto a reivindicar o título de mais alto do mundo foi o Home Insurance Building, construído na cidade de Chicago, Illinois, em 1885. Entretanto, com a competição mundial pela busca do título, foi necessário a criação de parâmetros e categorias para a classificação das edificações. As regras da CTBUH para classificação tiveram que se adequar para que a classificação fosse justa, e para além de estabelecer os métodos de medição da altura dos edifícios, além da definição de quais requisitos um projeto precisa ter para ser considerado um edifício. Essa necessidade veio após a torre Ostankino de 540 m em Moscou (1967) e a Torre CN de 553 m em Toronto (1976), que eram torres de comunicação com plataformas de observação, reivindicarem o título de edifício mais alto do mundo após o coroamento do World Trade Center de Nova York (1972).

Para o projeto ser considerado um edifício na classificação da CTBUH e poder entrar na lista das edificações mais altas, a construção deve ter, no mínimo, 50% da área interna da torre ou torres destinada à ocupação permanente, seja por unidades habitacionais, lojas, armazéns ou escritórios, conforme ilustrado na Figura 1. Dessa forma, torres de observação, telecomunicações, faróis ou torres de transmissão não entram na lista das edificações mais altas do mundo (CTBUH, 2020).

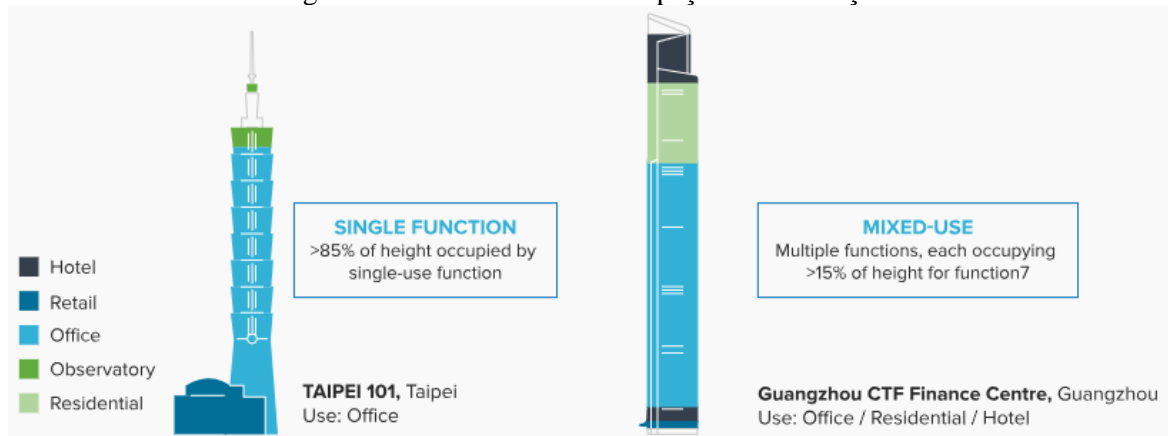
Figura 1 – Classificação de edifício ou torre de serviço



Fonte: CTBUH (2020)

Para edifícios que atendem a área de ocupação mínima existem duas categorias de uso, os edifícios de função única e os edifícios de função mista. Edifícios de função única são aqueles que destinam mais de 85% para um único tipo de ocupação, como residencial, hotelaria, comercial, etc. Já os edifícios com uso misto são aqueles que dedicam proporções significativas para diferentes usos, como o Burj Khalifa que possui 55% dos andares destinados a apartamentos residenciais, 30% para salas comerciais, 10% para hotelaria e 5% para observatórios. Nessa classificação as áreas técnicas e de apoio ao uso da edificação como estacionamentos, salas técnicas e áreas de manutenção não constituem funções de uso misto, vide Figura 2 (CTBUH, 2020).

Figura 2– Características da ocupação de edificações

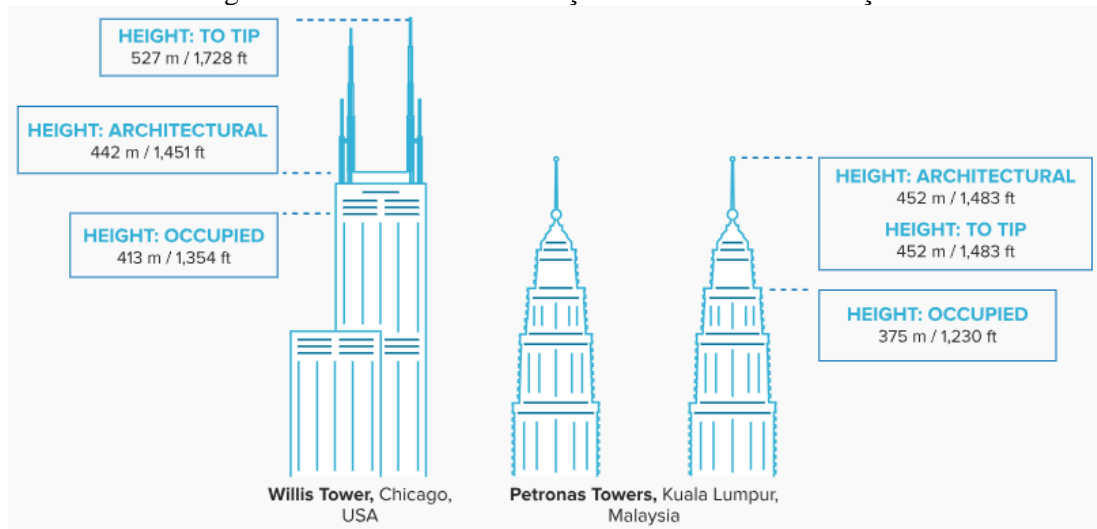


Fonte: CTBUH (2020)

Com o edifício já classificado e enquadrado pela sua ocupação, é necessário estabelecer os critérios de medição da altura. Para a CTBUH existem três categorias para a altura, sendo elas: altura até o topo arquitetônico, que considera a altura da edificação da cota da calçada até o elemento arquitetônico mais alto do prédio, incluindo pináculos, mas desconsiderando antenas, sinalizadores ou mastros. Essa categoria é a mais amplamente empregada e é utilizada para a classificação da lista dos 100 edifícios mais altos do mundo anual da CTBUH.

Outros métodos de classificação das edificações são pela altura até o último andar habitável (Figura 3), que considera a cota da calçada até o último andar destinado à ocupação moradores, colaboradores ou usuários de forma segura e permanente, sendo acessível e funcional; não se inclui nessa classificação andares ou mezaninos destinados a áreas de serviço ou manutenção que tenham acesso ocasional. E a terceira forma de medir as edificações é pela altura até o topo, independente do material ou função do ponto mais alto, ou seja, leva em consideração antenas, sinalizadores, mastros e outros elementos não arquitetônicos.

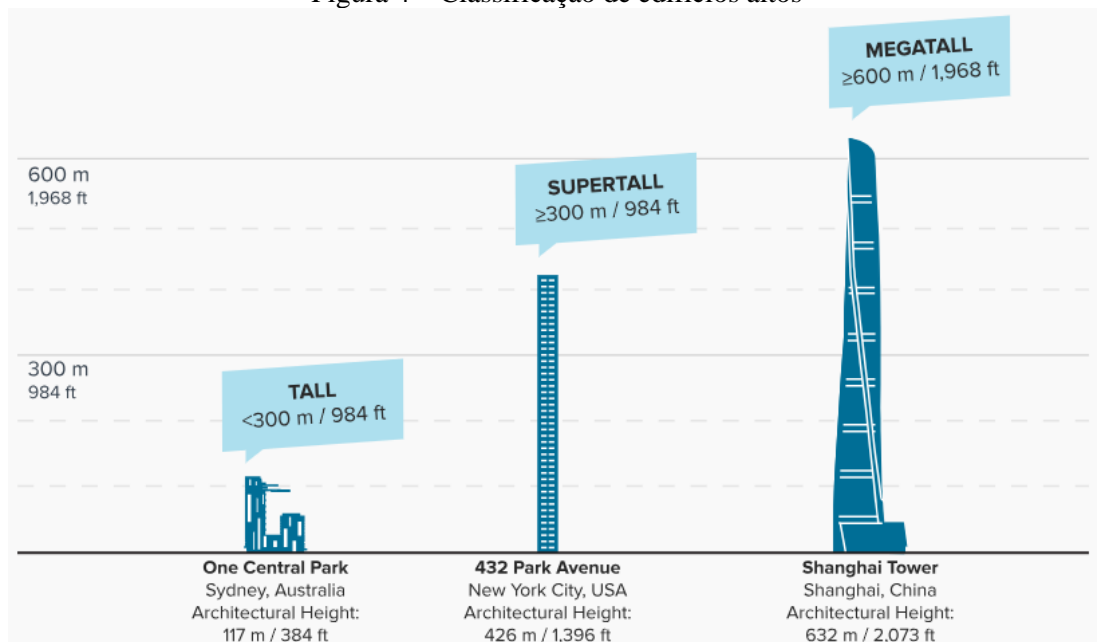
Figura 3 – Diferentes classificações de altura das edificações



Fonte: CTBUH (2020)

Após a edificação atender os requisitos citados anteriormente e ser reconhecido como um edifício alto, ele pode ser enquadrado nas três subdivisões estabelecidas pela CTBUH, conforme Figura 4: os edifícios altos, com até 300 metros de altura; os edifícios super altos, com 301 a 599 metros de altura; e os edifícios mega altos, com mais de 600 metros de altura (CTBUH, 2020).

Figura 4 – Classificação de edifícios altos



Fonte: CTBUH (2020)

2.3 Edifícios mais altos do mundo

As construções de grandes edifícios tendem a ser disruptivas para a sua época, quebrando paradigmas e superando desafios da engenharia. Dentre elas, destacam-se os edifícios Burj Khalifa, Taipei 101 e Petronas Twin Tower, que tiveram em suas respectivas datas de construção os títulos de edifícios mais altos do mundo construídos. Para entender um pouco mais sobre a diversidade e complexidade dessas obras, a seguir será apresentado um detalhamento e aprofundamento das características de cada desses edifícios.

2.3.1 Burj Khalifa

O edifício Burj Khalifa, originalmente Burj Dubai, é atualmente o prédio mais alto do mundo com 828 metros de altura com 162 andares. Segundo o escritório SOM responsável pela criação do projeto, o design da torre foi inspirado na geométrica de uma flor típica da região do deserto de Rub al-Khali chamada Hymenocallis e possui influência da arquitetura islâmica. Encomendado pela Propriedades Emaar e homenageando o Khalifa Bin Zayed bin Sultan Al Nahyan, presidente dos Emirados Árabes Unidos (2004 a 2022), Burj Khalifa é um marco na engenharia mundial como a construção mais alta feita pelo homem e uma prova para o mundo da relevância de Dubai e símbolo da riqueza do petróleo (SMITH, 2023).

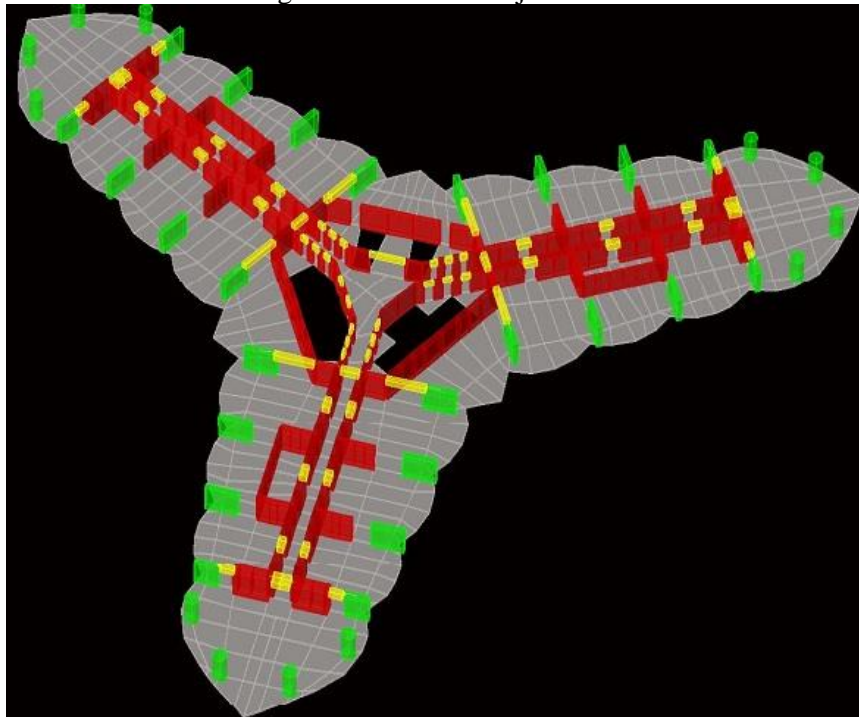
Iniciada em 2004, a fundação do Burj Khalifa é constituída por 192 estacas escavadas com 1,5 m de diâmetro com 43 metros de profundidade. Devido ao solo arenoso da região e as proporções do projeto, o dimensionamento do número de estacas foi definido pelo atrito lateral das estacas usando a terceira lei de Newton, suportando a torre de mais de 500 mil toneladas sobre a areia do deserto de Dubai. Sobre as estacas foi executado um bloco de 3.300 m² por 3,7 metros de altura, totalizando 12.500 m³ de concreto executados em 4 partes. No momento da execução da fundação a altura do edifício ainda não estava definida (LYNE, 2012).

A estrutura da edificação é o segredo dessa façanha da engenharia para atingir essa altura inédita. O modelo inicialmente desenvolvido para o edifício chamasse núcleo reforçado, um hexágono de concreto no centro do prédio, onde estão localizados os elevadores e escadarias de emergência, reduzindo o torque causado pelas forças horizontais do vento. Entretanto, para

Bill Baker, engenheiro estrutural chefe responsável pelo projeto, essa solução já era utilizada em edifícios super altos e se tornaria frágil para construções mega altas. Por essa razão, a equipe de projetos estruturais de Baker desenvolveu uma solução inédita, construir a torre em formato de Y, de forma que cada parte funcione como uma asa ao hexágono central, reforçando a estrutura pelos três lados (BAKER, 2012).

Cada uma das alas do Y dá suporte umas às outras por meio do núcleo. As paredes-pilar dos corredores se estendem desde o núcleo central até as extremidades de cada ala, onde terminam em paredes-pilar espessas. Essas paredes-pilar dos corredores e paredes-pilar das extremidades funcionam de maneira semelhante às almas e flanges de uma viga metálica, resistindo aos esforços de cisalhamento e o momento provocado pelo vento. Pilares ao redor do perímetro e a laje monolítica completam o sistema, com isso toda a estrutura é usada para suportar, tanto as cargas gravitacionais, quanto as laterais. O resultado é uma torre altamente eficiente, uma vez que o sistema de resistência à carga vertical foi projetado para otimizar sua contribuição para a resistência às cargas laterais. Para atender o peso e os esforços da estrutura foram empregados concretos com FCK de 60 e 80MPa (JAMAL, 2017).

Figura 5 – Núcleo Burj Khalifa

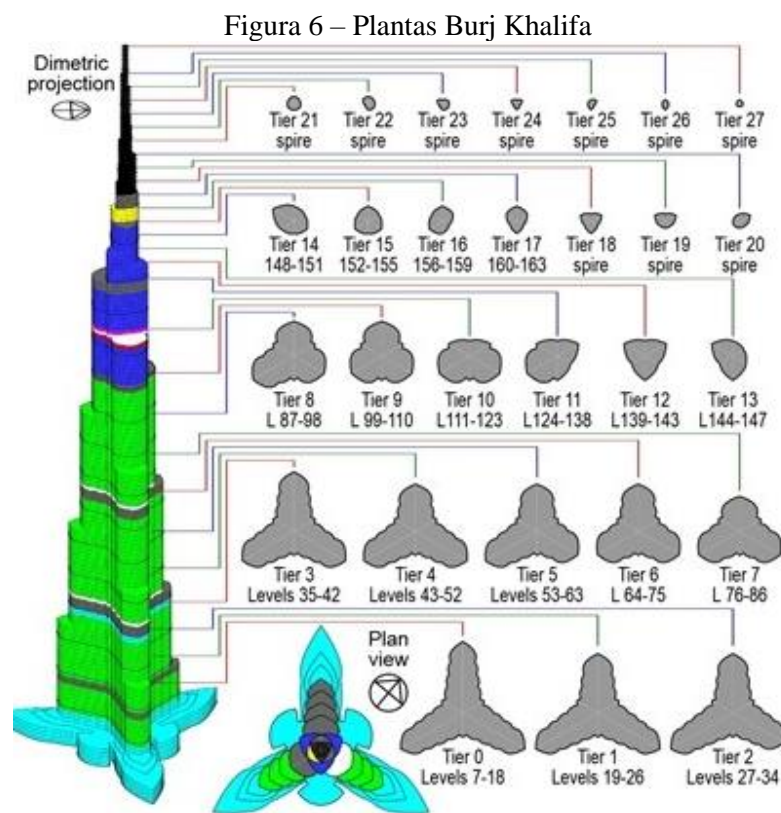


Fonte: Jamal (2017)

Para chegar ao resultado final do formato do Burj Khalifa foram realizados ensaios em túneis de vento para que o prédio resistisse a rajadas de até 240km/h. O engenheiro de vento

responsável pelos ensaios, Peter Irwin, explica que conforme os edifícios vão ficando mais altos eles esbarram em um efeito eólico chamado desprendimentos de vórtices, que causam movimentos horizontais no edifício. Como resultado dos ensaios foram propostas três melhorias no formato do Burj Khalifa que garantiram sua estabilidade e impedindo a formação dos vórtices, sendo elas o arredondamento dos terraços descobertos; a redução da largura dos últimos andares da torre, onde a ação do vento era maior; e, a mais importante, a reorientação da torre com relação à direção predominante do vento (IRWIN, 2012).

Dessa forma o edifício cresce em espiral, as alas recuam de acordo com que o prédio sobe reduzindo o efeito do vento. Os recuos são projetados de modo que cada nível do edifício esteja alinhado com as paredes-pilar abaixo, proporcionando uma transição suave dos esforços, dispensando a necessidade de lajes de transição. Nesse formato a fachada "desorienta o vento", os vórtices não se organizam ao longo da altura do edifício, pois a cada nível, o vento encontra uma forma diferente do edifício. Esse modelo estrutural se mostrou tão eficiente que os projetistas perceberem que poderiam aumentar significativamente a altura do edifício, ao todo o projeto ficou 310 metros mais alto que o traçado inicial (SMITH, 2021).



Fonte: Autodoc (2019)

As obras que se iniciaram em janeiro de 2004 finalizaram em janeiro de 2010 com um total de 22 milhões de homens/horas empregados na construção. No total a edificação consumiu

330.000 m³ de concreto e 39.000 toneladas de aço em seus 162 andares, resultando uma área total de 309.473 m², tornando-se assim não apenas o edifício mais alto do mundo como também quebrando recorde de maior estrutura não estaiada do mundo. Para executar uma estrutura tão alta, a obra contou com três das bombas mais potentes do mundo fornecidas pela empresa alemã Putzmeister, capazes de empregar uma pressão de 200 bar. Segundo James (2009), foram instaladas bombas backups no andar 124 caso as bombas principais não dessem conta. Devido às altas temperaturas de Dubai, o concreto era produzido com água gelada e gelo em sua mistura e as concretagens só aconteciam a noite, conforme Figura 7 para evitar o entupimento das tubulações das bombas. A construção também detém o recorde de bombeamento de concreto mais alto com 605 metros, percurso que levava 25 minutos da bomba até o ponto final do concreto.

Figura 7 – Concretagem noturna



Fonte: ITP Media Group (2018)

2.3.1.1 Estratégias logísticas da produção do Burj Khalifa

Segundo relatório do World Economic Forum (2017) a colaboração entre fornecedores e instituições governamentais foram a chave do sucesso para esse projeto. Durante o desenvolvimento do projeto de estruturas, os fornecedores de forma e escoramento Doka e Peri foram consultados, e seus feedbacks levaram a mudanças tanto no design arquitetônico quanto no processo de construção. Dentre elas, destaca-se a utilização de paredes de concreto moldado in loco para as paredes do eixo de elevadores a fim de acelerar o processo. Para a instalação das formas autotrepantes da Doka (Figura 8), usadas no núcleo reforçado e para o transporte de materiais foram instaladas três guias com capacidade de até vinte e cinco toneladas da empresa Favco, Porém devido à altura do edifício, a alimentação elétrica causaria muita queda de tensão para os equipamentos, como solução para esse problema foram adotadas guias a diesel, solução inovadora para a construção de edifícios (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

Figura 8 – Formas Doka



Fonte: Doka (2024)

Outra inovação na construção do processo construtivo foi o uso do sistema de forma autonivelante controladas por GPS com precisão militar, para garantir a verticalidade do núcleo

do edifício, solução que se tornou padrão para edifícios altos após o Burj. Os sistemas adotados permitiram que a construção avançasse um andar a cada três dias, favorecendo muito o cronograma da obra (JAMES, 2009).

