

ANA TERESA TEIXEIRA MAGALHÃES

BRUNO JIN KUMATA YANO

GUILHERME CIDREIRA DE SOUZA

MODELAGEM DE EDIFÍCIO MISTO EM BIM

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil

São Paulo

2018

ANA TERESA TEIXEIRA MAGALHÃES
BRUNO JIN KUMATA YANO
GUILHERME CIDREIRA DE SOUZA

MODELAGEM DE EDIFÍCIO MISTO EM BIM

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Doutor Sérgio Leal
Ferreira

São Paulo
2018

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-ubicação

Souza, Guilherme Cidreira de
Modelagem de Edifício Misto em BIM / G. C. Souza, A. T. T. Magalhães,
B. J. K. Yano -- São Paulo, 2018.
92 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. BIM 2. Edifícios de uso múltiplo 3. Modelos 4. Dimensionamento de
estruturas I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Construção Civil II. t. III. Magalhães, Ana Teresa Teixeira
IV. Yano, Bruno Jin Kumata

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer principalmente ao nosso Orientador, o Professor Doutor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Sérgio Leal Ferreira, que nos deu o apoio, suporte e conselhos para que conseguíssemos prosseguir com o trabalho.

Além disso, gostaríamos de agradecer ao Professor Januário Pellegrino Neto por fornecer uma licença do TQS 20.7, possibilitando o desenvolvimento do modelo estrutural do edifício.

Gostaríamos de agradecer também ao Professor Pedro Wellington Gonçalves do Nascimento Teixeira, que auxiliou o grupo no desenvolvimento das fundações do projeto.

Por fim, agradecemos à Stefania Limp Muniz Corrêa, que assim como os Professores Sérgio Leal e Pedro Wellington, fizeram parte da banca examinadora do Trabalho de Formatura.

RESUMO

A utilização do *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção (BIM) tem aumentado no cenário da construção civil e tem grande potencial para ser o sucessor do Desenho Assistido por Computador (CAD), pois oferece diversas vantagens em relação a este.

O presente trabalho visa o dimensionamento e a simulação em modelo BIM de um edifício de uso misto, situado na Avenida Paulista, em São Paulo. Para tanto, é necessário que os alunos utilizem conhecimentos adquiridos durante todo o curso, tais como dimensionamento de fundações, estruturas de concreto, planejamento urbano, modelagem, entre outros.

Os maiores desafios do trabalho são a dificuldade que será encontrada para obter harmonia entre ferramentas de modelagem de estrutura e arquitetura, pois o edifício misto apresenta tipos distintos de plantas estruturais em um mesmo empreendimento, bem como a modelagem utilizando BIM, pois foi algo pouco estudado durante o curso e é pouco utilizado no Brasil.

Palavras chave: BIM, Edifício de Uso Misto, Modelagem, Dimensionamento.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) use is increasing in the construction scenario and it has a large potential to succeed the Computer-Aided Design (CAD), because the first offers various advantages over the last one.

This project aims the dimensioning and simulation of a mixed usage building, located at Paulista Avenue, in São Paulo, using a BIM model. To achieve these, the students will use the knowledge learnt during the course, such as dimensioning of foundations, concrete structures, urban planning, modeling, etc.

The major challenges of this project are the difficulties between the structure modeling tools and architecture ones, as the mixed usage building presents different architect and structure designs in the same enterprise. Furthermore, the BIM technology had no further approach in the course and it still not so applied in Brazil.

Keywords: BIM, Mixed Usage Building, Modeling, Dimensioning.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
3. METODOLOGIA E JUSTIFICATIVA	19
3.1. Metodologia.....	19
3.2. Justificativa.....	23
3.2.1. Produtividade na Construção	23
3.2.2. Interoperabilidade	23
3.2.3. BIM no Mundo	24
3.2.4. BIM no Brasil	26
3.2.5. BIM 3D.....	28
3.2.6. Edifício Misto	29
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
4.1. Definição de BIM.....	30
4.2. Objetivos do BIM	31
4.3. Modelagem 3D e vantagens do BIM sobre o CAD.....	32
4.4. Níveis de Maturidade BIM	33
4.5. <i>Industry Foundation Classes</i> (IFC).....	35
4.6. <i>Common Data Environment</i> (CDE)	35
4.7. <i>Level Of Detail</i> (LOD) e <i>Level Of Information</i> (LOI).....	36
4.8. Projeto do edifício	38
4.8.1. Planejamento Urbano	38
4.8.2. Dimensionamento do edifício	38
5. DESENVOLVIMENTO	39
5.1. Planejamento urbano	40
5.2. Modelagem da arquitetura	46
5.3. Modelagem da estrutura	53