Além dos desafios empregados na execução da estrutura do edifício, soluções off-site foram desenvolvidas para garantir agilidade nos caminhos críticos do cronograma. A equipe do projeto também dedicou atenção especial à logística, utilizando métodos de pré-fabricação e construção enxuta, como, por exemplo, os painéis de fachada que foram fabricados fora do canteiro e estocados nos pavimentos. Com a combinação de uma logística eficiente e planejamento, os montadores conseguiram aumentar a taxa de instalação de 20-30 painéis por dia para impressionantes 175 painéis por dia, vide Figura 9 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

Figura 9 – Instalação de painéis de vidro



Fonte: World Economic Forum (2017)

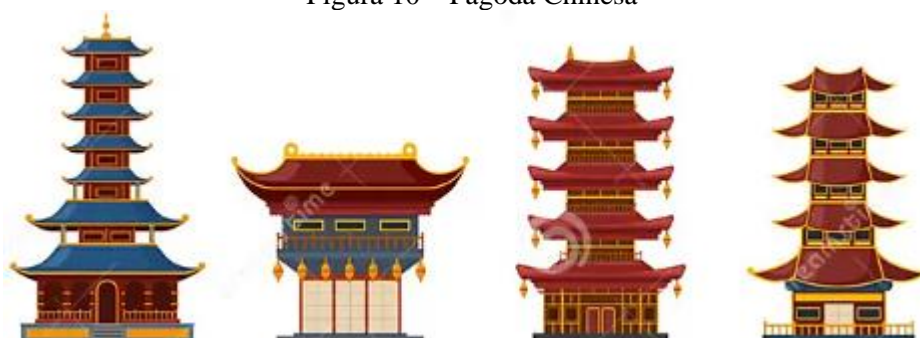
Sob aspecto da mão de obra, como desafios específicos para esse tipo de construção, foram adotadas soluções para garantir que todos os funcionários chegassem a seus postos de

trabalho o mais rápido o possível para aumentar a produtividade diária. No pico da construção, o canteiro de obra comportou 12.000 funcionários por dia. Para James (2009), a mobilização matinal das equipes acontecia de forma escalonada, com parte dos operários iniciando às cinco da manhã, outros às seis, outros às sete e assim por diante, com alguns postos de trabalho que exigiam até 45 minutos de deslocamento dos operários. Segundo relatório do World Economic Forum (2017), como solução para reduzir o tempo de deslocamento dos funcionários foram implantados refeitórios secundários pela torre para que não houvesse a necessidade de todos os operários descessem na hora do almoço e do jantar.

2.3.2 Taipei 101

O edifício Taipei 101 foi o prédio mais alto do mundo entre 2004 a 2010, com 508 metros de altura. Encomendada por Harris Lin, desenvolvido pelo escritório de arquitetura CY Lee & Partners, viabilizado pelo escritório de projetos estruturais Evergreen Consultoria Engenharia e construído pela Samsung C&T Corporação. Para Lin (2008), esse projeto é uma declaração de Taiwan ao mundo sobre sua capacidade tecnológica, industrial e da determinação para liderar o desenvolvimento tecnológico global. Com o objetivo de fundar a “Manhattan de Taiwan”, o Taipei 101 tem sua forma inspirada no bambu, uma metáfora para flexibilidade e resistência que o projeto demandou, com seus andares no formato pagoda tradicional chinês (Figura 10), e com ícones referenciando a cultura chinesa (WANG, 2008).

Figura 10 – Pagoda Chinesa



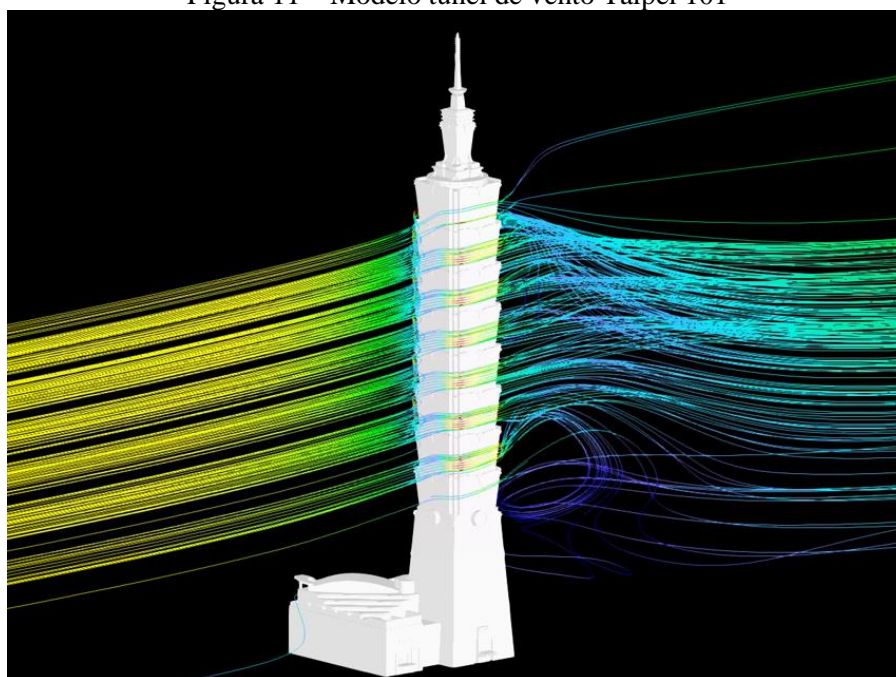
Fonte: Dreamstime (2024)

O Taipei 101 tornou-se um marco da engenharia, não só por se tornar o prédio mais alto do mundo na época, mas por ser o único super alto localizado em uma área sismicamente ativa

e em uma região propensa a tufões, segundo Morley (2008). Taiwan está próxima do encontro de duas placas tectônicas e a cidade de Taipei possui 3 falhas geológicas, de acordo com Dunstan Chen, engenheiro responsável pelo estudo geológico do projeto, uma delas a menos de 200 metros do Taipei 101 com aproximadamente 10 metros de largura.

Dessa forma, a edificação precisa resistir a duas grandes forças da natureza em suas duas extremidades, a força dos tufões em seu topo e aos tremores dos terremotos em sua base. Para isso, foram realizados testes com protótipos em túnel de vento (Figura 11) e plataforma multidimensional de balanço para estabelecer os limites do projeto, criando uma estrutura flexível o suficiente para resistir a terremotos de até sete graus na escala Richter, mas estável o suficiente para suportar ventos de 200km/h, até então desafios nunca combinados para a construção de um edifício tão alto (MORLEY, 2006).

Figura 11 – Modelo túnel de vento Taipei 101



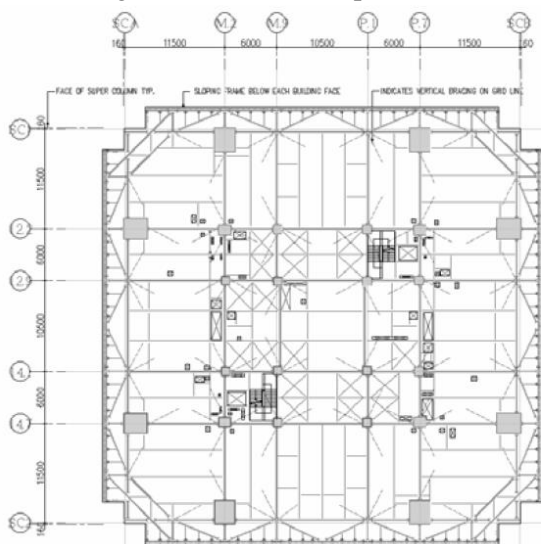
Fonte: World Economic Forum (2017)

Para solucionar os desafios impostos pelas condições naturais dessa região, foram necessárias várias soluções de engenharia que garantissem a estabilidade da estrutura tanto aos movimentos tectônicos onde a estrutura é balanceada pela base, onde o restante do edifício tem que ser flexível o suficiente acompanhar essa oscilação sem romper. Enquanto a torre tem que resistir aos esforços horizontais causados pelo vento, porém sem oscilar demais para não tombar. Somado a isso, a localização do terreno possui um solo siltoso argiloso. Por essa razão a fundação do edifício é composta por um bloco de 23.000 m³ de concreto sobre 382 estacas de

1,5 metros de diâmetro, com 80 metros de profundidade, sendo 30 metros cravados em rocha, garantindo a fixação da estrutura abaixo da camada argilosa (CHEN, 2006).

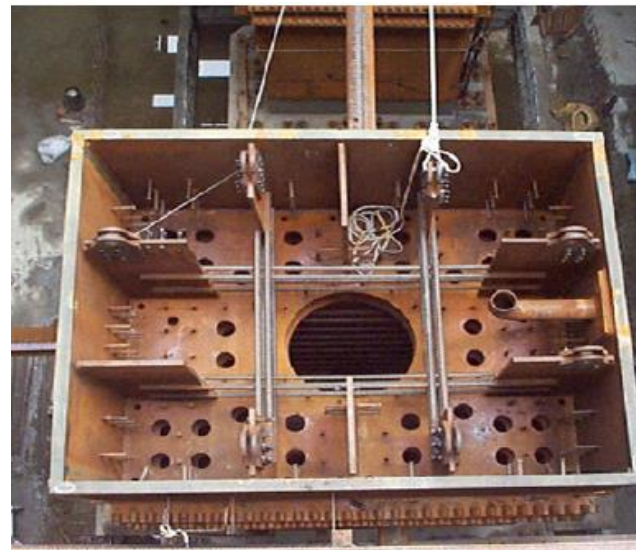
Para solucionar o problema dos terremotos, foi desenvolvido um sistema de estrutura mista de estrutura metálica e concreto para garantir flexibilidade e resistência ao edifício. Como parte da solução, o projeto possui 8 mega pilares metálicos preenchidos com concreto FCK 60 MPa na periferia do edifício, enquanto o núcleo possui 16 pilares metálicos que são preenchidos de concreto até o 62º andar (Figura 12 e Figura 13), um conjunto de vigas principais cruzam o pavimento de ponta a ponta, contraventando e unitizando os mega pilares com o núcleo (SHEIH, 2006).

Figura 12 – Planta Taipei 101



Fonte: Civil Engineering Forum (2017)

Figura 13 – Mega pilar



Fonte: Civil Engineering Forum (2017)

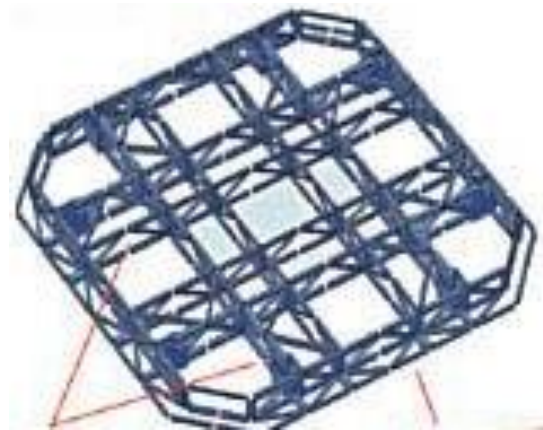
Outra solução para alcançar a altura do edifício foi a divisão da torre em oito módulos, de oito andares independentes, com um sofisticado sistema de treliças entre os módulos (Figura 14 e Figura 15), localizados em andares técnicos para aumentar a estabilidade da estrutura. Além da função estrutural, esses andares intermediários abrigam os sistemas de armazenamento e distribuição de água, coleta de lixo e climatização e ventilação dos andares. Dessa forma os módulos se tornaram independentes entre si, permitindo que cada uma se acomode conforme os esforços solicitados (CIVIL ENGINEERING FORUM, 2017).

Figura 14 - Sistema de treliças



Fonte: Taipei 101 Limited (2019)

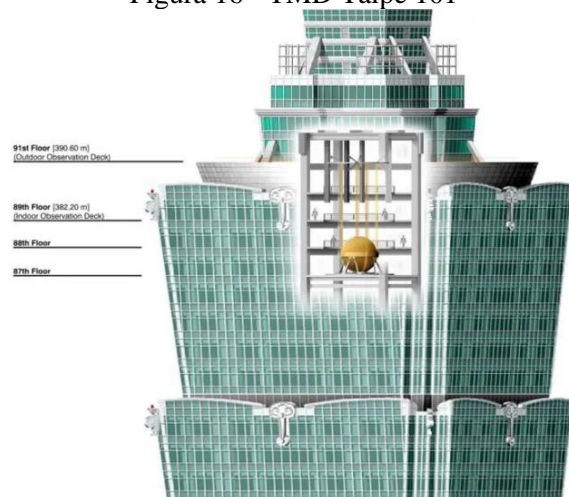
Figura 15 - Sistema de treliças



Fonte: Civil Engineering Forum (2017)

Entretanto, todas essas soluções implementadas ao projeto que possibilitam que o edifício suporte tremores tornam o edifício flexível de mais, tornando o edifício vulnerável ao efeito do vento. Além dos tufões que afetam qualquer edificação ao seu caminho, um projeto dessa altura está sujeito a esforços horizontais causados pelo vento que edificações comuns não sofrem, o desprendimento de vórtices. Para reduzir o efeito horizontal, e o efeito dos vórtices que esse tipo de edificação está sujeito, a equipe de engenheiros ajustou os cantos da fachada com reentradas para o vento, reduzindo entre 30 e 40% a oscilação do edifício. Porém, as soluções no design da fachada não são o suficiente para garantir que o Taipei 101 resista aos tufões da região. Para solucionar esse problema, foi adotada uma solução não inovadora, mas única nessa proporção, conforme representado na Figura 16 abaixo, com a instalação de um estabilizador de massa sincronizada (TMD) pesando 660 toneladas localizada no 87º andar (WANG, 2006).

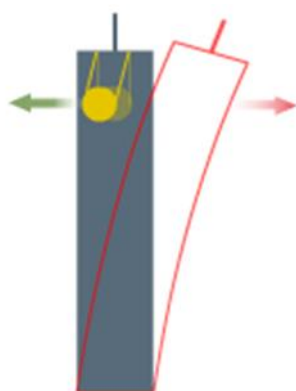
Figura 16 - TMD Taipei 101



Fonte: Neira (2021)

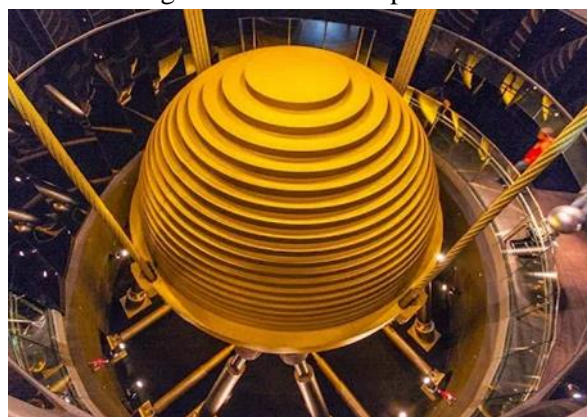
Uma esfera pesando o equivalente a 1% do peso total da edificação suspensa por 16 cabos de aço de 10 cm de diâmetro cada, agindo como um contrapeso inercial que atua na direção contrária ao esforço horizontal do vento, garantido a estabilidade da edificação (Figura 17 e Figura 18). Essa esfera pode se deslocar até 150 cm horizontalmente. Entretanto, em caso de terremoto, oito braços hidráulicos travam a esfera no centro do edifício, permitindo que a estrutura oscile livremente para suportar o tremor (ANDRES, 2016).

Figura 17 – Sistema de Inércia Taipei 101



Fonte: Neira (2021)

Figura 18 – TMD Taipei 101



Fonte: Neira (2021)

Como em todo edifício alto, o ciclo da estrutura é o caminho crítico com maior impacto para o cronograma da construção. Para a execução do Taipei 101 foi usado o sistema “jump formwork” ou sistema de forma deslizante, permitindo que fosse alcançado um ciclo de quatro dias trabalhados para a execução de um pavimento. O sistema de forma deslizante, também chamado de jumpform (Figura 19), é um tipo de forma de madeira que se eleva automaticamente durante a construção de grandes edifícios verticais de concreto e estruturas similares. O sistema de formas se sustenta utilizando macacos hidráulicos apoiados na estrutura concretada anteriormente, e não requerem suporte adicional do edifício ou outros sistemas de sustentação. Esse sistema foi utilizado para a execução do núcleo do edifício, enquanto que para as lajes foram utilizadas o sistema de mesa voadora, garantindo agilidade no ciclo da estrutura.

Figura 19 – Sistema jump formwork



Fonte: Garg (2010)

Para Chiang (2004) o transporte vertical de materiais foi um dos maiores desafios da obra. Foram adotadas a técnica de gestão como Just in time, com a coordenação detalhada e o planejamento minucioso para garantir que os materiais chegassem ao local certo e no tempo certo, evitando atrasos e interrupções na construção. Isso incluía a programação precisa dos envios e a alocação eficiente de espaço no canteiro de obras para armazenar e manusear materiais. A técnica Just-in-Time foi implementada para minimizar o armazenamento de materiais no local e reduzir o risco de atrasos, porém para que essa estratégia funcionasse e que o material estivesse no local quando necessários foram instalados 6 elevadores cremalheira que garantiam o abastecimento de todos os andares e o deslocamento no tempo necessários de todos os operários.

Porém, devido à fachada não contínua do Taipei 101 a equipe de obra precisou encontrar uma solução que permitisse que os equipamentos de transportes temporários ficassem o tempo que fosse necessário sem atrapalhar a execução dos serviços do edifício. A solução encontrada ficou conhecida como “torre de elevadores” ou “torre de montagem” (Figura 20), estruturas metálicas que se estendiam ao lado do edifício, permitindo a instalação das cremalheiras, que subiam com a construção do prédio. Segundo Chiang (2004), essa torre de elevadores foi uma solução necessária para enfrentar os desafios logísticos associados à construção do Taipei 101,

garantindo que o projeto fosse concluído dentro dos prazos estabelecidos e com a eficiência desejada. A solução, apesar de onerosa, foi essencial para manter a eficiência durante a construção de um edifício dessa altura, servindo de apoio para a instalação dos elevadores cremalheira e um pulmão para o abastecimento.

Figura 20 – Torre de montagem



Fonte: Turner (2009)

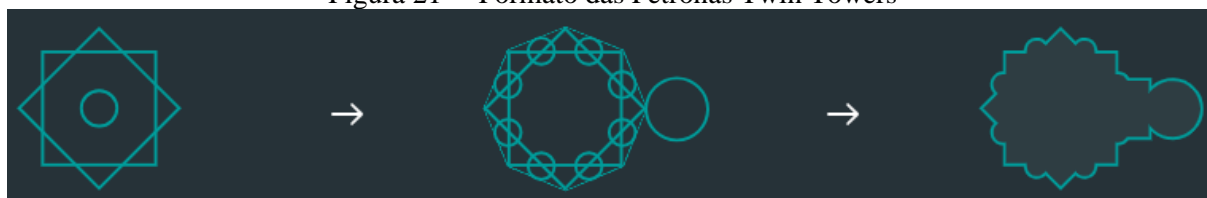
O projeto foi aprovado pelo governo local em 1989 e as construções iniciaram em 1998, após 15 meses de escavação, 700.000 toneladas de solo são retiradas e a estrutura da torre começa a ser construída em setembro de 1999. A construção envolveu 2.000 trabalhadores, foi executada com 6 guas ascensionais e consumiu aproximadamente 700.000 mil toneladas de concreto e aço. Em 2002, um terremoto de magnitude 6,8° atingiu Taiwan, derrubando duas das guas e matando 5 funcionários. O edifício que estava sendo construído para resistir a terremotos dessa magnitude precisou suspender as obras por três meses para que os engenheiros pudessem avaliar se a estrutura, ainda incompleta, do edifício não havia sido afetada, entretanto, nenhum teste mais real poderia ter sido aplicado ao projeto do que esse terremoto e o edifício

não apresentou nenhuma falha estrutural. Em 2004 o edifício foi concluído com uma área total construída de 374.336 m² a um custo total de 1,76 bilhão de dólares (WARE, 2012).

2.3.3 Petronas Twin Towers

As torres Petronas Twin Towers foram os edifícios mais altos do mundo entre 1998 e 2004 e são até hoje as torres gêmeas mais altas do mundo. Encomendada pelo primeiro-ministro da Malásia Dr. Mahathir Mohamad com o objetivo de mostrar ao mundo que a Malásia havia se tornando um player global, o design da torre foi escolhido através um concurso para escritórios de arquitetura aberto pelo governo malásio para a construção de duas torres que incorporasse a cultura da Malásia, e que se tornariam o símbolo do país. O vencedor foi o arquiteto argentino Cesar Pelli que propôs o formato de uma estrela de oito pontas com a inserção de semicírculos na intersecção dos dois quadrados (Figura 21), (BUNNELL, 2004).

Figura 21 – Formato das Petronas Twin Towers



Fonte: Petrosains (2023)

Para a elaboração do projeto de fundação das torres, foram feitos mais de 400 pontos de sondagem, e após a análise dos ensaios, o local de construção foi deslocado cerca de 60 metros do que era previsto devido a variações na composição do solo do local original. As escavações no terreno iniciaram em março de 1993, para cada torre foram executadas 104 estacas que chegaram até a 120 metros de profundidade, as mais profundas do mundo na época. Para cada torre, sobre as estacas, foi executado um bloco de 4,5 metros de altura com 13.000 m³ de concreto. Devido às condições climáticas da região e à exigência do projetista de estrutura, os blocos foram executados em etapa única, em uma concretagem ininterrupta de 54 horas. Para isso, foi montada uma tenda sobre os 2.900 m² do bloco para que as chuvas torrenciais da região não comprometessem a concretagem (MERCHANT, 2016).

Figura 22 – Concretagem do bloco da Petronas Tower 1

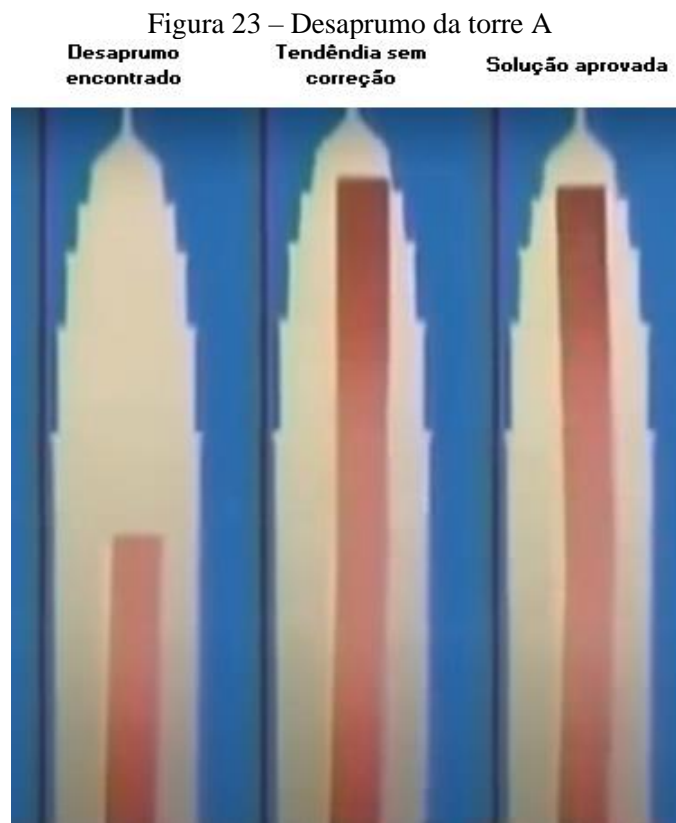


Fonte: Discovery Chanel (2015)

O maior desafio da construção das torres foi o prazo. Por questões econômicas, a obra teria que ser executada em três anos, o prazo desafiador para a execução de uma construção desse tamanho. Com 12 meses gastos para concluir a fundação, restaram apenas 2 anos para a construção e conclusão das torres. O material escolhido para a execução das torres foi o concreto armado, pela falta de disponibilidade de aço na Malásia e pela abundância e familiaridade da mão de obra com estruturas de concreto armado. Com o enorme desafio do prazo e tendo a estrutura como caminho crítico no cronograma, a solução encontrada pela construtora responsável foi reduzir o ciclo da execução das lajes para 4 dias (TONG, 2004).

Para alcançar esse ciclo de quatro dias por pavimento, o método construtivo para a execução da estrutura das torres foi o de forma deslizante para o núcleo do edifício. Para a ascensão das formas deslizantes, foram instaladas duas guias por torre. Para garantir o abastecimento dos andares e o deslocamento dos colaboradores foram instaladas ao todo oito elevadores cremalheira por torre. De acordo com Wong (2000), os equipamentos foram instalados dentro dos poços dos elevadores, próximos às escadas e em alguns pontos específicos da fachada que possuíam continuidade para atender toda a torre. Esses elevadores cremalheira instalados na fachada com o auxílio de andaimes plataformas para interligar a torre ao equipamento.

Entretanto, quando a primeira torre alcançou o 40º pavimento, os engenheiros detectam que o núcleo da torre A havia saído alguns centímetros do prumo. A obra foi paralisada e os engenheiros responsáveis pelo projeto do Sears Tower, a torre mais alta do mundo até aquela data, foram chamados para ajudar a solucionar o problema. Após muitas análises estruturais, a solução encontrada foi retornar o núcleo do prédio para a posição original gradativamente na execução dos andares seguintes, até que o prédio retornasse ao prumo. Para a construção das torres foram contratadas duas empreiteiras, uma japonesa, que foi responsável pela construção da torre A; e uma empresa sul-coreana, responsável pela construção da torre B, a primeira a alcançar o topo. Como incentivo a competição entre as duas empresas, a empresa que alcançasse o topo primeiro ganharia o contrato para a instalação da passarela que interliga as duas torres (KRISHNASAMY, 2004).



Fonte: Discovery Chanel (2015)

Antes da estrutura da torre alcançar metade de sua altura, os 80.000 m² da pele de vidro começaram a ser instalados a um ritmo de 120 painéis por dia. Além dos desafios enfrentados na execução das torres construídas separadamente, um grande desafio uniu as duas torres, a passarela suspensa mais alta do mundo, interligando os andares 41 e 42 das duas torres. A passarela de 58 metros de comprimento a 170 metros de altura, e pesando 720 toneladas foi

pré-fabricada em 5 partes que precisam ser içadas até a sua posição final. Após uma operação de içamento com macacos hidráulicos de mais de 30 horas a plataforma foi posicionada com sucesso (RAGUPATHY, 2004).

Figura 24 – Passarela suspensa



Fonte: Petrosains (2023)

Em julho de 1996, a montagem da pele de vidro das duas torres foi concluída, já com todos os serviços interno finalizados, atendendo audacioso prazo de 3 anos de construção. Entretanto, o escopo concluído até essa data foi o do projeto inicial, no qual a torre termina com uma cobertura reta totalizando 379 metros de altura, abaixo do Sears Tower. Por uma sensação de inacabado, o primeiro-ministro da Malásia solicitou ao arquiteto responsável que incluísse um pináculo acrescentando 73 metros ao projeto, tornando a Petronas Twin Towers os edifícios mais altos do mundo. O pináculo e a inauguração do edifício levaram mais dois anos, tornando em 1998 a Malásia detentora do título do maior edifício do mundo. No total foram 8 anos entre a elaboração de projeto, execução e inauguração, consumindo 180.000 m³ de concreto e totalizaram os 395.000 m² de área útil ao custo total de 1,6 bilhões de dólares (BUNNELL, 2004).

2.4 Requisitos essenciais no planejamento da construção de edifícios altos

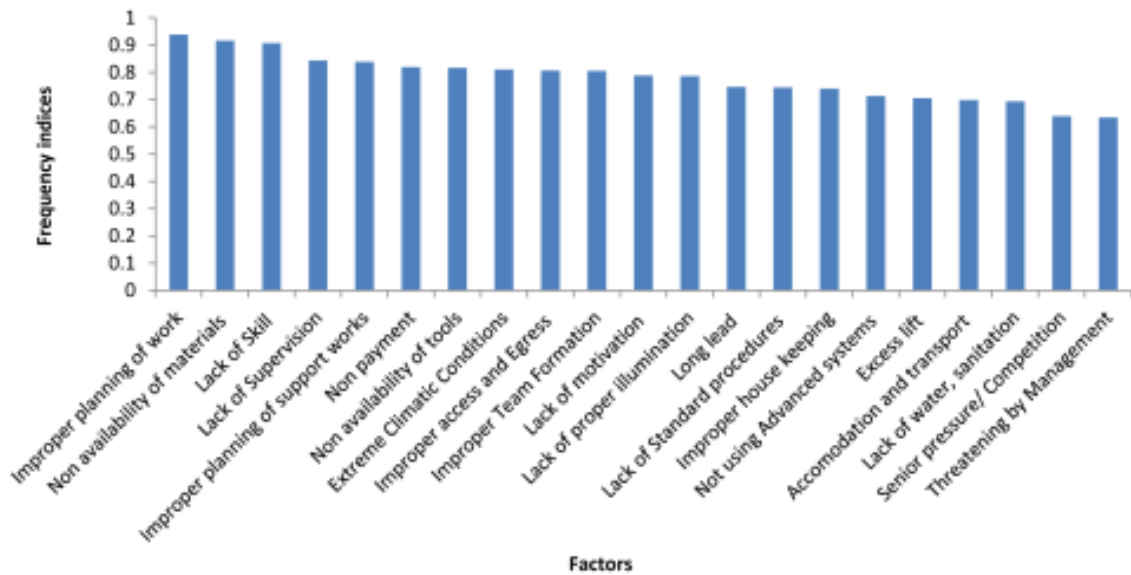
2.4.1 Gestão da construção

A gestão da construção de edifícios representa um conjunto de atividades simultâneas, que vão desde a concepção inicial até a entrega final do projeto. Essa atividade multitarefa exige uma visão holística, incorporando uma série de responsabilidades essenciais para assegurar o sucesso do empreendimento. Para isso, o planejamento meticuloso, englobando a definição clara de metas, a elaboração detalhada de cronogramas e a estimativa precisa de custos é essencial para o bom resultado do projeto. Para Nakamura (2014), gerenciar uma obra significa administrar, simultaneamente, o cumprimento do cronograma e a previsão financeira, gerindo profissionais que têm formações e práticas diversas. Quem assume essa função é o gestor que deve dominar custos, contratos, prazos, ser organizado e um bom gestor de pessoas.

Na gestão de projetos na construção civil, a eficácia é determinada por uma abordagem integrada e criteriosa. O planejamento estratégico emerge como ponto de partida, fundamentado na definição clara de metas, cronogramas realistas e alocação eficiente de recursos. Nesse contexto, a escolha criteriosa de fornecedores, a contratação de mão de obra qualificada e a antecipação de obstáculos são cruciais para o sucesso do projeto. Outro pilar importante da gestão da construção, o controle de custos, um desafio notório na construção civil, exige uma gestão eficiente, caracterizada pelo acompanhamento rigoroso das despesas e pela identificação proativa de possíveis desvios. A implementação de tecnologias de gestão financeira e a negociação eficiente com fornecedores são práticas essenciais para manter o orçamento sob controle (NORO, 2012).

A gestão de prazos, também imperativa, constitui um elemento vital na construção de edifícios. A utilização de ferramentas de gestão de projetos, como cronogramas detalhados e software de colaboração, possibilita que a equipe esteja alinhada e que eventuais atrasos sejam identificados e mitigados rapidamente. Diretamente relacionado, está a produtividade. A análise da produtividade, principalmente sua perda ou diminuição, permite identificar onde ocorrem desperdícios de tempo, recursos ou esforços, possibilitando a adoção de estratégias para mitigar esses problemas e otimizar a produtividade. A perda de produtividade possui causas que afetam tanto a mão de obra quanto equipamentos, conforme descrito na Figura 25. (Journal of Construction in Developing Countries, 2017)

Figura 25 – Índice de Frequência: Fatores que afetam a produtividade da mão de obra



Fonte: Journal of Construction in Developing Countries (2017)

Os dados da Figura 25 e Figura 27, foram coletados e apresentados no artigo “A Critical Review of Factors Affecting Manpower and Equipment Productivity in Tall Building Construction Project”, publicado no Journal of Construction in Developing Countries (2017), no qual foram questionados 109 funcionários associados à construção de 72 edifícios altos em diferentes partes da Índia. O estudo foi elaborado usando ferramentas como índice de frequência, coeficiente de correlação de postos de Spearman e análise fatorial. A correlação de Spearman utiliza a fórmula da figura 26 abaixo onde “d” é a diferença entre os índices de frequência e “n” é o número de observações.

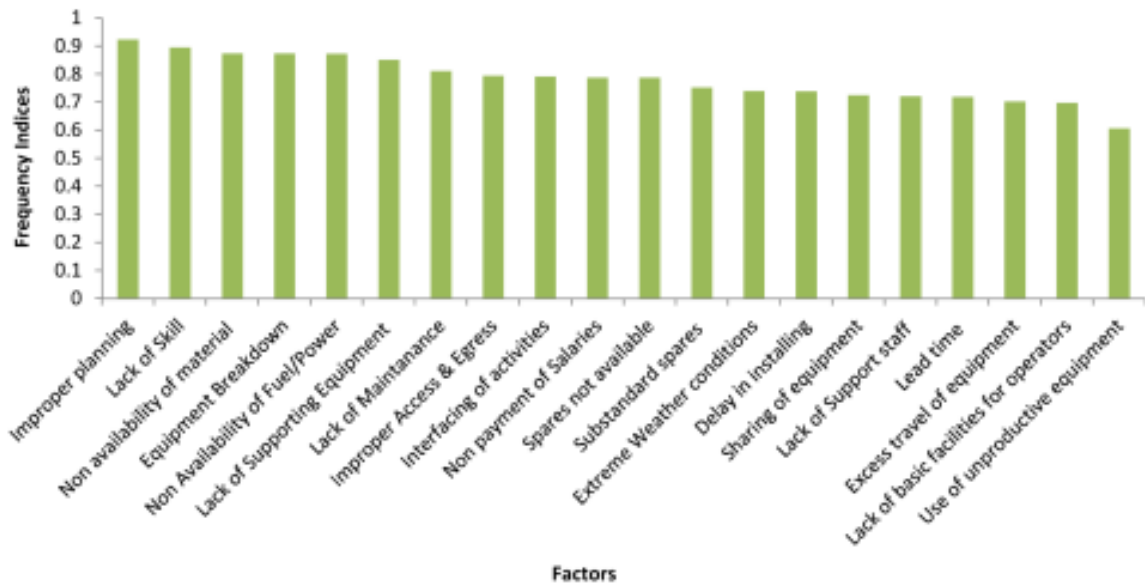
Figura 26 – Fórmula de Spearman

$$r = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Fonte: Journal of Construction in Developing Countries (2017)

Os fatores foram priorizados em ordem decrescente dos índices de frequência. Com base na análise, pode-se inferir que os fatores em grupos humanos e de planejamento são mais influentes e afetam a mão de obra e a produtividade do equipamento significativamente. Gerentes de contrato e engenheiros de custos podem utilizar esse estudo para fazer concessões ao analisar a produtividade e estimar custos para edifícios altos tendo a junção de mão de obra e equipamentos.

Figura 27 – Índice de Frequência: Fatores que afetam a produtividade dos equipamentos



Fonte: Journal of Construction in Developing Countries (2017)

Outro desafio, é a gestão da qualidade do trabalho e a segurança no canteiro de obras. Adotar padrões de qualidade, implementar sistemas de gestão de segurança e promover uma cultura de responsabilidade são fundamentais para prevenir acidentes, garantir conformidade com normas regulatórias e entregar um produto final de alta qualidade. A sustentabilidade, cada vez mais prioritária, impulsiona a gestão eficiente ao incorporar práticas sustentáveis, desde a seleção de materiais até a adoção de tecnologias ecoeficientes. Além de cumprir uma responsabilidade ambiental, a sustentabilidade contribui para economias a longo prazo e fortalece a reputação da empresa no mercado (GOMES, 2010).

Por fim, a comunicação eficaz se destaca como pilar essencial na gestão de projetos de construção. Manter uma comunicação transparente entre todas as partes interessadas, incluindo a equipe, clientes, fornecedores e autoridades regulatórias, é crucial para evitar mal-entendidos e garantir a fluidez do processo. Essa comunicação eficaz promove uma colaboração mais eficiente e contribui para o sucesso global do empreendimento, unindo todos esses elementos em uma gestão coesa e orientada para o êxito do projeto na construção civil. Em resumo, a gestão eficiente na construção de edifícios é um equilíbrio complexo entre planejamento estratégico, controle financeiro, garantia de qualidade, segurança e sustentabilidade. Adotar abordagens inovadoras, utilizar tecnologias modernas e investir na capacitação da equipe são passos fundamentais para enfrentar os desafios e assegurar o sucesso no setor da construção civil.

2.4.2 Logística do canteiro de obra

A logística desempenha um papel fundamental na gestão eficiente de canteiros de obras na construção civil, e vários pontos destacam sua importância nesse contexto. De acordo com Marins e Alves (2019), o setor da construção civil vem convivendo com a falta de planejamento, desperdícios e improvisação em seus processos de produção, contribuindo com um baixo índice de produtividade e aumento dos custos de produção. O fluxo de fornecimento contínuo de materiais é essencial para o andamento sem interrupções das atividades no canteiro de obras, mantendo o cronograma do projeto. Uma gestão logística eficiente garante que os materiais de construção estejam disponíveis quando necessário, evitando atraso e contribuindo para a continuidade do trabalho. A redução de custos de transporte é alcançada através do planejamento e otimização das rotas de transporte de materiais. Essa prática não apenas resulta em uma diminuição significativa nos custos logísticos, mas também é crucial para manter o orçamento do projeto, melhorando a eficiência financeira.

Segundo Issa (2014) projetos de construção de edifícios super altos geralmente possuem restrições críticas para a entrega e armazenamento de materiais conforme o cronograma devido o deslocamento vertical longo, por geralmente estarem situados em áreas urbanas congestionadas, e com espaço limitado para armazenamento de materiais, além de muitas vezes possuírem quantidade de equipamentos de elevação insuficientes. As características da construção de edifícios super altos como operação multitarefa, operações não repetitivas devido à forma irregular do edifício e a interação entre o progresso do cronograma e o fluxo de materiais, dificultam a identificação de padrões de comportamento do fluxo de materiais e a elaboração de planos adequados, podendo resultar em atrasos no cronograma.

O gerenciamento adequado do estoque de materiais no canteiro é uma parte crucial da logística eficaz. Evitar excessos ou escassez garante que os materiais certos estejam disponíveis quando necessários, minimizando interrupções no trabalho e contribuindo para a eficiência operacional. A agilidade nas entregas de materiais e equipamentos é fundamental para evitar paralisações no canteiro de obras. A logística bem planejada permite respostas rápidas a mudanças no planejamento do projeto, garantindo a fluidez das operações. Além disso, a gestão logística eficiente contribui para a redução de desperdícios, seja no transporte, armazenamento ou utilização de materiais. Como consequência da redução de desperdícios, agrega-se os ganhos

de sustentabilidade presentes hoje na abordagem das grandes empresas que aderem ao ESG (Environmental, Social and Governance).

A organização do canteiro de obras é beneficiada por uma logística bem-estruturada. Isso inclui o layout adequado e o posicionamento estratégico de materiais e equipamentos, facilitando a movimentação e a execução das tarefas. A flexibilidade e dinamismo do canteiro, conforme mencionado por Vieira (2006), são aspectos fundamentais para se adaptar às diferentes fases construtivas. Por fim, a gestão de resíduos, também influenciada pela logística, é essencial para manter a organização do canteiro. O layout adequado e o posicionamento estratégico de materiais e equipamentos facilitam a movimentação e execução das tarefas, mantendo o local de trabalho organizado e eficiente.

Em resumo, a logística no canteiro de obras é fundamental para assegurar que os materiais certos estejam disponíveis no momento certo, contribuindo para a eficiência operacional, redução de custos e o cumprimento de prazos na construção civil. Para Vieira (2006), a logística aplicada é entendida como uma organização de planejar, implementar, integrar e controlar, de forma eficiente e eficaz todo o fluxo existente no canteiro de obras. Segundo Souza (2000), não há sentido em se falar em qualidade na obra ou produtividade no processo produtivo quando não se tem planejado o local onde os serviços de construção acontecem.