5.3.1. Pré-dimensionamento da estrutura.....	53
5.3.2. Cálculo das cargas	57
5.3.3. Modelo.....	66
5.4. Modelagem da fundação.....	72
5.4.1. Pré-dimensionamento.....	72
5.4.2. Detalhamento da fundação.....	74
6. RESULTADOS.....	80
6.1. Arquitetura.....	80
6.2. Estrutura.....	81
6.3. Fundação	87
7. CONCLUSÕES.....	89
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXO I.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudança no fluxo de trabalho com o BIM.....	15
Figura 2 - Relação esforço x tempo nas fases do empreendimento	16
Figura 3 - Exemplos de projetos do CYPECAD	20
Figura 4 - Exemplos de projetos do TQS	21
Figura 5 - Esquema da Metodologia	22
Figura 6 - Valor agregado por hora trabalhada em diversos setores	23
Figura 7 - Custo estimado da interoperabilidade inadequada nos EUA em 2002 (em bilhões de dólares)	24
Figura 8 - Pessoas que acreditam que BIM é o futuro da informação em projeto	24
Figura 9 - Pessoas que estão cientes da existência do BIM	25
Figura 10 - Pessoas cientes do BIM e que estão usando atualmente.....	25
Figura 11 - Futuro do BIM	26
Figura 12 - Utilização do BIM atualmente	28
Figura 13 - BIM no ciclo de vida do empreendimento	31
Figura 14 - Nível de Maturidade BIM.....	34
Figura 15 - Representação dos níveis de detalhamento	37
Figura 16 - Fases e etapas do projeto.....	37
Figura 17 - Localização do terreno escolhido.....	39
Figura 18 - Roteiro de Consulta	40
Figura 19 - Página do Geosampa	41
Figura 20 - Geosampa – perímetro e zonas (lei nº 16.402/16).....	41
Figura 21 - Geosampa– ZEPEC.....	42
Figura 22 - Geosampa – qualificação ambiental	42
Figura 23 - Simulação de quota ambiental	44
Figura 24 - Solstício de verão.....	46
Figura 25 - Planta do térreo.....	47
Figura 26 - Planta do térreo corporativo.....	48
Figura 27 - Planta do térreo residencial	48
Figura 28 - Planta do subsolo.....	49
Figura 29 - Planta do corporativo lado A	50
Figura 31 - Planta do pavimento de eventos corporativos lado A	51

Figura 32 - Planta do pavimento de eventos corporativos lado B	51
Figura 33 - Planta do pavimento tipo residencial.....	52
Figura 34 - Geometria dos elementos estruturais	53
Figura 35 - Áreas de influência.....	54
Figura 36 - Tipos de pilar	55
Figura 37 - Tipos de pilar adotados.....	56
Figura 38 - Numeração das lajes, vigas e pilares nos pavimentos tipo residenciais	58
Figura 39 - Numeração das lajes, vigas e pilares nos demais pavimentos	58
Figura 40 - Planta da cobertura.....	62
Figura 41 - Planta do pavimento tipo residencial.....	63
Figura 42 - Planta do 1º pavimento residencial	63
Figura 43 - Planta do pavimento tipo comercial	64
Figura 44 - Planta do térreo.....	64
Figura 45 - Planta do subsolo.....	65
Figura 46 - Modelo inicial da estrutura no <i>Revit</i>	66
Figura 47 - <i>Plugin</i> TQS integrado na barra de ferramentas do <i>Revit</i>	66
Figura 48 - <i>Plugin</i> TQS.....	67
Figura 49 - Exemplo de planta importada pelo TQS	67
Figura 50 - Modelo inicial da estrutura no TQS	68
Figura 51 - Dados iniciais	68
Figura 52 - Modelador estrutural no menu do TQS	69
Figura 53 - Opções de lajes, vigas e cargas, etc no modelador estrutural	69
Figura 54 - Cargas padrão do TQS para as paredes	69
Figura 55 - Cargas padrão do TQS para os ambientes.....	70
Figura 56 - Verificação da consistência do pavimento	70
Figura 57 - Processamento global.....	70
Figura 58 - Planta de Cargas e Resumo Estrutural na barra de ferramentas ..	71
Figura 59 - Perfil de solo e NSPT Avenida Paulista	72
Figura 60 - Principais tipos de fundações profundas disponíveis.....	74
Figura 61 - Disposição das estacas	79
Figura 62 - Modelo 3D da arquitetura.....	80
Figura 63 – Detalhe da entrada do edifício	81