De forma geral, os edifícios altos citados exemplificam de forma notável a importância da logística e gestão eficazes no sucesso de empreendimentos monumentais na construção civil. Esses projetos evidenciam a necessidade de um planejamento detalhado, coordenação eficiente de recursos, uma visão estratégica de logística e organização no canteiro de obras, com a adoção de tecnologia de ponta, gestão precisa de prazos e custos, além da priorização da segurança e qualidade, elementos indispensáveis para alcançar resultados verdadeiramente impressionantes.

2.4.3 Aprendizados sobre os estudos de casos

A análise de casos como o Burj Khalifa, Taipei 101 e as Petronas Twin Towers oferece valiosos aprendizados sobre os desafios de gestão, logística e planejamento em construções de edifícios altos. Uma das principais percepções é que a complexidade e a escala desses projetos exigem uma abordagem de gestão dinâmica e extremamente cuidadosa, onde a coordenação entre equipes multifuncionais é essencial. No caso do Burj Khalifa, a colaboração intensa entre os engenheiros e os fornecedores de materiais levou a inovações, como o uso de sistemas de controle por GPS para as formas trepantes, que não apenas aceleraram a construção, mas também garantiram a integridade estrutural da edificação. Esses exemplos demonstram que uma gestão eficaz, que considera as especificidades de cada etapa da construção, pode otimizar o processo e mitigar riscos associados a prazos e custos.

Além disso, a logística é um fator determinante para o sucesso na construção de edifícios altos. O Taipei 101 exemplifica a implementação da técnica Just-in-Time para a entrega de materiais, garantindo que tudo chegasse ao canteiro na hora exata, evitando interrupções e retrabalhos. O investimento em plataformas de trabalho externas ao edifício que permitiu a instalação de tantas cremalheiras e equipamentos de transporte vertical foram soluções inovadoras que resolveram problemas logísticos complexos. Atualmente não há fornecedores no Brasil desse tipo de plataformas externas, entretanto assim sistemas de formas metálica e escoramentos foram importados, é necessário trazer esse sistema para a construção de edifícios altos ou complexos. Essas soluções logísticas são essenciais em projetos de grande escala, onde a eficiência no manuseio e transporte de materiais pode significar a diferença entre o sucesso e o fracasso do cronograma.

O planejamento em construções de grande altura requer um entendimento profundo das condições ambientais e estruturais. As torres Petronas, por exemplo, tiveram que adaptar seu projeto devido à composição do solo, o que exigiu uma fundação significativamente mais profunda do que inicialmente previsto. Esse tipo de adaptação, que demanda um planejamento flexível e dinâmico, é crucial para lidar com imprevistos durante a execução. A experiência adquirida através dessas construções ressalta a importância de se realizar estudos preliminares detalhados e de se manter um planejamento aberto a mudanças, assegurando que o projeto possa se adaptar às circunstâncias.

A interdependência entre gestão, logística e planejamento em projetos de edifícios altos se torna evidente ao observar os casos estudados. Cada uma dessas áreas não atua isoladamente, mas sim em sinergia para garantir que o projeto seja concluído com sucesso. A integração dessas disciplinas permite uma resposta mais ágil a desafios inesperados e promove uma execução mais fluida do projeto. Esses aprendizados não apenas fundamentam o estudo de caso de uma monografia, mas também oferecem diretrizes valiosas para futuros projetos de grande escala, contribuindo para a evolução contínua das práticas de construção civil em ambientes desafiadores.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Caracterização do empreendimento

Para o estudo de caso deste trabalho foi analisado o edifício mais alto de São Paulo no período da realização desta monografia, 2024, o Platina 220. Segundo a lista do CTBUH atualmente o edifício paulistano ocupa a posição 4044^o no ranking mundial, sendo o 17^o mais alto do Brasil com 171,7 metros de altura. Apesar da altura tímida comparado aos edifícios mais altos do mundo, esse projeto foi o primeiro em cinquenta e cinco anos a quebrar o recorde de edifício mais alto da cidade de São Paulo, superando seu antecessor, o edifício Palácio W. Zarzur, conhecido como Mirante do Vale. Portanto, assim como os projetos estudados no capítulo 2.3 deste trabalho, apesar de atualmente não serem mais os edifícios mais altos do mundo, na sua época foram projetos disruptivos, assim como a construção do edifício Platina foi para São Paulo.

Tabela 1 – Edifícios mais altos do Brasil

Ranking	Nome	Cidade	Ano de conclusão	Altura	Andares
1	One Tower	Balneário Camboriú	2022	290 m	70
2	Yachthouse by Pininfarina Tower 1	Balneário Camboriú	2022	280 m	80
2	Yachthouse by Pininfarina Tower 2	Balneário Camboriú	2022	280 m	80
4	Infinity Coast Tower	Balneário Camboriú	2019	235 m	66
5	Órion Business & Health Complex	Goiânia	2018	191 m	44
6	Epic Tower	Balneário Camboriú	2020	191 m	56
7	Copenhagen	Balneário Camboriú	2022	190 m	51
8	Tour Geneve	João Pessoa	2018	182 m	51
9	Kingdom Park Residence	Goiânia	2019	181 m	50
10	Millennium Palace	Balneário Camboriú	2014	177 m	46
11	New York Apartments	Balneário Camboriú	2021	176 m	51
11	Splendido	Balneário Camboriú	2020	176 m	50
13	Splendia Tower	Balneário Camboriú	2019	175 m	43
14	Alameda Jardins Residence	Balneário Camboriú	2015	174 m	45
15	Blanc Casa Design	Goiânia	2023	174 m	45
16	Skygarden Marista	Goiânia	2023	173 m	48
17	Platina 220	São Paulo	2022	172 m	48

Fonte: CTBUH

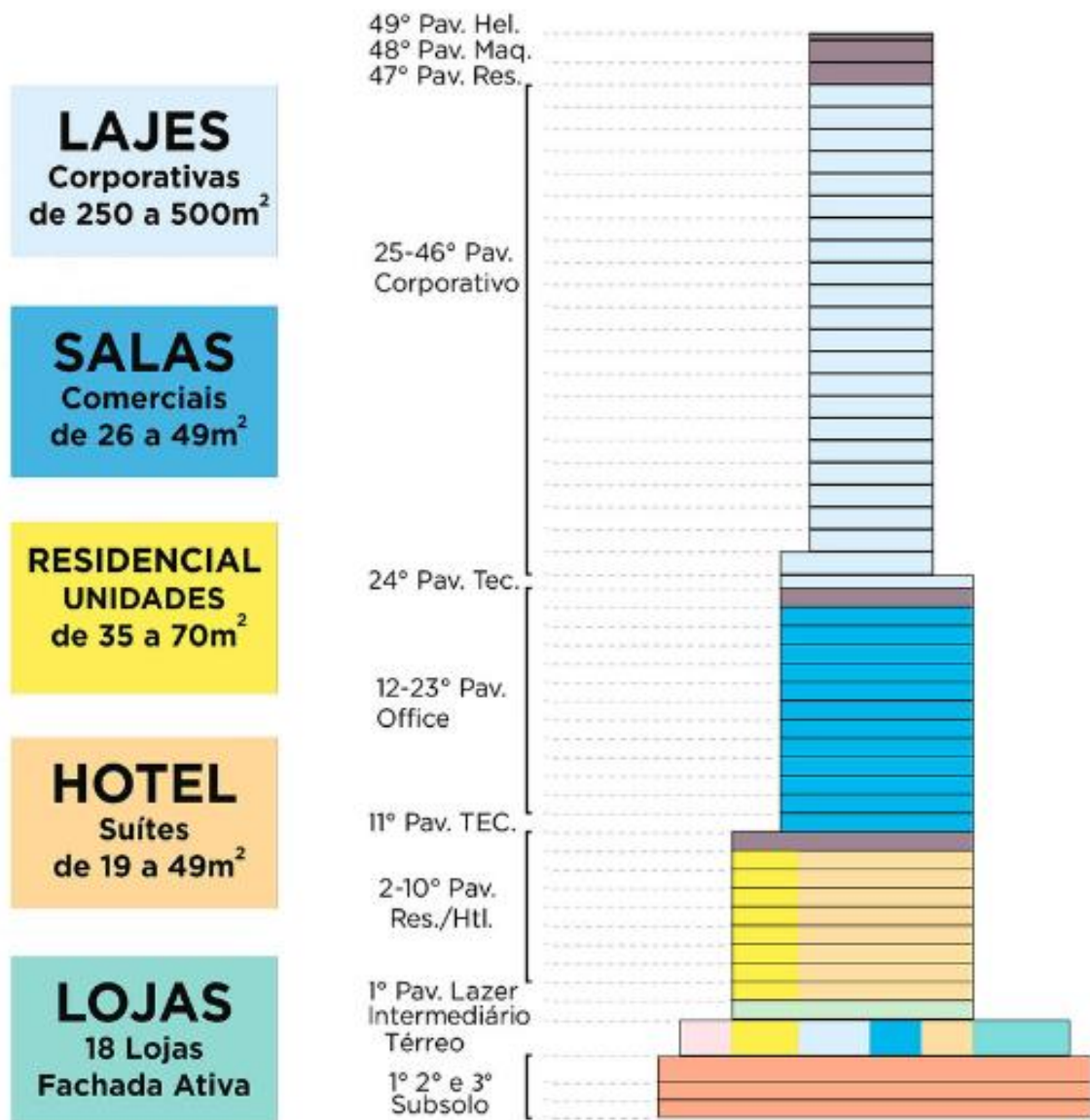
3.1.1 Informações do Projeto

O edifício Platina 220, encomendado pela incorporadora Porte Engenharia e Urbanismo para o escritório de arquitetura Königsberger Vannucchi, é dono do título de maior prédio de São Paulo. Iniciado em setembro de 2018, a construção enfrentou a pandemia durante seus últimos anos, concluindo as obras em setembro de 2022. Segundo Jorge Königsberger “Pela complexidade e diversidade do programa, nós comparamos sua resolução à montagem de um Tangram”, um antigo jogo chinês, que consiste na formação de figuras e desenhos por meio de peças coloridas (PORTE, 2022).

Durante a elaboração do projeto, o edifício foi premiado com o selo internacional de sustentabilidade AQUA-HQE. De acordo com a Fundação Carlos Alberto Vanzolini, entidade exclusiva responsável pela certificação deste selo no Brasil, a certificação AQUA-HQE reconhece construções de elevado padrão de qualidade ambiental.

Com a proposta de um espaço de ocupação mista de torre única localizado em um terreno de 6.420 m², possui 171,7 metros de altura em relação ao nível do térreo. Conforme Figura 28 abaixo, o edifício é dividido em 50 pavimentos, abrigando dezoito lojas, cento e noventa quartos de hotel, oitenta apartamentos residenciais de 35 a 70 m², cento e noventa e cinco salas comerciais e cinquenta salas corporativas com plantas flexíveis. O projeto conta com 20 elevadores, quatro andares técnicos divididos pela torre para equipamentos de ar-condicionado e apoio a operação do edifício, três andares de subsolo com 500 vagas de garagem e um heliponto na cobertura que não obteve autorização da ANAC para entrar em funcionamento (PORTE, 2022).

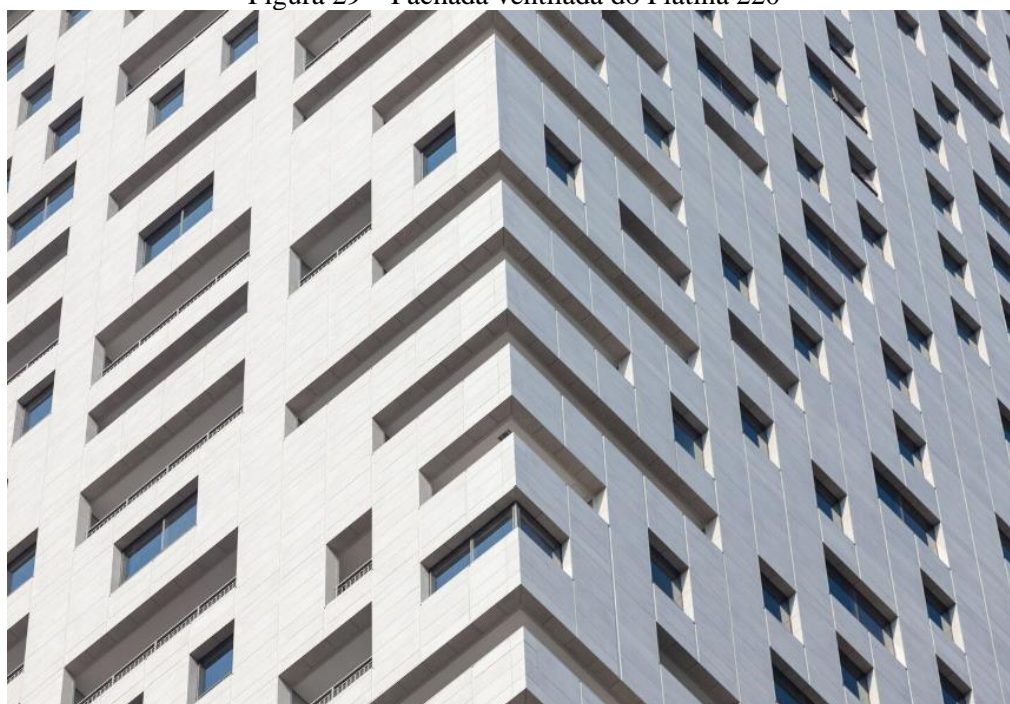
Figura 28 – Divisão de andares Platina 220



Fonte: Arch Daily (2023)

Para a obtenção da certificação AQUA-HQE foram incorporadas ao projeto soluções para a redução do consumo de água e energia como o reaproveitamento de água da chuva para a irrigação automatizada por gotejamento; uso da água de drenagem do sistema de ar-condicionado; a adoção do sistema de fachada ventilada, conforme Figura 29 abaixo, reduzindo de até um grau nos ambientes internos; e o uso de caixilhos maiores para o aproveitamento da iluminação natural (PORTE, 2022).

Figura 29 – Fachada ventilada do Platina 220



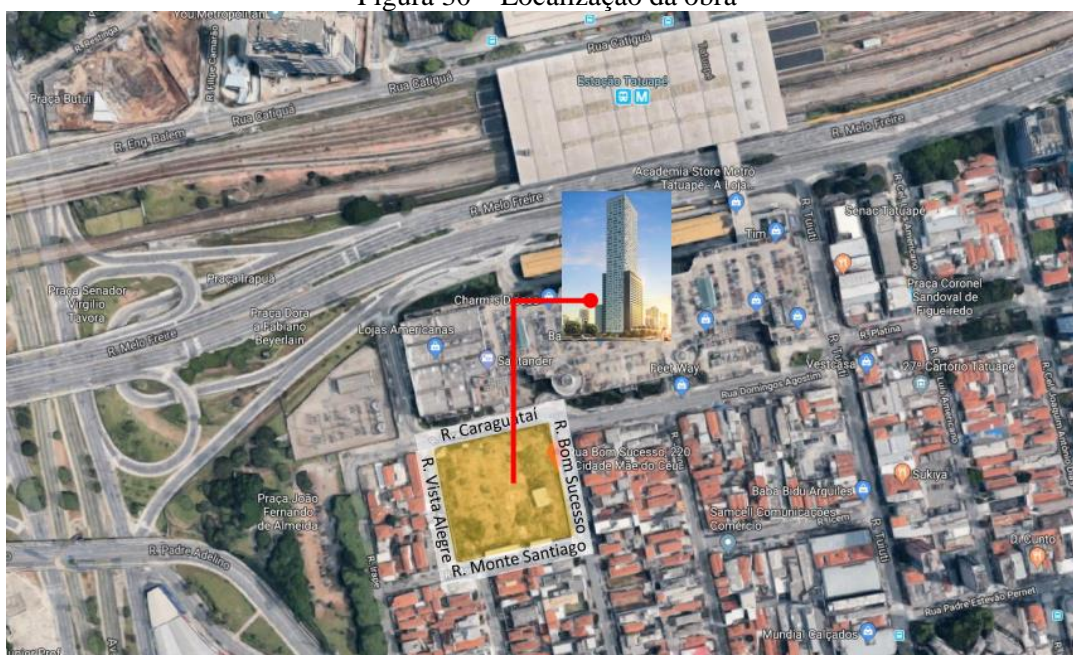
Fonte: Arch Daily (2023)

A estratégia utilizada para a ocupação do Platina 220 assemelha-se em muitos pontos a grandes projetos, como o Burj Khalifa que foi apresentado anteriormente no item 2.3.1. A ocupação mista do edifício, a busca por certificações internacionais e o desenho arrojado do escritório de arquitetura Königsberger Vannucchi mostram o empenho da Porte em tornar o edifício uma referência para a região para atrair investimentos através da construção de um ícone. Essa estratégia, salvo suas devidas proporções, foi utilizada nos projetos dos itens 2.3.1 a 2.3.3 onde o uso de tecnologia para a construção de edifícios altos é usado para atrair investimentos e notoriedade para a região como uma demonstração de capacidade construtiva e abundância de recursos.

3.2 Desafios logísticos do empreendimento

Segundo Franco (1992), o canteiro de obras é um aspecto importante e é considerado um item essencial para a boa execução da obra, sendo necessária uma revisão de espaço adequado para armazenamento dos materiais e equipamentos. Para isso é preciso entender a localização da obra e seus desafios, o canteiro da obra ocupa toda uma quadra entre as ruas Caraguataí, Bom Sucesso, Monte Santiago e Vista Alegre, em um bairro residencial. Apesar da obra estar localizada fora da Zona Máxima de Restrição de Circulação (ZMRC), que segundo a CET restringe o trânsito de caminhões de 2ª a 6ª feira das 5 às 21h e aos sábados das 10 às 14h, os dois principais acessos à obra a Av. Salim Farah Maluf e a Rua Melo Freire fazem parte da lista das Vias Estruturais Restritas (VER) que possui restrição à circulação de caminhões de 2ª a 6ª feira das 5 às 9 e das 17 às 21h, e aos sábados das 10 às 14h.

Figura 30 – Localização da obra



Fonte: Apresentação interna da obra (2022)

Após a conclusão dos blocos de fundação, uma grua basculante de base fixa foi instalada para auxiliar na execução da estrutura. No entanto, de acordo com entrevistas realizadas com a equipe de obra, a grua foi utilizada exclusivamente para apoiar a execução da estrutura, não apoiando outras atividades, como o transporte vertical de blocos de alvenaria e chapas de *drywall*. A localização e o modelo da grua foram escolhidos visando minimizar retrabalhos após sua remoção, uma vantagem quando comparada ao modelo ascensional, que necessitam

de aberturas nas lajes ou comprometem o poço do elevador. No entanto, logo após a conclusão da estrutura, o equipamento teve que ser removido, pois estava impedindo a execução da fachada ventilada na face mais extensa da torre.

Figura 31 - Vista da fachada com grua



Fonte: Equipe da obra (2021)

Para otimizar a execução da estrutura, foi instalado um mastro hidráulico de distribuição de concreto, conhecido como *Placing Boom*, com um raio de 30 metros. De acordo com Underhill (2018), este equipamento aprimora o lançamento do concreto, tornando a operação mais segura e eficiente. Esse equipamento contribui para o aumento da produtividade ao reduzir os intervalos de parada necessários para o deslocamento da tubulação de concreto. Além disso, este tipo de equipamento minimiza o tempo de mobilização e desmobilização da concretagem, eliminando a necessidade de montagem e desmontagem da tubulação sobre a laje.

Figura 32 – Placing Boom



Fonte: Equipe da obra (2021)

Após a conclusão do terceiro pavimento, a primeira torre de cremalheira foi mobilizada. A segunda torre, equipada com as cremalheiras 3 e 4, foi montada quando o edifício atingiu o 28º pavimento, fase em que o drywall foi iniciado na obra. No total, foram utilizadas duas torres de cabine dupla, totalizando quatro equipamentos que atendiam todos os pavimentos. No entanto, como estratégia para liberar mais uma frente de serviço para a fachada ventilada, as cremalheiras 1 e 2 foram desmobilizadas após a conclusão da estrutura do 50º andar.