Figura 64 - Erro no processamento global do edifício	81
Figura 65 - Processamento global sem Erro/Grave	82
Figura 66 - Planta da cobertura.....	83
Figura 67 - Planta do pavimento tipo residencial.....	83
Figura 68 - Planta do 1º pavimento residencial	84
Figura 69 - Planta do pavimento tipo comercial	84
Figura 70 - Planta do térreo.....	85
Figura 71 - Planta do subsolo.....	85
Figura 72 - Modelo da estrutura completa em 3D	86
Figura 73 - Planta da fundação no TQS.....	87
Figura 74 - Modelo 3D da fundação	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de Ocupação	43
Tabela 2 - Quota Ambiental.....	43
Tabela 3 - Dados do Plano Diretor e do edifício.....	45
Tabela 4 - Áreas adotadas para os pavimentos	45
Tabela 5 - Dimensões dos elementos estruturais	56
Tabela 6 - Cargas Permanentes no edifício	57
Tabela 7 - Cargas variáveis no edifício	57
Tabela 8 - Cargas nas lajes da cobertura	59
Tabela 9 - Cargas nas lajes do pavimento tipo residencial	59
Tabela 10 - Cargas nas lajes do 1º pavimento residencial.....	60
Tabela 11 - Cargas nas lajes do pavimento tipo comercial	60
Tabela 12 - Cargas nas lajes do térreo	61
Tabela 13 - Cargas nas lajes do subsolo	62
Tabela 14 - Parâmetros para o método de Decourt-Quaresma	76
Tabela 15 - Dados SPT do solo	77
Tabela 16 - Dimensionamento das fundações	78

LISTA DE SIGLAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AsBEA - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

BIM – *Building Information Modeling* (Modelagem da Informação na Construção)

CA – Coeficiente de Aproveitamento

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

CDE – *Common Data Environment* (Ambiente Comum de Dados)

IBOPE – Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística

IFC – *Industry Foundation Classes* (Classes de Fundação Industrial)

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização)

LOD – *Level Of Detail* (Nível de Detalhe)

LOI – *Level Of Information* (Nível de Informação)

NBR – Norma Brasileira

NBS – *National Building Specification* (Especificação Nacional da Construção)

NIST – *National Institute of Standards and Technology* (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia)

OPUS - Sistema Unificado do Processo de Obras

PDE – Plano Diretor Estratégico

PEF – Poli Estrutura e Geotecnia

QA – Quota Ambiental

SPT – *Standard Penetration Test* (Teste Padrão de Penetração)

TO – Taxa de Ocupação

ZEU – Zona de Estruturação Urbana

1. INTRODUÇÃO

O *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação na Construção (BIM) é um processo que permite criar modelos digitais que, de fato, representam o empreendimento na realidade, oferecendo melhoria no fluxo de trabalho atual (Figura 1), afirma Daniel Felix, arquiteto e coordenador do *Master BIM manager* (especialista em gerenciamento de projetos BIM).