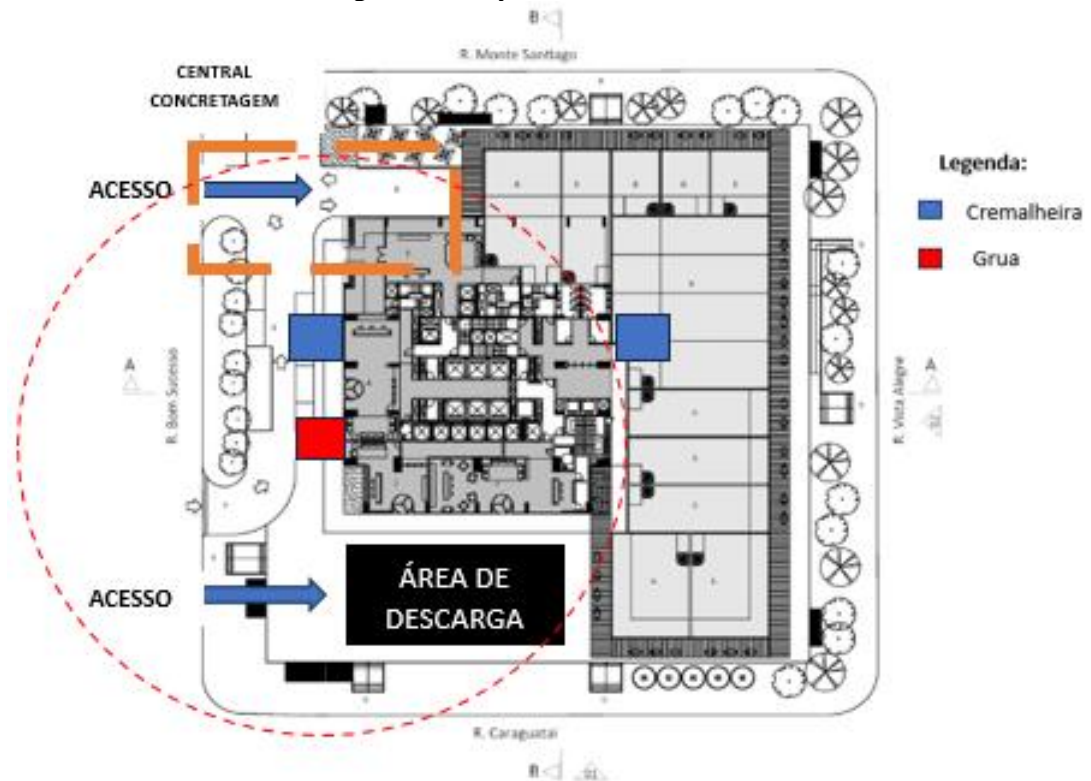
Ao final da estrutura, com o pico de 500 funcionários, a obra enfrentou desafios com a insuficiência de equipamentos, com apenas duas cremalheiras e nenhum elevador definitivo entregue. Isso resultou em acúmulo de entulho nos andares. Segundo relatos da equipe, as

cremalheiras começavam a operar às 7:00 e, até as 8:30, ainda havia uma fila de colaboradores aguardando para subir aos seus respectivos andares. Esse tempo de deslocamento gerou outras duas quedas de produtividade: os colaboradores interrompiam suas atividades por volta das 11:00 para descerem a tempo para o almoço, e o mesmo atraso no início da manhã ocorria novamente após o intervalo do almoço.

A mesma situação acontecia no fim do expediente, os colaboradores paravam de trabalhar mais cedo para conseguir descer até as 17:00. Essa situação se tornou tão rotineira que as sextas-feiras, em que o expediente acaba as 16:00, alguns colaboradores estendiam o expediente da manhã para não retornarem após o almoço. Como medida paliativa, dois funcionários da construtora passaram a operar as cremalheiras das 12:00 às 13:00, criando escalas de almoço e reduzindo a demanda de subida e descida no mesmo horário. Para mitigar o problema de desabastecimento e acúmulo de entulho, o horário de funcionamento das cremalheiras foi estendido das 17:00 às 20:00 todos os dias. Nesse horário os equipamentos subiam distribuindo material nos pavimentos e desciam recolhendo entulho dos andares, tornando as subidas e descidas mais eficientes.

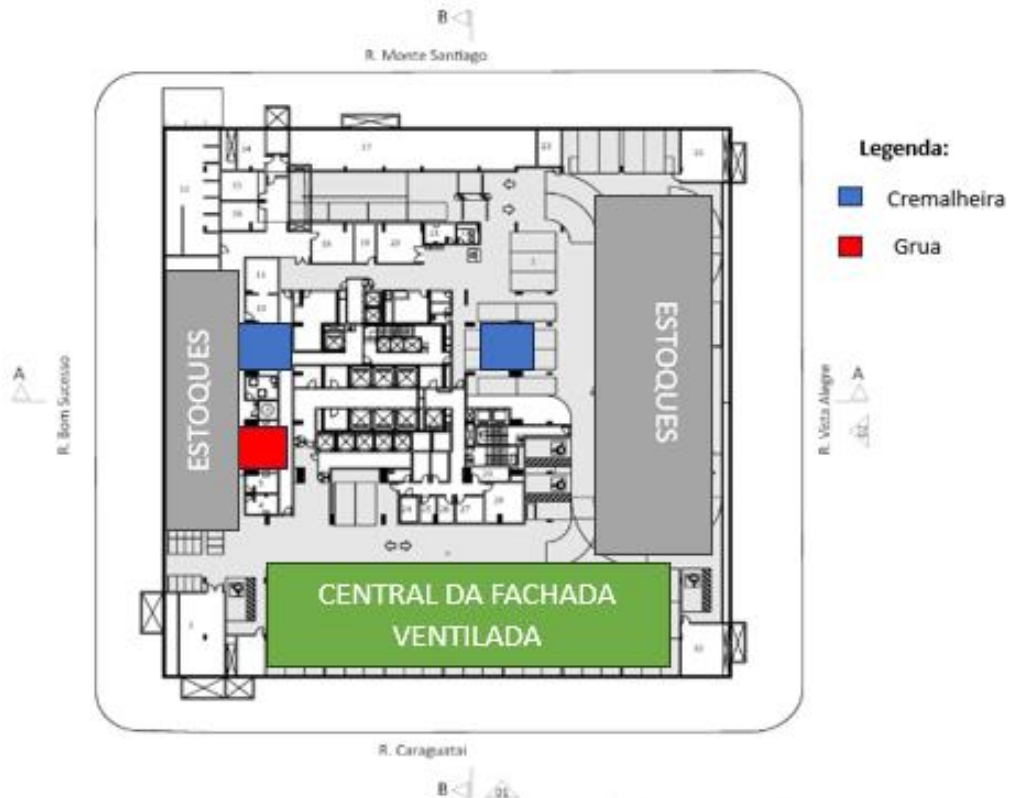
Os estoques de materiais, almoxarifados dos empreiteiros, vestiário, refeitórios e estações de trabalho foram alocadas nos subsolos do edifício. Todo material era recebido no térreo e armazenado no 1º e 2º subsolo, e era posteriormente distribuído para os andares conforme demanda das frentes de serviço. Para a montagem da fachada ventilada, foi montada uma pequena linha de produção que ocupava quase metade do 1º subsolo onde a equipe responsável pela instalação estocava as peças cerâmicas, desembalava, preparava os suportes, realizava a colagem dos suportes nas peças cerâmicas e estocava as peças para a cura da cola química.

Figura 33 - Layout de Canteiro Térreo



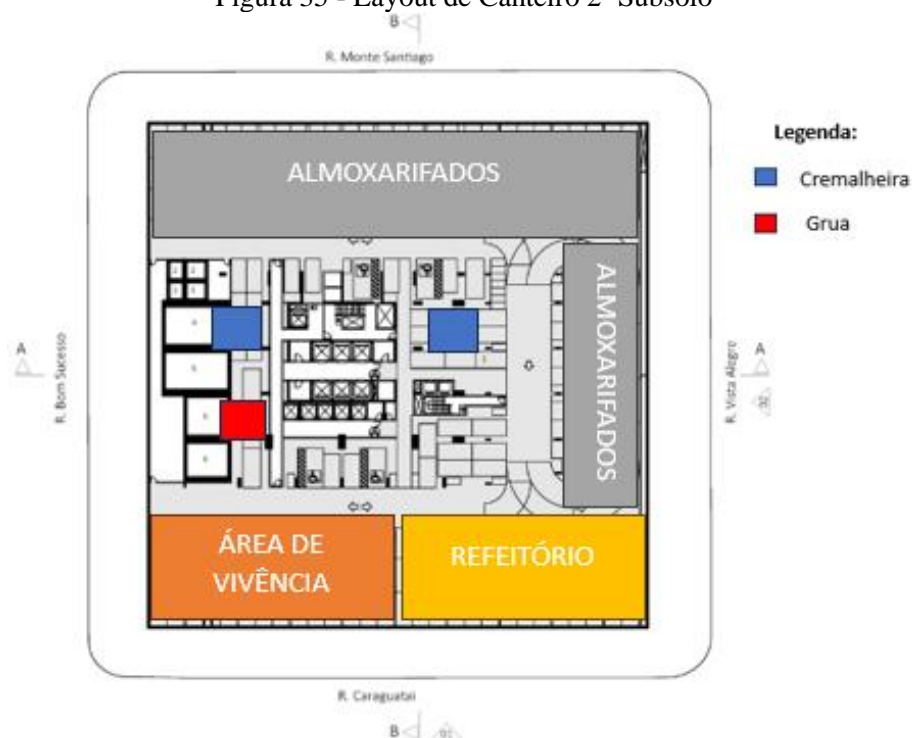
Fonte: Equipe da obra (2021)

Figura 34 - Layout de Canteiro 1º Subsolo



Fonte: Equipe da obra (2021)

Figura 35 - Layout de Canteiro 2º Subsolo



Fonte: Equipe da obra (2021)

A decisão de centralizar todos os estoques, almoxarifados e áreas de vivência nos subsolos comprometeu a finalização desses ambientes, dificultando a etapa final de entrega. Além disso, essa concentração aumentou o fluxo necessário de atendimento das cremalheiras, pois o ponto de partida para a subida de todos os funcionários e materiais partiam desses dois subsolos e todo o destino dos funcionários que já estavam na torre eram os subsolos.

3.3 Caminho crítico e principais impactos no prazo da construção

A obra foi executada em quatro anos. Como apresentado nos itens 2.3.1 ao 2.3.3, edifícios até seis vezes maiores foram executados no mesmo ou menos tempo, demonstrando haver oportunidades e lições aprendidas para serem analisadas sobre o aspecto da produção. Contudo, deste total de prazo despendido, devem ser descontados 4 meses de paralisação da obra por consequência da pandemia da Covid-19, por decisão da construtora. Ao retomarem as atividades, o impacto para a obra foi muito maior do que esse período, pois na reabertura da obra os principais empreiteiros não conseguiram remobilizar com rapidez. Durante o tempo da paralisação muitas das empresas empregadas não conseguiram manter o pagamento de seus

funcionares, perdendo assim boa parte da mão de obra ou se endividando para manter a equipe (VICTÓRIO, 2024).

Após a retomada, as consequências da paralisação se perpetuaram por mais quatro meses, até que o efetivo da obra voltasse aos patamares anteriores a paralisação. Somados a isso, a obra sofreu com o desabastecimento de material, que afetou todo o país, já que muitas indústrias reduziram suas produções. Segundo pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 2020, 76% das indústrias relataram que reduziram ou paralisaram a produção em razão da pandemia do coronavírus (G1, 2020). Dessa forma, a obra teve atrasos na entrega de seus principais insumos, sendo eles: revestimentos cerâmicos para a execução da fachada ventilada; aço para a execução da estrutura; e louças e metais para os acabamentos internos. Além do desabastecimento pela indústria nacional, houve atrasos também em serviços que dependiam de insumos importados, como, por exemplo, o impermeabilizante para a fachada, que foi importado da Espanha e teve sua entrega postergada pelo fechamento das fronteiras.

Entretanto, além dos impactos da pandemia, o longo do prazo da obra foi resultado de métodos construtivos adotados e escolhas logísticas que serão detalhados mais à frente. As ferramentas usadas para o planejamento e acompanhamento da obra foram o MS Project e também empregadas curvas de balanço para a visualização das atividades. De acordo com a equipe de obra, o grande desafio foi a quantidade de repetições das atividades, e garantir a terminalidade de cada uma delas, pois qualquer desvio que gerasse um retrabalho e não fosse corrigido rapidamente acarretava uma grande nova frente de atividade não prevista (VICTÓRIO, 2024).

3.3.1 Fundação e estrutura

A obra foi iniciada em quinze de junho de 2018. O projeto possui três subsolos, e sua contenção foi executada com perfil metálico pranchado, contando com duas linhas de tirantes. Após três meses de escavação, foram retirados 88 mil metros cúbicos de terra. Em outubro, foi iniciada a execução das estacas hélices contínuas, que duraram trinta dias úteis, totalizando 338 estacas com 32 metros de profundidade. O arrasamento das estacas e a execução dos blocos de

fundação foram concluídos no final de janeiro de 2019. A superestrutura foi iniciada em fevereiro, e o Platina 220 chegou à laje do térreo no início de maio do mesmo ano.

Devido às diferentes ocupações do edifício, a tipologia dos andares foi separada em três grupos no cronograma: Residencial/Hotel, Office e Corporativo. Conforme Tabela 2, o primeiro setor, que ocupa do 1° ao 11° pavimento, foi executado em média em oito dias trabalhados, concluindo esse primeiro trecho no início de outubro de 2019. O setor Office, que ocupa do 12° ao 24° pavimento, foi executado em média em nove dias trabalhados. O setor corporativo se inicia no 25° pavimento, porém, após a concretagem do 27° pavimento em vinte e três de março de 2020, a obra foi paralisada devido à pandemia da Covid-19. Após quase quatro meses de paralisação, a obra foi retomada, e o restante dos andares corporativos até o 46° pavimento foi executado em média em 8 dias trabalhados. A estrutura da torre do Platina 220 foi concluída em vinte e três de março de 2021, consumindo ao todo 15 mil metros cúbicos de concreto e 2.300 toneladas de aço.

Tabela 2 – Produtividade média por pavimento

Setores	Pavimentos	Início	Fim	Dias Úteis	Média
Residencial/hotel	11	26/06/19	07/10/19	88	8
Office	13	08/10/19	21/02/20	117	9
Comercial	22	22/02/20	21/12/20	166*	8
Total	46			371	8,1

*Descontando os 109 dias de paralisação devido à pandemia

Fonte: Dados de pesquisa produzidos pelo autor

Analisando o tempo de execução da estrutura, caminho crítico para a construção de edifícios altos, é possível perceber o primeiro descolamento em relação aos casos estudados anteriormente. Com uma média de 8,1 dias trabalhados por pavimentos, a obra demora cinco meses a mais para concluir a estrutura se executasse um pavimento por semana, como foi o caso do Burj Khalifa, Taipei 101 e das torres Petronas. Em uma avaliação prévia, nota-se que o investimento em soluções nos sistemas de formas para edifícios, baseado nas experiências e recomendações para aprimoramento da qualidade e produtividade com redução de custos (ZORZI, 2015), poderiam resultar na construção de um pavimento a cada cinco dias. Tal abordagem reduziria o tempo por pavimento em 38%, levando a uma diminuição no prazo total da obra de cinco meses e meio.

3.3.2 Fachada

Devido à altura da edificação e ao conceito arquitetônico, toda a torre do Platina 220 é coberta com 23.540 m² de fachada ventilada, com revestimento cerâmico. Pela geometria do edifício, a fachada foi dividida em 28 trechos. Para cada um desses segmentos, foram montadas plataformas cremalheiras que permitiam o transporte das peças e seus instaladores. Dentro das vinte e oito áreas em que a fachada foi segmentada para o cronograma, cada uma delas foi subdividida em seis serviços: regularização da superfície, impermeabilização da fachada, instalação de suportes para a estrutura metálica, colocação dos perfis verticais, instalação dos perfis horizontais e emplacamento do revestimento.

Figura 36 – Plataformas cremalheiras



Fonte: Equipe da obra (2022)

A execução da fachada iniciou em janeiro de 2020, quando a estrutura estava no 19º pavimento. Uma das vantagens da fachada ventilada é a tolerância de até 8 centímetros de desaprumos da estrutura, dessa forma não foi necessário esperar a conclusão da estrutura para o início da fachada, como geralmente é feito no caso de revestimentos aderidos. O sistema de fachada ventilada foi escolhido para o revestimento externo pela impossibilidade de usar

revestimento aderido devido à altura do edifício. Além disso, outros benefícios foram cruciais para a escolha desse sistema, como o “efeito chaminé” que ocorre pela diferença de temperatura entre o ar próximo ao piso térreo da torre e a temperatura do ar nos últimos pavimentos. Esse delta de temperatura, por convecção térmica, diminui a densidade do ar na região inferior e levando-o para cima, dessa forma há uma troca de ar do vazio entre o revestimento da fachada e as vedações do edifício, essa troca aumenta a eficiência térmica da edificação, reduzindo o consumo de energia para os sistemas de ar-condicionado.

A fachada ventilada escolhida para o edifício Platina 220 foi a do fabricante Venfaq e o modelo que apresentou melhor desempenho nos estudos feitos em túnel de vento foi o sistema Vhook. Segundo o fabricante, esse sistema se diferencia por sua ancoragem oculta e o sistema de colagem com polímero nos ganchos para encaixe nos perfis horizontais. A estrutura de alumínio reticulada, com perfis no sentido vertical e horizontal, onde a placa de revestimento fica suspensa, permite que o sistema absorva as cargas e esforços estáticos e dando liberdade de dilatação para os diferentes materiais (VENFAQ, 2022).

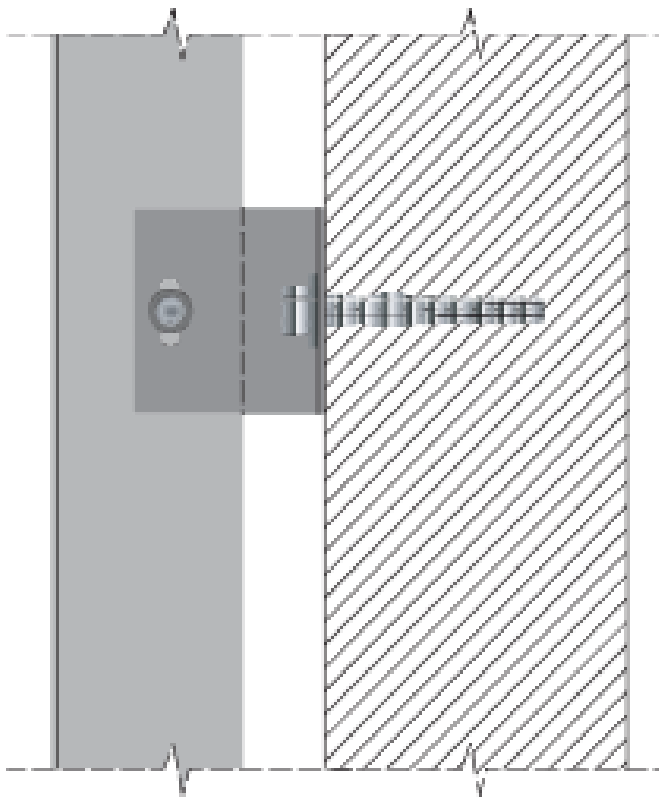
A primeira etapa para a execução da fachada ventilada foi a regularização da superfície externa da fachada. Essa atividade totalizou 138 dias trabalhados, esse serviço se resumiu a: raspagem dos excessos de massa de assentamento que ultrapassavam o alinhamento das alvenarias; o preenchimento dos vãos de encunhamento da alvenaria, assim como o reparo de blocos quebrados e a regularização de qualquer outra abertura; e o lixamento das vigas, para a remoção do desmoldante residual utilizado no momento da execução da estrutura, esse lixamento foi essencial para evitar futuras patologias com o descolamento da camada impermeabilizante.

A segunda etapa foi a aplicação da camada impermeabilizante, que totalizou 118 dias trabalhados, e é composta por três camadas do produto Vparede, uma membrana acrílica elástica a base de água do fornecedor Venfaq. Esse produto é indicado para aplicação direta sobre alvenaria de blocos de concreto, cerâmicos ou argamassa, e suas três camadas são compostas por: primer, de coloração branca; base, de coloração cinza-claro; e finalizador, de coloração cinza-escuro. De acordo com o fabricante, a densidade do produto é de 1,45 g/cm², a resistência a tração é de 1,2 MPa, a resistência a pressão positiva é de 6 Bar e a resistência a pressão negativa é de 2,5 Bar. A aplicação de cada camada necessitava de 12 horas de cura entre elas, e para a aplicação do finalizador foi necessário a aplicação de quatro demãos,

preparando a face externa do edifício para o recebimento da fachada ventilada (VENFAQ, 2022).