Fonte: Zigurat Consultoria de Formação (2018) - Adaptado

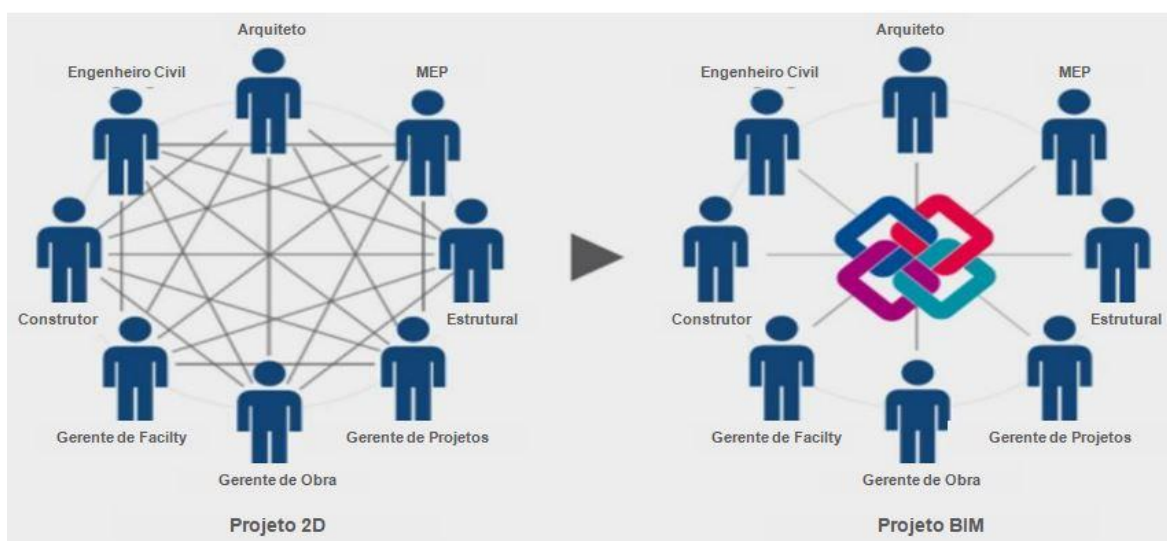


Figura 1 - Mudança no fluxo de trabalho com o BIM

Com o BIM, pode-se construir um modelo virtual onde todos trabalham de modo colaborativo e simultâneo, promovendo mais agilidade na elaboração de projetos e minimizando erros e omissões. Ou seja, oferece uma gestão multidisciplinar mais organizada e eficiente em todas as fases do projeto.

No entanto, para que isso ocorra são necessárias duas coisas:

- 1) a) As ferramentas BIM devem utilizar uma mesma linguagem: o *Industrial Foundation Classes* (IFC), formato de arquivo de dados aberto para a troca de informação em sistemas BIM (open BIM).
- b) Caso os softwares utilizados não trabalhem com IFC, é necessário que haja um *plugin* que faça a conversão dos arquivos entre os softwares.

- 2) É necessário um *Common Data Environment* (CDE) ou Ambiente Comum de Dados, que é uma plataforma digital onde os dados do projeto são colocados, facilitando o acesso e colaboração dos *stakeholders*.

A heterogeneidade de projetos e a multidisciplinaridade de áreas trabalhando na fase de concepção, geram falta de interoperabilidade no projeto. O BIM pode ser uma maneira de melhorar a colaboração e a interoperabilidade entre as diversas disciplinas envolvidas.

Como mostrado na curva de Mac Leamy (Figura 2), é muito importante utilizar mais recursos nas fases iniciais do empreendimento (projeto preliminar até executivo), pois nesse período os custos e o esforço exigidos para fazer alterações no projeto são menores.