A terceira etapa da execução da fachada trata-se da fixação dos suportes, que foram executados em 106 dias trabalhado. Nessa etapa as equipes de montagem fixaram chapas L nas alvenarias e vigas da fachada, conforme Figura 37. Na quarta etapa foram instalados os perfis verticais nos suportes instalados na etapa três, conforme Figura 38 abaixo. Essa atividade foi executada em 125 dias trabalhados.

Figura 37 – Suportes



Fonte: Venfaq (2022)

Figura 38 – Perfis verticais



Fonte: Venfaq (2022)

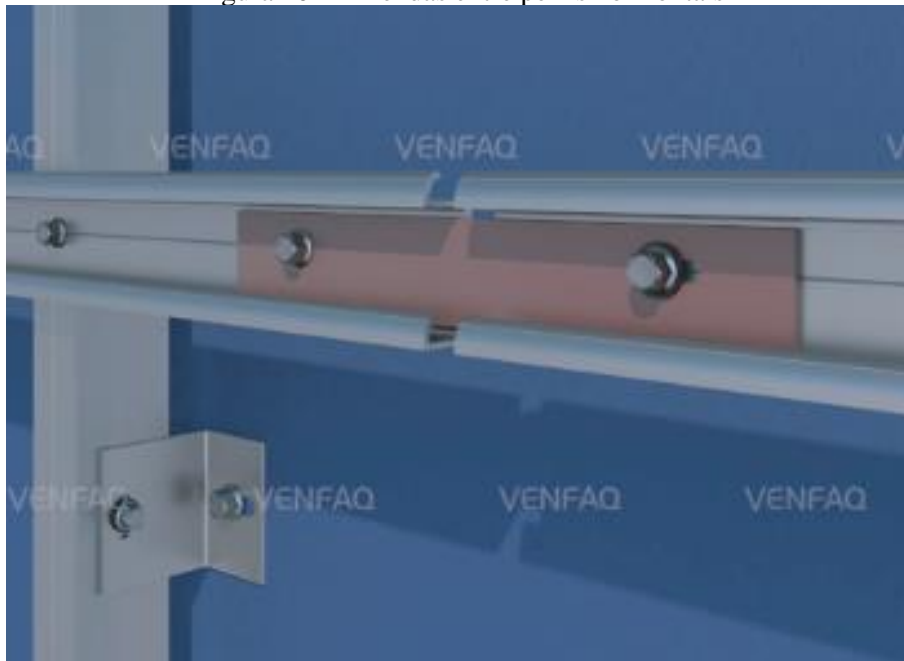
Na quinta etapa foram instalados os perfis horizontais nos perfis verticais, instalados na etapa quatro, conforme Figura 39 abaixo. Essa atividade foi executada em 135 dias trabalhados. Nas emendas dos perfis horizontais foram instaladas chapas retas com furos oblongos para alinhamento e travamentos dos perfis, conforme Figura 40 abaixo.

Figura 39 – Perfis horizontais



Fonte: Venfaq (2022)

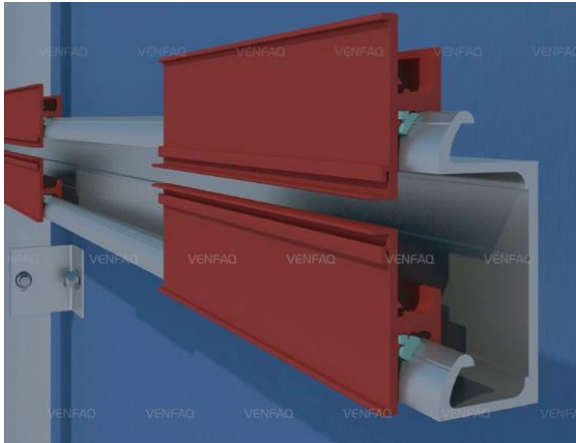
Figura 40 – Emendas entre perfis horizontais



Fonte: Venfaq (2022)

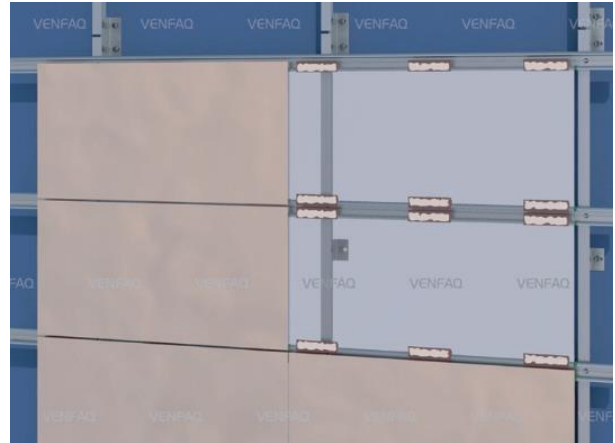
Antes do início da sexta etapa foi criada, no 1ºSS da obra, uma central de preparo dos painéis de porcelanato. Nessa central a equipe dessa linha de montagem recebia os painéis de porcelanato que chegavam diariamente em carretas e colavam os ganchos de fixação nos painéis que seriam futuramente encaixados na estrutura metálica do sistema da fachada ventilada, conforme Figura 41 a Figura 43 abaixo:

Figura 41 – Ganchos



Fonte: Venfaq (2022)

Figura 42 – Colagem dos ganchos e painéis



Fonte: Venfaq (2022)

Na sexta etapa os perfis horizontais receberam os ganchos de fixação dos painéis de porcelanato. Essa foi a etapa mais longa do processo da instalação da fachada, consumindo ao todo 227 dias trabalhados para concluir a instalações de todos os 23.540 m² de revestimento. Durante toda a etapa de instalação foram utilizadas as plataformas cremalheira que permitiram todo o transporte dos painéis até suas respectivas posições.

Figura 43 – Instalação dos painéis de porcelanato



Fonte: Venfaq (2022)

3.3.3 Elevadores

O edifício platina conta com 20 elevadores para o transporte vertical de seus ocupantes, visitantes e funcionários. Devido ao uso misto da edificação esses equipamentos se dividem no atendimento dos andares, separados nos seguintes grupos: elevadores residenciais, com três equipamentos que atendem do 2ºSS ao 10º pavimento, sendo dois deles dedicados aos halls sociais e um deles para o hall de serviço, esse com sistema de pressurização para funcionamento em caso de incêndio. Os elevadores do hotel, com três equipamentos que atendem do 2ºSS ao 10º pavimento, sendo dois deles dedicados aos hóspedes sociais e um deles para a equipe de operação do hotel, esse com sistema de pressurização para funcionamento em caso de incêndio. Os elevadores Office, com cinco equipamentos, dedicados ao fluxo das salas comerciais, atendendo do térreo ao 23º pavimento. Os elevadores corporativos, com seis equipamentos atendendo do térreo ao 46º pavimento, são os mais rápidos do edifício, atingindo a 4m/s, velocidade suficiente para os ocupantes dos últimos andares conseguirem se deslocar do térreo até o 50º andar em 42 segundos. Além dos elevadores dedicados ao atendimento dos andares de uso específico, o edifício também conta com três elevadores de transferência (baldeação) para o deslocamento entre os subsolos e o térreo.

A montagem dos elevadores foi dividida pelos andares de atendimento de cada equipamento, seguindo a limitante da concretagem da laje de topo dos poços. Ou seja, após a conclusão da concretagem da laje superior à última parada do elevador e a conclusão da alvenaria do respectivo poço, iniciava-se o tratamento interno da caixa do elevador. Com a regularização civil das alvenarias, tratamento da estrutura do poço, caiação do poço e instalação da iluminação interna, a caixa do elevador era entregue a equipe de montagem dos equipamentos. Enquanto os elevadores que atendem os andares mais baixos puderam iniciar sua montagem ainda em 2019, os elevadores que atendiam os últimos andares só foram iniciados em 2021. Para a montagem dos equipamentos a obra contou com seis equipes que trabalharam de forma simultânea para a montagem dos elevadores, essa atividade era caminho crítico do cronograma devido à data de início de montagem dos elevadores corporativos.

Enquanto os elevadores residenciais e do hotel puderam ser iniciados em 2019 e foram montados em média em 45 dias, os elevadores Office e os corporativos só tiveram suas montagens iniciadas em 2021 e levaram de 90 a 110 dias para serem montados, tornando-se caminho crítico para o término da obra e comprometendo a terminalidade dos halls dos andares

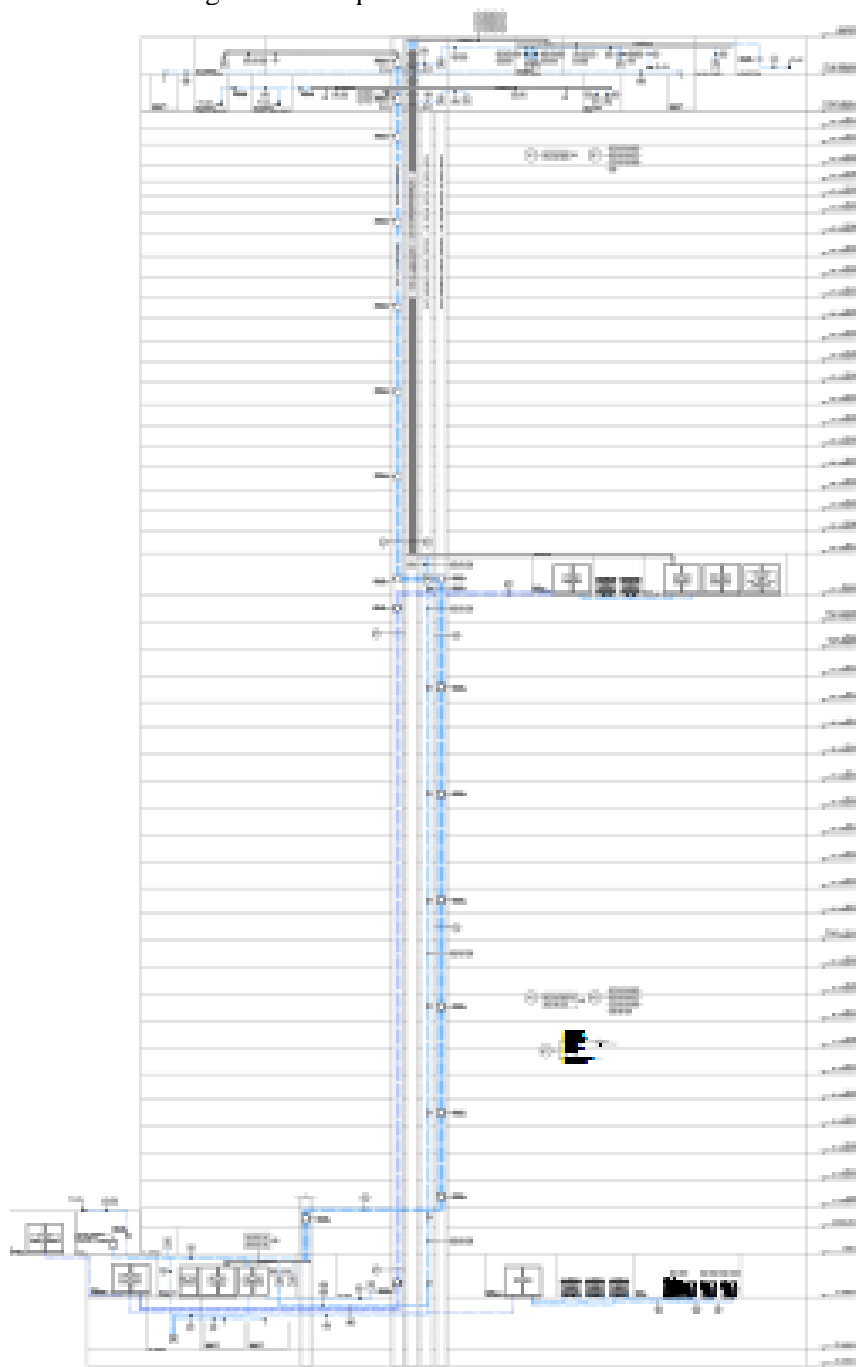
do 25° ao 46° pavimento. Além de impedir a conclusão dos andares, a postergação da entrega de ao menos um elevador que atendesse toda a torre impediu a remoção das cremalheiras e impediu consequentemente a execução de um dos panos da fachada ventilada do térreo ao 50° pavimento, culminando no prazo final de obra alcançado.

3.4 Sistemas prediais

3.4.1 Instalações elétricas

O empreendimento conta com três entradas de energia, sendo elas: alimentação das unidades residenciais (2° ao 10° pavimento) com entrada com poste em baixa tensão 220/127 V; alimentação dos andares Office (12° ao 23° pavimento) com câmara transformadora em baixa tensão 380/220 V; e a alimentação dos andares Corporate (25° ao 46° pavimento), hotel (2° ao 10° pavimento) e áreas comuns (3°SS ao 1° pavimento) em média tensão de 13,8 kV com duas subestações, a primeira no 1°SS próximo do limite do terreno para a transformação em baixa tensão para o hotel, áreas comum e sistema de incêndio e a segunda subestação no 24° pavimento para transformação em baixa para alimentação dos andares do Corporate, conforme Figura 44.

Figura 44 - Esquema vertical – média tensão



Fonte: Projetar (2019)

A entrada de energia para alimentação das unidades residenciais foi feita pela rua Monte Santiago do poste particular diretamente para o quadro de distribuição localizado no 1ºSS, a distribuição da energia para os andares foi feito através de barramento blindado e foram instaladas caixas de medição individual para as unidades nos seus respectivos pavimentos. Para a entrada de energia dos andares Office foi instalado uma câmara transformadora no térreo com entrada subterrânea pela rua Bom Sucesso, com um transformador a seco de 1.000 kVA, a

distribuição de energia para os pavimentos foi feita através de dois barramentos blindados de alumínio com medição descentralizada para suas respectivas unidades, foram instalados nove medidores para cada pavimento. Entretanto, os andares Office também são atendidos pelo sistema dos geradores através de outro barramento que desce do 24º pavimento até o 12º pavimento, os detalhamentos desse sistema veremos mais adiante.

Para a terceira, e última, entrada de energia foi instalado uma cabine blindada, do tipo externa, na rua Monte Santiago. Através de um ramal subterrâneo proveniente do poste da concessionária. A energia em média tensão chega até um cubículo blindado compacto de tensão de 15 kV, desse ponto a alimentação se ramifica para três diferentes caminhos. O primeiro deles vai para a cabine de transformação das áreas comuns, com 6 cubículos entre entradas, proteções e saídas e a instalação de um transformador a seco de 1.000 kVA na tensão primária de 13,8 kV e tensão secundária 380/220 V, após a transformação para baixa tensão a energia é distribuída através de cabos de cobre e alumínio por todos os andares do edifício. A segunda bifurcação leva a energia em média tensão para o 24º pavimento via três cabos singelos de 70mm de alumínio, onde foram instalados três cubículos blindados e dois transformadores a seco de 1250 kVA cada, com tensão de entrada 13,8 kV e tensão secundária de 380/220 V, após a transformação a energia é distribuída aos andares através de dois barramentos blindados de alumínio. A terceira ramificação da entrada em média tensão vai para a cabine de transformação do hotel, onde foram instalados dois cubículos blindados e um transformador a seco de 750 kVA, com tensão de entrada 13,8 kV e tensão secundária de 380/220 V, a distribuição da energia após a transformação foi feita com barramento blindado.

Além das três entradas de energia descritas acima, o edifício ainda conta com um sistema de geração de energia auxiliar que conta com quadro gerador de 750 kVA. Um deles destinado a atender as áreas comuns do edifício, incluindo os sistemas de incêndio; dois geradores para atender 100% da demanda dos andares Corporate e Office; e um gerador para o hotel. Para o atendimento dos andares do Corporate e Office o sistema de energia auxiliar conta com três transformadores de 750 kVA na tensão primária de 380/220 V e tensão secundária de 13,8 kV e quadro cubículos blindados, após a elevação da tensão para média a energia é conduzida até a subestação de entrada e a energia é levada até o 24º pavimento. Na subestação superior à energia é transformada novamente em 380/220 V onde é distribuída para o Office e por meio de um novo sistema de barramentos.

Para a execução da obra a equipe de engenharia precisou montar uma entrada em média tensão com um transformador de 750 kVA provisório. Esse é um fator relevante para obras desse porte, pois devido à alta demanda de energia, o planejamento prévio antes do início da obra para a alimentação provisória do canteiro é essencial para não impactar na construção do edifício. A criação de uma entrada em média tensão para alimentar o canteiro possui um prazo da Enel de 120 dias para a ligação, prazo contado após a vistoria do cubículo provisório que precisou ser construído para essa entrada. Além da sala do cubículo também foi necessário a construção de uma sala para o transformador provisório atendendo a todas as normas específicas para ligações em média tensão, além da aquisição de um quadro de implantação robusto para o atendimento da obra, processo muito mais complexo do que as ligações em baixa tensão que alimentam as obras de edificações comuns em São Paulo.

3.4.2 Instalações hidráulicas

Assim como o sistema elétrico, as instalações hidráulicas também foram divididas para atender aos diferentes usos da edificação e aos diferentes níveis do prédio. O edifício conta com três entradas de água do edifício, todas localizadas na rua Monte Santiago, a primeira entrada atende os andares Office, Corporate e Lojas, a segunda entrada alimenta o sistema do hotel e a terceira entrada abastece o sistema das unidades residenciais.

A primeira entrada de água conta com um reservatório inferior de concreto com capacidade total de 78,34 m³, divididos em duas células. As lojas são atendidas por meio de um sistema pressurizado abastecido diretamente do reservatório inferior, já para os andares do Office e Corporate a água armazenada no reservatório inferior é bombeado através de um conjunto de 2 bombas, sendo uma em operação e outra reserva, para o reservatório superior de concreto de 140 m³ divididos em duas células localizado no 47º pavimento, juntamente com a reserva técnica de hidrantes que atende do edifício com 70 m³ e a reserva técnica do sistema de sprinklers que atende os andares do Corporate e Office com 90 m³. No barrilete superior localizado no 47º pavimento foi instalado um sistema pressurizado que atende o salão do 48º pavimento assim como o 46º ao 44º pavimento devido à baixa pressão pela coluna d'água, o 43º ao 40º pavimento são atendidos pela rede via gravidade e após esse andar o sistema de redutora de pressão alimentam o restante dos pavimentos do Corporate. Já os andares do Office

são todos abastecidos pelo sistema de redutora de pressão, tendo em vista que o alimentador parte do 47º pavimento.

A segunda entrada de água que atende o hotel conta com dois reservatórios inferiores de concreto que somados totalizam 27,06 m³. A água armazenada é bombeada através de um conjunto de 2 bombas, sendo uma em operação e outra reserva, para o reservatório superior de concreto de 119,71 m³ divididos em cinco células localizado no 11º pavimento. Foi instalado um sistema de pressurização para atender o 11º ao 6º pavimento devido à baixa coluna d'água, os andares 5º ao 1º pavimento são atendidos pelo sistema de gravidade. O restaurante do hotel localizado no 1º pavimento possui uma coluna d'água independente com filtro para água desmineralizada e conjunto redutor de pressão dedicado para o local.

A terceira entrada de água alimenta o sistema dos apartamentos residenciais com dois reservatórios inferiores de concreto que somados totalizam 27,06 m³. A água armazenada é bombeada através de um conjunto de 2 bombas, sendo uma em operação e outra reserva, para o reservatório superior de concreto de 27,06 m³ divididos em duas células localizado no 11º pavimento. Foi instalado no 11º pavimento um sistema de pressurização que atende todos os andares das unidades residenciais.

O sistema de água quente do edifício atende apenas as unidades residenciais e a hotelaria. O sistema residencial foi projetado para ser individual, cada unidade terá seu próprio trocador de calor a carga do proprietário. Já a hotelaria possui uma central de aquecimento a gás localizada no 11º pavimento que conta dois boilers e duas zonas de atendimento, uma pressurizada do 11º ao 6º pavimento e outra por gravidade do 5º ao 1º pavimento, cada um dos sistemas contam com duas bombas de recirculação, sendo uma em operação e outra reserva. A cozinha do restaurante do hotel possui prumada independente vinda da central de aquecimento, com duas bombas de recirculação no pé da prumada.