Fonte: Curva de Mac Leamy - Curt (2004) adaptado

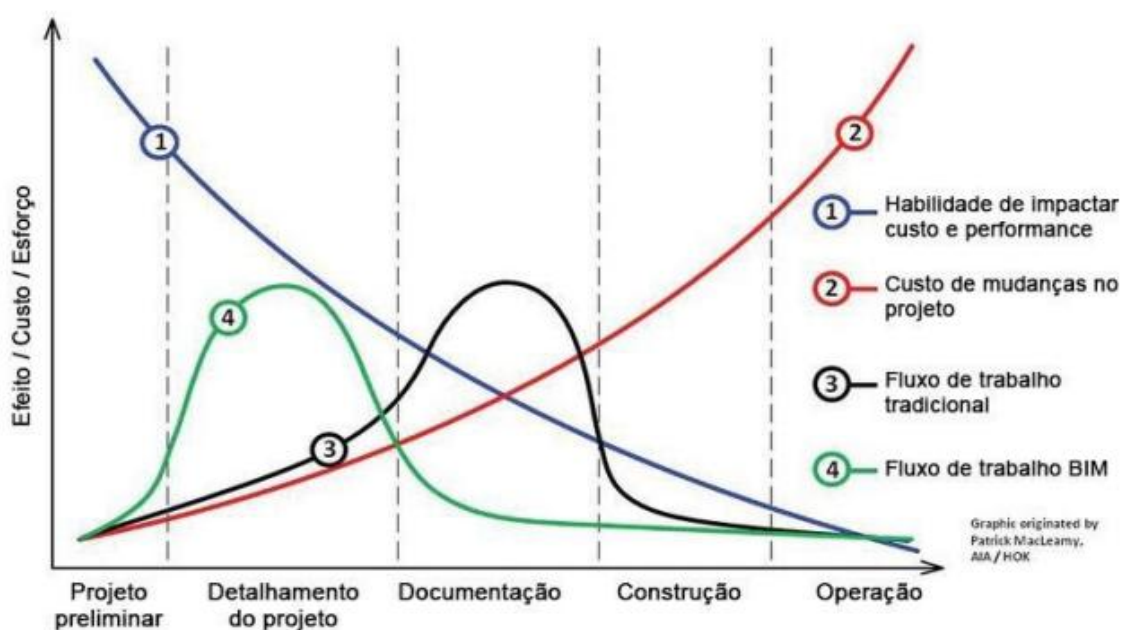


Figura 2 - Relação esforço x tempo nas fases do empreendimento

O uso de BIM, seus conceitos e softwares serão fundamentais para a realização do presente trabalho, no qual serão elaborados o desenho arquitetônico, o dimensionamento das fundações e da estrutura, bem como a modelagem 3D de um edifício de uso misto. Para isso serão utilizados conceitos de diversas disciplinas.

Num contexto real da concepção de um edifício, geralmente, esses sistemas seriam estudados por empresas distintas, podendo gerar a falta interoperabilidade e a não compatibilização de projetos logo no início do empreendimento, gerando retrabalho e tornando-o mais caro e com prazos maiores de execução.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é a aplicação de diversas disciplinas estudadas durante curso, por meio da concepção e dimensionamento de um edifício de uso misto, bem como o entendimento e a utilização de softwares com tecnologia BIM para a modelagem do mesmo.

Os objetivos específicos consistem em:

- Utilização de conceitos de planejamento urbano para adequar o projeto ao Plano Diretor da cidade de São Paulo;
- Conceber o projeto arquitetônico e dimensionar a fundação e a estrutura do edifício;
- Entender a tecnologia BIM e suas principais vantagens;
- Modelagem da arquitetura, fundação e estrutura do edifício em 3D, por meio de softwares, como o *Revit*, da *Autodesk* e o TQS.

3. METODOLOGIA E JUSTIFICATIVA

3.1. Metodologia

O início do trabalho se deu com um estudo preliminar do que é o BIM, suas principais características e aplicações, através de *websites* e vídeos encontrados na internet.

Em seguida, buscou-se o entendimento inicial das ferramentas do software *Revit* 2018, da *Autodesk*, utilizando tutoriais também retirados da internet.

Com uma ideia inicial sobre o BIM e o *Revit* e com o devido apoio do professor orientador, buscou-se um maior detalhamento e especificação do tema do trabalho, bem como a elaboração de seus objetivos.

Com a definição do tema e dos objetivos, foi necessário aprofundar mais os conhecimentos sobre BIM, elaborando uma revisão bibliográfica mais completa e fazendo um curso online introdutório de BIM fornecido pela empresa *Zigurat*. Em paralelo, para aprofundar os conhecimentos de *Revit*, iniciou-se o desenho preliminar dos modelos de arquitetura utilizando o software.

Posteriormente, se deu início o estudo do empreendimento em si, com a escolha do terreno, estudo de planejamento urbano e a escolha inicial dos possíveis tipos de fundação que serão utilizadas no edifício.

Para dar prosseguimento ao trabalho foi necessária a definição do projeto arquitetônico básico definitivo e a elaboração de seu modelo no *Revit*. Esse modelo é composto pela estrutura (posicionamento de lajes, vigas e pilares), vedação (paredes), esquadrias, escadas de incêndio e elevadores.

Ao fim dessa etapa era necessária a escolha de um software para modelar a estrutura do edifício.

Por definição, os *softwares* BIM trabalham com informações associadas ao modelo em 3D do edifício, como uma base de dados. E, a princípio, o arquivo feito em uma plataforma não é compatível com outra, pois a maioria dos

programas utiliza formatos próprios de armazenagem de informação. Dessa forma, a escolha da ferramenta adequada se torna complexa.

Como o *software* utilizado para o modelo arquitetônico é o *Autodesk Revit*, o *software* utilizado para modelar a estrutura deve ser compatível com o mesmo.

Para a escolha de uma ferramenta de modelagem de estruturas foi feita a análise inicial de diversos softwares e, dentre eles, chegamos a duas opções que permitem compatibilização com o *Revit*: o CYPECAD e o TQS.