4. OPORTUNIDADES DE MELHORIAS

Analisando os casos expostos na revisão bibliográfica e analisando o estudo de caso da construção do Platina 220, nota-se que os desafios da construção de edifícios altos, salvo suas devidas proporções, estão presentes em todos os projetos. Os desafios com o deslocamento vertical de material e a execução de múltiplas atividades conforme o edifício cresce estão presentes em todos os projetos dessa magnitude, entretanto como lidar com esses desafios, é o que estabelece o sucesso e a viabilidade do projeto.

Entre as dificuldades enfrentadas pela equipe de obra do Platina 220, pode-se separá-las em dois grandes grupos: desafios decorrentes da falta de planejamento na fase de projetos, pensando na execução, e desafios pela falta de investimento em soluções inovadoras no mercado da construção de edifícios em São Paulo. Como visto nos casos estudados anteriormente, medidas disruptivas são a chave do sucesso para alcançar edifícios cada vez mais altos. Soluções como a usada no Taipei 101 com a montagem das plataformas auxiliares para instalação das cremalheiras com baixa interferência na execução da fachada, é um exemplo de soluções onerosas, porém essenciais para esse tipo de projeto.

Já a opção do uso da fachada ventilada, decisão na época de projetos, foi uma excelente escolha devido à altura do edifício, porém se tivesse sido adotada uma solução que permitisse a execução da fachada em anéis de andares, como o Burj Khalifa, a execução da obra teria ganhos na terminalidade dos andares. Se a paginação da fachada escolhida fosse compatível com as dimensões de porcelanato compatíveis com o mercado a obra poderia ser mais eficiente na produção das placas e reduzido a produção de entulho e diminuído o custo e desperdício.

Contudo, a equipe do Platina 220 conseguiu superar os desafios e concluir a construção do edifício com os recursos que tinha disponíveis, aplicando as soluções comuns na construção de edifícios em São Paulo. Porém, o tempo para a construção desse edifício é incompatível com a viabilidade do projeto devido aos custos indiretos gerados pelo tempo da construção e pelo ciclo de retorno do investimento. Abaixo, serão aprofundadas as soluções que poderiam ter sido adotadas com base nos casos de sucesso apresentados anteriormente.

4.1 Logística

Como proposta de melhoria para aumentar a eficiência da distribuição de pessoas e materiais pela obra, este trabalho sugere que os equipamentos cremalheira fossem divididos em zonas de andares, assim como os elevadores definitivos de edifícios muito altos fazem. Essa estratégia é eficiente, pois o tempo da parada e retomada da subida do equipamento reduz a velocidade de deslocamento, dessa forma se as cremalheiras fossem divididas em duas zonas de atendimento onde um dos equipamentos atende os primeiros vinte e cinco andares e o segundo equipamento atende a metade superior da torre. Considerando que o equipamento opera a uma velocidade média de 35m/min, cada pavimento leva seis segundos para ser alcançado; estimando que cada parada entre desaceleração de parada, abertura, fechamentos das portas e aceleração de subida leve 60 segundos; partindo do princípio que todos os colaboradores estejam no térreo, como na situação da manhã; e que o equipamento leva em média vinte colaboradores e faça em média cinco paradas podemos concluir que o equipamento leva 900 segundos para subir e descer.

Conforme a Tabela 3, cenário em que ambos os equipamentos atendem todos os andares e não existe uma organização de qual andar cada colaborador irá descer, a soma do tempo dos dois equipamentos é de 1728 segundos, pois ambas as cremalheiras partem do térreo e vão até os últimos andares. Enquanto que na Tabela 4 onde a cremalheira 1 atende apenas do Térreo até o 25° pavimento e a cremalheira 2 atende o Térreo e os andares do 26° ao 50° pavimento, o tempo para levar os mesmos funcionários aos mesmos andares que o cenário 1 é de 1448 segundo, 14% mais rápido.

Tabela 3 – Tempo médio da cremalheira cenário 1

Cenário 1 - Ambos equipamentos atendem todos os andares			
Equipamentos	Funcionários	Andares	Segundos
Cremalheira 1	20	8, 16, 25, 32 e 45	840
Cremalheira 2	20	12, 18, 29, 36 e 49	888
Total			1728

Fonte: Dados de pesquisa produzidos pelo autor

Tabela 4 – Tempo médio da cremalheira cenário 2

Cenário 2 - Ambos equipamentos divididos em 2 zonas			
Equipamentos	Funcionários	Andares	Segundos
Cremalheira 1	20	8, 12, 16, 18 e 25	600
Cremalheira 2	20	29, 32, 36, 45 e 49	888
Total			1488

Fonte: Dados de pesquisa produzidos pelo autor

Outra solução de melhoria da eficiência da cremalheira que poderia ser implantada, considerando que todo o material já havia sido distribuído na noite anterior e a movimentação durante o dia seria apenas de pessoas, seria o atendimento por blocos de andares, com as cremalheiras parando apenas a cada cinco pavimentos, reduzindo o tempo gasto paradas, aceleração e desaceleração do equipamento.

Porém, mesmo com todas as sugestões de melhorias apresentadas, que aumentariam a eficiência do transporte dos colaboradores e dos materiais, apenas dois equipamentos para um canteiro com 500 funcionários não é o suficiente. Seguindo os dados apresentados na Tabela 4 em média, para transportar 40 funcionários são necessários 1488 segundos, ou seja, para distribuir todos os colaboradores são necessárias quase três horas. Dessa forma fica claro que houve um mau planejamento do fluxo de distribuição de pessoas/matérias para a obra, como as cremalheiras realmente não podiam permanecer nas fachadas, pois impediam a montagem da fachada ventilada, deveria ter sido adotada outras medidas que possibilitassem a permanência dos equipamentos sem prejudicar a execução da fachada. Uma solução que poderia ter sido adotada inspirada no Taipei 101, conforme Figura 45, onde foi montada uma estrutura metálica auxiliar externa ao edifício onde ficavam instaladas as cremalheiras da obra, essa estrutura possuía menor impacto a execução da obra e permitia a permanência dos equipamentos pelo tempo que fosse necessário.

Figura 45 – Estrutura auxiliar para cremalheira do Taipei 101



Fonte: Blogodisea (2010)

Além do uso de forma mais eficiente dos equipamentos cremalheira, dado a proporção do edifício, a adoção de outros métodos de transporte vertical de materiais é essencial para aumentar a eficiência da distribuição e desafogar conseqüentemente as cremalheiras, que eram o único meio de transporte para os colaboradores. Como a obra já possuía grua, a sugestão deste estudo seria o uso de plataformas projetadas para fora da torre, exemplo da Figura 46, para o abastecimento de materiais paletizados e a captação de entulho nos andares através de caçambas moveis.

Figura 46 - Plataformas externas



Fonte: Autor (2018)

Outra solução que ajudaria a reduzir a demanda das cremalheiras seria o bombeamento de insumos como areia ou até mesmo argamassa de contrapiso e argamassa pronta até o andar, dessa forma o abastecimento se tornaria independente do funcionamento da cremalheira. Na Tabela 5 abaixo foi feita a análise do tempo necessário para abastecer um pavimento com área a execução de contrapiso. Nesse cenário, o abastecimento de apenas um insumo em um único andar já tomaria 10% do tempo de uma cremalheira.

Tabela 5 - Tempo para abastecimento de areia para contrapiso

Abastecimento de areia para contrapiso					
Andares	Area (m ²)	Espessura (m)	Volume (m ³)	Sacos (20 L)	Viagens (und)
9° pav	1.067,29	0,05	53,36	2.668,23	13
Tempo total (min)					50,70

Fonte: Dados de pesquisa produzidos pelo autor

Entretanto, com múltiplas atividades acontecendo simultaneamente e considerando imprevistos como a quebra das cremalheiras, que segundo a equipe de obra eram frequentes, a melhor solução seria pulverizar os estoques e áreas de vivência pela torre. Essa solução levaria

os materiais mais próximos dos andares onde eles são efetivamente necessários, porém para a ideia ser funcional, o abastecimento desses estoques intermediários precisaria ser feito no horário estendido das 17:00 às 20:00 ou até mesmo no período noturno. Essa solução seria ainda mais eficiente quando aplicada para a criação de refeitórios intermediários na torre, como detalhado no estudo de caso, a queda de produtividade pelo deslocamento na hora do almoço impactava diretamente na execução das atividades. Se esse deslocamento no meio do dia não fosse mais necessário com a criação de refeitórios menores a cada 15 andares, por exemplo, o tempo gasto com o deslocamento vertical de colaboradores ficaria restrito ao do começo do dia e do final do expediente, aumentando exponencialmente a produtividade.

4.2 Prazo

Apesar da obra ter sido executada durante a pandemia de Covid-19 e algumas perdas causadas pelo impacto desse evento não possam ser mensuráveis, pela experiência do autor algumas soluções poderiam ser adotadas de modo a reduzir o prazo da obra, com destaque aos itens do caminho crítico do cronograma, conforme itens a seguir.

4.2.1 Estrutura

Mesmo com investimentos em equipamentos como o mastro hidráulico de concretagem e a grua para auxiliar na execução da estrutura, com o objetivo de aumentar a produtividade dos ciclos de concretagem, a obra não desempenhou um ciclo satisfatório. Caso os pavimentos fossem executados em um ciclo de cinco dias úteis, a fase de estrutura teria tido cinco meses a menos, reduzindo na mesma proporção no prazo final da obra por ser uma atividade do caminho crítico do cronograma.

Para alcançar um ciclo de cinco dias por pavimento a obra poderia ter adotado o modelo de ciclo e montagem desenvolvido pelo professor Antônio Carlos Zorzi, conforme Figura 47, onde as atividades seguem a sequência: 1º dia: execução do gualho, montagem da forma de três faces do pilar, posicionamento da armação dos pilares, fechamento da forma dos pilares e início da montagem do cimbramento; 2º dia: conclusão da montagem do cimbramento,

barroteamento, e início da montagem do assoalho; 3º dia: lançamento da armação das vigas, conclusão da montagem do assoalho e distribuição da armação positiva das lajes; 4º dia: posicionamento das mangueiras elétricas e pontos hidráulicos, distribuição das armações negativas das lajes e alinhamento das vigas de borda; 5º dia: concretagem (ZORZI, 2015).

Figura 47 – Ciclo de 5 dias

Exemplo: ciclo de 5 dias trabalhados uma laje por semana			
Dia da semana	Idade do concreto (dias)	Atividades em andamento no pavimento	
		(n)	(n+1)
Sexta-feira	0	Concretagem de vigas e lajes	-
Sábado	1	-	-
Domingo	2	-	-
Segunda-feira	3	Desforma dos pilares	Gastalhos Armação/ montagem pilares
Terça-feira	4	Desforma das vigas Início desforma das lajes	Montagem das vigas Início montagem lajes
Quarta-feira	5	Término desforma das lajes	Concl. montagem das lajes Concretagem dos pilares
Quinta-feira	6	Limpeza	Armação de vigas e lajes Ajustes na fôrma Tubulações Inst. embutidas
Sexta-feira	7	-	Concretagem de vigas e lajes

Fonte: ZORZI (2021)

Entretanto, para conseguir atingir a produtividade de um pavimento a cada cinco dias, também é necessária a adoção de soluções de cimbramento que favorecessem a montagem e execução do pavimento (ZORZI, 2015). Dentre os exemplos de soluções de cimbramento, que garantem agilidade na montagem, é primordial que projetos de estruturas sejam desenvolvidos pensando na execução. Por exemplo, o tipo de escoramento “mesa voadora”, representado abaixo pela Figura 48, permite ganhos da produtividade e podem ser utilizadas em estruturas de laje plana sem vigas de borda ou vigas de menores dimensões. Diferentemente de edifícios baixos onde se pode sacrificar a produtividade para atingir produtos diferenciados através de métodos artesanais, edifícios altos precisam trazer soluções de projetos que garantam adoção de métodos que favoreçam a produtividade.

Figura 48 - Mesa voadora



Fonte: Mills (2013)

Além do sistema de escoramento adequado, o sistema de forma compatível com o projeto é essencial para alcançar um ciclo coerente ao cronograma. Soluções como formas trepantes ou deslizantes, representadas abaixo pela Figura 49, são opções muitas vezes adotados para a execução do núcleo de edifícios altos, esses sistemas podem ser de madeira ou metálico. São formados basicamente por três partes: a parte móvel, composto pela mísula, por escoras, por montantes verticais, por um conjunto de cones e por barras de ancoragem; a forma; e os andaimes de trabalho dos operários (COSTA, 2014). Esse tipo de sistema reduz o tempo de montagem e desforma, permitindo que o núcleo da construção avance na frente das lajes, ganhando agilidade na montagem do pavimento.

Figura 49 - Forma deslizante - Petronas Tower



Fonte: Merchant (2016)

Considerando o impacto do prazo da estrutura no cronograma da obra do Platina 220, é nítido que o investimento em um sistema de forma e escoramento eficientes para a construção de edifícios altos com o objetivo de atingir um ciclo de estrutura de cinco dias trariam uma redução significativa no prazo de obra, e conseqüentemente no custo do projeto, podendo se tornar um ponto decisivo para a viabilidade do projeto ou de novos projetos que possam ser feitos na mesma escala.

4.2.2 Fachada

A adoção da fachada ventilada, um sistema mais industrializado do que o sistema aderido, permitiu que o edifício avançasse com o serviço de fachada mais rapidamente. Entretanto, a escolha do revestimento de porcelanato com medida diferente da paginação das peças da fachada exigiu que fosse montada uma estação de corte dentro do canteiro de obra.

Demandando mais tempo de preparo das peças e uma equipe destinada a essa função de corte das peças, além de aumentar a perda do material gerando um grande volume entulho, de acordo com Victório (2024) as perdas resultantes dos cortes das peças giraram em torno de 20% do material. Como já detalhado no capítulo 3.3.2 as peças de porcelanato eram entregues na obra em caixas e as peças coladas nos *inserts* na linha de produção montada no subsolo da obra, esse preparo ocupou uma grande área do 1ºSS comprometendo a terminalidade desse pavimento e postergando o prazo de entrega inicialmente planejado. A recomendação deste trabalho seria adotar uma solução off-site, fabricando as peças da fachada fora do canteiro de obra e adotando uma política de abastecimento *Just in time*, reduzindo assim o impacto dessa atividade no canteiro da obra e evitando desperdício, representado abaixo pela Figura 50.

Figura 50 - Ciclo just in time



Fonte: Collidu (2024)

Apesar da equipe de obra ter conseguido iniciar a fachada antes da conclusão da estrutura, uma desvantagem do sistema de fachada ventilada é a execução por prumada, diferentemente da montagem de pele de vidro que é executada por anel (andar completo), solução de montagem adotadas pelos estudos de caso analisados anteriormente. A desvantagem

da montagem da prumada é a falta de terminalidade dos andares, pois os serviços internos seguem a sequência de terminalidade linear por pavimento, enquanto a fachada do pavimento só é finalizada na conclusão total da fachada.

Para um edifício tão alto, é necessária uma reflexão profunda entre o produto desejado e a limitação dos materiais disponíveis. As adoções de um revestimento de tamanho compatível com as peças desejadas para a fachada teriam resultado em um processo de instalação mais rápido e demandariam menos espaço de armazenamento e pessoas para a produção das peças. Considerando que a execução da fachada foi um dos serviços mais longos da obra, totalizando 605 dias trabalhados, é nítido que todo ganho de prazo na execução dessa atividade possuiu um impacto significativo para a conclusão da obra.

4.2.3 Elevadores

Em edifícios altos, toda atividade que depende do término da estrutura para seu início se torna caminho crítico para o cronograma. A montagem dos elevadores que atendem os andares Office e Corporativos são um exemplo disso. Portanto, nesse caso, é necessário buscar soluções que permitam que essa atividade não seja dependente do término da outra. Para solucionar esse problema, uma ideia seria a divisão do poço em duas ou mais etapas, conforme representado abaixo na Figura 51. Entretanto, para implementar essa ideia é necessário o cuidado redobrado com a segurança dos montadores e fazer a contratação dos equipamentos já com essa condição de montagem.

Figura 51 - Montagem de elevador em 2 etapas



Fonte: KONE Corporation (2016)

Para realizar a montagem dos elevadores em duas etapas a equipe de obra deve instalar uma chapa metálica no andar superior ao escolhido para a primeira etapa da montagem, permitindo o trabalho seguro da equipe de montagem dentro do poço do elevador, garantindo que caso algum objeto ou até mesmo concreto dos andares acima, que ainda estão sendo executados, caiam no equipamento ou na equipe. Acima da proteção metálica deve ser instalada uma proteção de madeira inclinada em direção à porta do elevador e deverá ser aplicada uma camada impermeabilizante, garantindo que a água da chuva, ou água proveniente de qualquer

outra atividade da obra, não entre no poço do elevador em montagem. A proteção de madeira inclinada garante que os líquidos que eventualmente caiam não fiquem parados sobre a proteção.

Abaixo da proteção metálica, a equipe da obra precisa providenciar a instalação de vigas metálicas com a mesma capacidade de suporte dos ganchos definitivos de montagem do elevador que serão instalados no teto do poço. Com o poço estanque e protegido e os suportes instalados, a equipe de montagem do elevador poderá realizar a instalação das guias até o andar escolhido como divisão do poço e realizar também a montagem da cabine do elevador. Dessa forma, apesar da solução não reduzir a quantidade de dias necessários para a montagem do equipamento, quando o poço for totalmente liberado o tempo necessário para a conclusão da montagem passa a ser menos da metade do tempo, pois além da metade das guias já estarem instaladas, a cabine também já estará pronta.

Levando em conta o impacto que as cremalheiras montadas na fachada causavam a conclusão da fachada ventilada e a deficiência no abastecimento de material e deslocamentos de pessoas, soluções que adiantassem a entrega e funcionamento dos elevadores definitivos deveriam ser uma premissa no planejamento logístico da obra. O lapso observado no cronograma de obra de quase oito meses entre a conclusão da estrutura e o início da montagem dos maiores elevadores definitivamente foi fatal para o cronograma da obra. Simulando o cenário no qual metade do poço do elevador já estaria montado no momento da conclusão da estrutura e respeitando as sequências de atividades seguintes como retirada do reescoramento, execução de alvenaria, tratamento do poço e conclusão da montagem do elevador, a obra poderia ter usufruído dos equipamentos, maiores e mais velozes que as cremalheiras, sete meses antes do que de fato ocorreu.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou registrar os desafios e soluções para a construção de edifícios altos, no Brasil ou no mundo, para que se pudesse documentar recomendações de logística e produtividade para a gestão da construção desses edifícios. Conforme analisado na revisão bibliográfica dos três últimos detentores do título de edifícios mais altos do mundo de suas respectivas épocas, possuíram desafios e adversidades causados pela própria localização do projeto ou pela sua altura, entretanto em todos os casos foram aplicadas soluções de engenharia inovadoras para sanar os problemas ou até mesmo usar a adversidade para se tornar um ícone da engenharia.

No estudo de caso o impacto da pandemia da Covid-19, com a paralisação das obras e os subsequentes desafios de remobilização, juntamente com o desabastecimento de materiais causou impactos no cronograma da obra que dificultaram a análise da produtividade e a separação entre atrasos causados pela consequência da pandemia e atrasos causados por problemas de gestão. Entretanto, este trabalho identificou quedas na produção antes do período da pandemia e, quando comparados aos resultados pós-pandemia, foi possível balizar as informações para que os dados não ficassem distorcidos.

O canteiro de obras, como elemento fundamental para o sucesso da execução de um projeto, enfrentou desafios e demandou soluções da equipe de obra. A implementação de equipamentos como a grua e o mastro hidráulico de distribuição de concreto demonstrou o compromisso da construtora em otimizar processos e atender ao cronograma proposto. No entanto, a retirada antecipada da grua e das cremalheiras devido à interferência na execução da fachada ventilada evidenciou a falta do planejamento a longo prazo e o estudo dos impactos nas atividades subsequentes.

Diante desses desafios, estratégias como operação ininterrupta das cremalheiras no horário de almoço e a extensão do horário de funcionamento dos equipamentos foram adotadas para mitigar os problemas de fluxo de trabalho e acúmulo de entulho. Essas soluções temporárias demonstram a adaptabilidade e o compromisso da equipe em superar obstáculos e manter o progresso da obra. Em síntese, a gestão eficaz do canteiro de obras envolve não apenas a implementação de tecnologias e equipamentos avançados, mas também a flexibilidade e o planejamento cuidadoso para lidar com desafios operacionais inesperados.

A escolha de métodos construtivos, aliada às decisões logísticas, desempenhou um papel crucial na determinação do prazo total da obra. O uso do MS Project e das curvas de balanço demonstra um esforço em gerenciar eficientemente o projeto, mas os desafios decorrentes da complexidade das atividades e da necessidade de repetições detalhadas demandaram ajustes contínuos ao longo do processo. A análise do tempo de execução da estrutura e da fachada ventilada revela um descolamento em relação a casos anteriores estudados.

Apesar da busca por otimização e eficiência, o tempo necessário para cada pavimento se revelou maior do que o esperado, destacando a importância de estratégias como investimento em soluções nos sistemas de formas e escoramento para edifícios e aprimoramento da qualidade e produtividade. A montagem dos elevadores também se mostrou um ponto crítico, afetando diretamente a conclusão dos andares superiores e comprometendo a remoção das cremalheiras e a execução de parte da fachada ventilada. Esses desafios, embora tenham prolongado o prazo da obra, evidenciam a necessidade de adaptação e resiliência diante das circunstâncias imprevistas.

Pela falta de referências bibliográficas, este trabalho buscou juntar o máximo de informações relevantes dos edifícios mais altos do mundo afim que os erros e acertos desses projetos não fossem perdidos com o tempo. O mesmo foi feito com o edifício Platina 220, que apesar de sua menor altura, quando comparado com os edifícios do estudo de caso dos capítulos 2.3.1 a 2.3.2, também trouxe desafios de execução e logística que exigiram que a equipe da obra repensasse as soluções normalmente utilizadas. No tópico abaixo está detalhado quais as melhorias poderiam ser implantadas, não apenas para a construção do Platina, mas para todo edifício alto que venha a ser construído no Brasil. Essas sugestões são baseadas nos estudos de caso construídos em diferentes lugares do mundo, mas também soluções simples, aplicando conceitos já adotados para a operação dos edifícios, mas não para a construção deles.

Uma nova geração de edifícios está sendo projetada em São Paulo e para atingir o mesmo patamar das maiores metrópoles do mundo os métodos construtivos, opções logísticas e planejamento precisam ser repensados, pois, apesar do impacto da pandemia na construção, o edifício foi construído em um tempo muito superior ao necessário e as soluções pensadas inicialmente para o projeto não foram o suficiente para uma construção desse porte. É necessário aprender com os erros e acertos dessa obra para que projetos muito maiores possam ser construídos de forma eficiente e serem reconhecidos como referência.

5.1 Sugestões de temas de pesquisa a serem estudadas

Eficiência Energética em Edifícios Altos: Explorar estratégias e tecnologias para melhorar a eficiência energética em edifícios altos, considerando aspectos como design passivo, sistemas de iluminação e HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) eficientes.

Tecnologias de Construção Avançadas para Edifícios Altos: Investigar o uso de tecnologias avançadas na construção de arranha-céus, como impressão 3D, modulação e automação, e seu impacto na eficiência, custo e qualidade da construção.

Gestão de Projetos em Edifícios Altos: Analisar as melhores práticas de gestão de projetos específicas para a construção de edifícios altos, incluindo planejamento, cronograma, controle de custos e gerenciamento de riscos.

Segurança na Construção de Arranha-Céus: Investigar medidas e protocolos de segurança específicos para a construção e manutenção de edifícios altos, abordando questões como prevenção de quedas, segurança contra incêndios e evacuação de emergência.

Sustentabilidade em Edifícios Altos: Avaliar práticas sustentáveis na construção e operação de arranha-céus, como uso de materiais sustentáveis, sistemas de captação de água da chuva, certificações verdes e integração com transporte público.

Inovação em Projeto e Engenharia Estrutural para Edifícios Altos: Explorar novas abordagens de projeto e engenharia estrutural para edifícios altos, incluindo o uso de materiais avançados, técnicas de análise sísmica e design paramétrico.

Gestão de Qualidade na Construção de Edifícios Altos: Investigar estratégias para garantir a qualidade e conformidade regulatória em todas as fases da construção de arranha-céus, desde a concepção até a entrega e operação.

Impacto das Tecnologias Digitais na Construção de Edifícios Altos: Analisar como as tecnologias digitais, como BIM (Modelagem de Informações da Construção), IoT (Internet das Coisas) e Realidade Aumentada, estão sendo aplicadas para melhorar a eficiência e a qualidade na construção de arranha-céus.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade — Fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a. 59 p.
- AGUIAR, Gustavo dos Santos Guimarães de. **Inovação em logística de canteiro de obras na construção de edifícios**. 2016. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, USP, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2016.tde-23082016-150658>. Acesso em: 15 set. 2024.
- AUTODOC (São Paulo) (ed.). **Burj Khalifa: conheça os desafios construtivos do maior edifício do mundo**. 2019. Disponível em: <https://site.autodoc.com.br/conteudos/burj-khalifa-conheca-os-desafios-construtivos-do-maior-edificio-do-mundo/>. Acesso em: 08 out. 23.
- ANDRES, SAN. Amortecedor de massa usado no arranha-céu Taipei 101. 2016. Disponível em: <https://www.hardmob.com.br/threads/643472-Camuflagem-sismica-protecao-anti-terremoto-e-melhor-que-o-esperado-FOTOS>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- ALMEIDA, R. A. Políticas Públicas e Verticalização Urbana em São Paulo: Desafios e Oportunidades. *Revista Brasileira de Planejamento Urbano*, v. 12, n. 2, p. 45-60, 2022.
- ALI, Hiba Mahboob. **Site Logistics Planning for High Rise Building Construction on Congested Downtown Sites**. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineer, Department Of Civil & Mineral Engineering, University Of Toronto, Toronto, 2018. Disponível em: https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/91721/3/Ali_Hiba_201811_MAS_thesis.pdf. Acesso em: 01 ago. 2024.
- BLOGODISEA. **Taipei 101**. 2010. Disponível em: <https://www.blogodisea.com/taipei-101.html>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- BONFIM, Filipe Cisas; FERREIRA DO, Grazielle Marra Lelis. **Logística Aplicada a Canteiro de Obras Verticais em Anápolis – GO**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 13p 2019.
- CHIANG, Hsiu-Wen; WANG, Cheng-Tsung; YEN, Chih-Tsung. **Taipei 101: A Case Study in Building High-Rise Structures**. *Journal of Structural Engineering*, v. 130, n. 3, p. 427-438, mar. 2004.

CIVIL ENGINEERING FORUM. **The Tower of Taipei 101**. 2017. Disponível em: <https://www.civilengineeringforum.me/the-tower-of-taipei-101/>. Acesso em: 18 out. 2023.

COLLIDU. **Just-in-Time (JIT) Manufacturing**. 2024. Disponível em: <https://www.collidu.com/presentation-just-in-time-jit-manufacturing>. Acesso em: 18 nov. 2024.

COSTA, Carlyne Pomi Diniz. **FÔRMAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS APLICAÇÕES**. 2014. 98 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9LENRW/1/monografiacarlyne.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

CTBUH. **Tallest Buildings**. 2020. Disponível em: <https://www.ctbuh.org/about>. Acesso em: 02 nov. 2023.

DREAMSTIME. Edifícios tradicionais chineses. 2024. Disponível em: <https://pt.dreamstime.com/edif%C3%ADcios-tradicionais-chineses-ilustra%C3%A7%C3%A3o-do-templo-pagoda-gate-dos-asi%C3%A1ticos-e-vetor-patrim%C3%B4nio-pal%C3%A1cio-conjunto-de-image217225575>. Acesso em: 15 out. 2024.

EMAAR PROPERTIES (Dubai). **Building a Global Icon**. 2012. Disponível em: <https://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/design-construction/>. Acesso em: 27 ago. 2023.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Eletrônico Aurélio Século XXI**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira e Lexikon Informática, 1999.

FERREIRA, M. C. A Verticalização e o Impacto do Plano Diretor em São Paulo. *Estudos Urbanos*, v. 8, n. 1, p. 72-85, 2023.

FRANCO, Luiz Sergio. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992. doi:10.11606/T.3.1992.tde-06052022-095724. Acesso em: 2023-11-20.

FUENTES, Patrick. **Crescimento vertical na cidade de São Paulo gera impactos sociais e ambientais**. *Jornal da USP no Ar*. Entrevistadas: Silvia Helena Zanirato e Maria Lúcia Refinetti. São Paulo, p. 1-1. 04 ago. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/crescimento-vertical-na-cidade-de-sao-paulo-gera-impactos-sociais-e-ambientais/>. Acesso em: 08 set. 2023.

GARCIA, L. F. Desenvolvimento Imobiliário e Arranha-Céus: O Caso de Balneário Camboriú. *Jornal de Economia Regional*, v. 19, n. 4, p. 102-115, 2024.

GARG, Harshi. **TAIPEI 101: worlds tallest sky skyscraper. WORLDS TALLEST SKY SKYSCRAPER**. 2010. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/download/report-81-pdf-free.html>. Acesso em: 04 ago. 2024.

GEROMETTA, Marshall (EUA). Editor do Banco de Dados de Arranha-Céus (ed.). **CTBUH Height Criteria: Tall Building Criteria**. 2023. Disponível em: https://cloud.ctbuh.org/CTBUH_HeightCriteria.pdf. Acesso em: 12 ago. 2023.

GREGOLETTO, Débora; REIS, Antônio Tarcísio da Luz. Os edifícios altos na percepção dos usuários do espaço urbano. **Proarq**. Rio Grande do Sul, p. 1-22. dez. 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/72132/000882231.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 out. 2024.

GOMES, Giovanni de Araujo. **Responsabilidade socioambiental corporativa e indicador de maturidade mediando desempenho estratégico para as organizações**. *Revista de Ciências da Administração*, v. 12, n. 26, p. 244-269, 2010.

G1. **Pandemia do coronavírus fez 76% das indústrias reduzirem ou paralisarem produção, diz CNI**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/05/14/pandemia-do-coronavirus-fez-76percent-das-industrias-reduzirem-ou-paralisarem-producao-diz-cni.ghtml>. Acesso em: [21 de janeiro de 2024].

UNDERHILL, Daniel. **Concrete Placing Booms & Pumps**. 2018. Disponível em: <https://www.camfaud.co.uk/placing-booms/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

ISSA, Raymond. **Computing in Civil and Building Engineering 2014**. Seoul: Asce, 2014. 1045 p.

ITP MEDIA GROUP (United Arab Emirates). **High-rise concrete pumping is about teamwork**: unimix attributes the success of its concrete pumping operations to extensive testing and preparation in partnership with putzmeister. Unimix attributes the success of its concrete pumping operations to extensive testing and preparation in partnership with Putzmeister. 2018. Disponível em: <https://www.plantmachineryvehicles.com/power-lists/machinery/70702-high-rise-concrete-pumping-is-about-teamwork>. Acesso em: 16 ago. 2024.

JAMAL, Haseeb. **Design and Construction of Burj Khalifa**. 2017. Disponível em: <https://www.aboutcivil.org/burj-khalifa-design-construction-structural-details.html>. Acesso em: 26 ago. 2023.

JAMES, Edward. **How Burj Dubai contractors met the building challenge**. 2009. Disponível em: <https://www.meed.com/how-burj-dubai-contractors-met-the-building-challenge/>. Acesso em: 04 ago. 2024.

KONE CORPORATION. **'THERE must be a better way' - How to speed up construction time without compromising safety**. Espoo, Finlândia: Kone Corporation, 2016. (4 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GL4ffP9KG6I>. Acesso em: 08 maio 2024.

LELLO, Madalena. **O edifício Chrysler**. 2008. Disponível em: <https://saisdeprata-e-pixels.blogspot.com/2008/07/o-edificio-chrysler.html>. Acesso em: 11 out. 2023.

MEGASTRUCTURES Willis Tower (Sears Tower). Direção de Chuck O'Farrell. Entrevistados: Jonh Zils, Tony Tonyan, Reymond J. Kroll, Dennis Preisler e Phil Chinn. Roteiro: Anne Erickson. Chicago, EUA: History Channel, 2004. (47 min.), color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Sghh9Jzx-0Q>. Acesso em: 11 nov. 2023.

MAN Made Marvels - Taipei 101. Produção de Andrew Waterworth. Entrevistados: Willian Graham, Diana Chen, Ian Morley, Shaw Sheih, Dustin Chen e Wei Lee. Taiwan: Discovery Channel, 2006. (50 min.), son., color.

Marins, Leonardo Rebane e Alves, Laís Amaral. **Revista Boletim Do Gerenciamento Logística Aplicada Ao Canteiro de Obras**. 3 Jan. 2019.

MERCHANT, Chad. **The history and construction of the Petronas Twin Towers**. 2016. Disponível em: <https://www.expatgo.com/my/2013/01/09/the-history-and-construction-of-the-petronas-twin-towers/>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MILLS. **Produtos e Serviços. Fôrmas para concreto**. Disponível em: <https://www.mills.com.br/formas-e-escoramentos/escoramentos-mesa-voadora>. Acesso em: 22 junho 2024.

NAKAMURA, Juliana. **Como fazer o gerenciamento de obras**. Revista Online AU PINE. Ed. 245. Ago-2014. Disponível em: Acesso em: 07 abr. 2024.

NERIA, Mario Ramírez. **Un Péndulo Gigante Sobre Un Edificio Puede Salvar Vidas En Caso De Terremotos**. 2021. Disponível em: <https://iniat.iberomx.com/blog/un-pendolo-gigante-sobre-un-edificio-puede-salvar-vidas-en-caso-de-terremotos/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

NORO, Greice de Bem. **Tomada de decisão em Gestão de Projetos: um estudo realizado no setor de construção civil**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, n. 4, p. 71-71, 2012.

OBRAS Incríveis - Burj Khalifa. Direção de Simon Young. Produção de Julian Ware. Intérpretes: Damien Lyne. 2012. (45 min.), son., color. Legendado. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ie27fu8JY_Q. Acesso em: 10 jun. 2023.

OLIVEIRA, J. P. Políticas de Zoneamento e Verticalização: O Caso de Balneário Camboriú. *Revista de Urbanismo e Planejamento*, v. 11, n. 3, p. 98-110, 2022.

PACHECO, DENIS (São Paulo). **Verticalização sem limites não é solução positiva para São Paulo**. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radio-usp/verticalizacao-sem-limites-nao-e-solucao-positiva-para-sao-paulo/>. Acesso em: 15 set. 2024.

PARTHASARATHY, Mudumbai Krishnaswamy; MURUGASAN1, Rajiah; MURUGESAN, Kavitha. **A Critical Review of Factors Affecting Manpower and Equipment Productivity in Tall Building Construction Projects**. Chennai, India: *Journal Of Construction In Developing Countries*, 2017. 18 p. Disponível em: <https://doi.org/10.21315/jcdc2017.22.suppl.1.1>. Acesso em: 06 jun. 2024.

PETROSAINS (Malásia). **PETRONAS TWIN TOWERS DESIGN & STRUCTURE**. 2023. Disponível em: <https://www.petronastwintowers.com.my/design-and-structures/>. Acesso em: 18 out. 2023.

PORTE. **Porte realiza a entrega do Platina 220, o mais alto empreendimento de uso misto de São Paulo**. 2022. Disponível em: <https://porte.com.br/blog/2022/08/porte-realiza-a-entrega-do-platina-220-o-mais-alto-empreendimento-de-uso-misto-de-sao-paulo/>. Acesso em: [20 de janeiro de 2024].

RIZZI, Lila; CAPUCCI, Uly. **A arquitetura de Chicago (part. I) – Arranha-céus: arranha-céus e outros prédios não tão altos. Arranha-céus e outros prédios não ‘tão altos’**. 2016. Disponível em: <http://www.chicago.com.br/arquitetura-de-chicago-arranha-ceus/>. Acesso em: 02 abr. 2023.

SABINO, J. B. Universidade Federal de Minas Gerais. **Projetos de Gestão na Construção Civil: Análise Crítica**. – 2016. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/-BUBDAQ4GFW/1/monografia_j_ssica_breder_pdf.pdf.

SEARS Tower – Willis Tower. 2015. WikiArquitetura. Disponível em: <https://en.wikiarquitectura.com/building/sears-tower-willis-tower/>. Acesso em: 21 out. 2023.

SHEIH, Shaw. **Taipé 101**. Disponível em: <http://www.egc.com.tw/masterpiece.php?post=1>. Acesso em: 01 nov. 2023.

SMITH, ADRIAN (EUA). Autor do projeto. **Burj Khalifa**. 2021. Disponível em: <https://www.som.com/projects/burj-khalifa/>. Acesso em: 20 set. 2023.

SINDUSCON-SP. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil**. São Paulo: Sinduscon-SP, 2005.

SILVA, F. B. da, CARDODO, F. F. Os sistemas de gestão da qualidade e a logística na construção de edifícios. 1997. São Paulo. Anais São Paulo: EPUSP/PCC, 1997.

SOLUÇÕES estruturais projeto estrutural edifícios altos. 2022. Mais Engenharia. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/solucoes-estruturais/attachment/fig-12-solucoes-estruturais-efeitos-do-vento/>. Acesso em: 07 out. 2023.

TAIPEI 101 LIMITED (TAIWAN). **Building Structure**. 2019. Disponível em: <https://www.taipei-101.com.tw/en/concept>. Acesso em: 01 nov. 2023.

TECNOLOGIA utilizada em Edificações Resistentes a Terremotos. 2015. Disponível em: <https://civilizacaoengenhira.wordpress.com/2015/08/31/tecnologia-utilizada-em-edificacoes-resistentes-a-terremotos/>. Acesso em: 01 Nov. 2023.

TURNER (EUA). **Taipei 101**: Taipei | Taiwan. 2009. Disponível em: <https://www.turnerconstruction.com/projects/taipei-101>. Acesso em: 11 nov. 2023.

TKE. **Platina 220**. 2021. Disponível em: <https://blog.br.tkelevator.com/platina-220-predio-mais-alto-de-sao-paulo-tera-elevadores-que-atingem-o-topo-em-42-segundos/>. Acesso em: 11 mar. 2024.

VAZ, Alexandre (ed.). **Estas são as 10 cidades mais povoadas do mundo em 2023**. 2023. Disponível em: https://www.nationalgeographic.pt/viagens/estas-sao-10-cidades-mais-povoadas-mundo-2023_3913. Acesso em: 30 ago. 2023.

VENFAQ. **Catalogo Fachada Ventilada VHOOK System, 2022**. São Paulo. Disponível em: <https://venfaq.com.br/assets/catalogos/fachada-ventilada/catalogo-vhook.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024

VIEIRA, H. F. **Logística Aplicada à Construção Civil: Como Melhorar o Fluxo de Produção nas Obras**. São Paulo: Editora PINI, 2006.

VILLANOVA, Luís Henrique Bueno. **Morfologia Urbana e Edifício em Altura: análise contextual e simulação em Porto Alegre**. Revista de Morfologia Urbana, v. 11, n. 2, 2023.

VICTÓRIO, Flávio. **Entrevista concedida a G**. São Paulo - SP. 25 de Janeiro de 2024.

VINER, THIMAS. **MEGASTRUCTURES - Petronas Towers**. Produção de Andrew Waterworth. Entrevistados: Tim Bunnell, Arlida Ariff, Cesar Pelli, Steven Tong, Simon Jeferry, S. Ragupathy e P. Krishnasamy. Malásia: Discovery Channel, 2004. (48 min.), son., color.

WANG, C.P. **Taipei Financial Center (Taipei 101)**. 2008. Disponível em: <https://www.cylee.com/project/Taipei-101?lang=en>. Acesso em: 01 Nov. 2023.

WHITLOCK, Kane et al. **4D BIM for construction logistics management**. CivilEng, v. 2, n. 2, p. 325-348, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4109/2/2/18>. Acesso em 15 set. 2024.

WORLD ECONOMIC FORUM (Geneva). **Burj Khalifa - Constructing the world's tallest building and an iconic landmark leveraging innovation in building materials and techniques**: case study prepared by the boston consulting group as part of the future of construction project at the world economic forum. Case Study prepared by the Boston Consulting Group as part of the Future of Construction Project at the World Economic Forum. 2017. Disponível em: <https://www.futureofconstruction.org/case/burj-khalifa/download/#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.futureofconstruction.org%2Fcase%2Fburj>. Acesso em: 04 ago. 2024.

WONG, Y. C.; ZHANG, X. **The construction of the Petronas Twin Towers**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 126, n. 4, p. 318-325, 2000.

ZORZI, Antonio Carlos. **Sistema de formas para edifícios: Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos**. 2. Ed. São Paulo: Ibracon, 2015. 193 p.