O CYPECAD é um programa para projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço, que engloba as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento final dos elementos.

Os recursos para detalhamento e dimensionamento estão de acordo com as normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118:2014), fundações (NBR 6122), carregamentos (NBR 6120), barras e fios de aço (NBR 7480), vento (NBR 6123), ações e combinações (NBR 8681).

Fonte: <http://www.multipius.com/software/cypecad/>

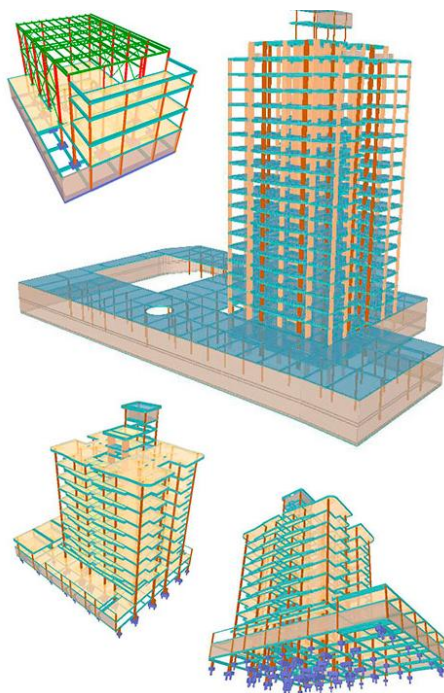


Figura 3 - Exemplos de projetos do CYPECAD

O TQS, por sua vez, engloba todas as etapas de um projeto estrutural, porém não cita nada quanto a dimensionamento de fundações, diferentemente do CYPECAD.

Fonte: <http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/sobre-o-sistema-cadtqs>

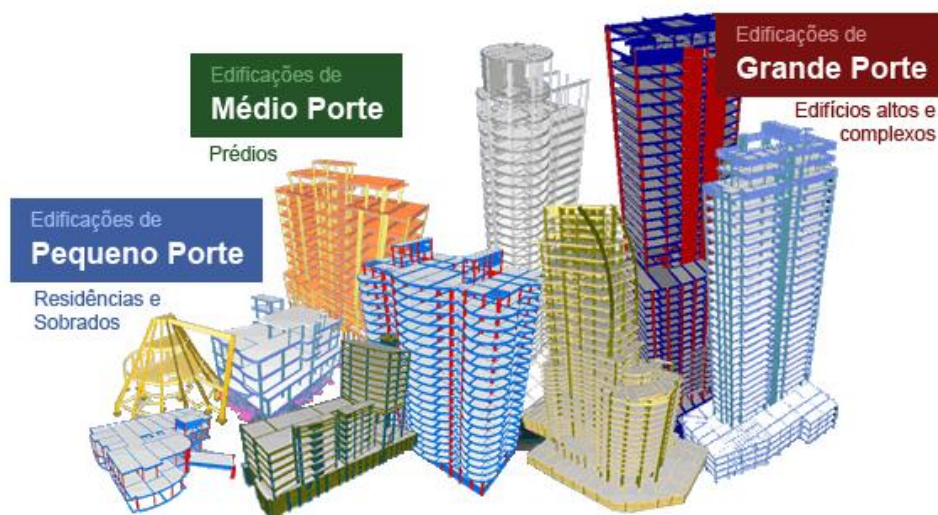


Figura 4 - Exemplos de projetos do TQS

O programa escolhido pelo grupo foi o TQS, pois o mesmo permite trabalhar com modelos IFC (compatível com o *Revit*) e possui *plugins* específicos que permitem a importação e exportação para o *Revit*, além de possuir diversos materiais gratuitos que ensinam a utilizar a ferramenta. A licença para a utilização do *software* foi disponibilizada pelo Professor Januário Pellegrino Neto, do departamento do PEF, da Engenharia Civil da Escola Politécnica

Com o modelo arquitetônico pronto e o *software* escolhido, foram feitos os cálculos das cargas que atuariam no edifício e a construção do modelo estrutural no TQS.

Em seguida, foram escolhidas e dimensionadas as fundações, utilizando o pré-dimensionamento feito e as cargas que atuarão no edifício.

Por fim, com todos os modelos e dimensionamentos concluídos foi feita a compatibilização no *Autodesk Revit*, e extraído do modelo final os devidos resultados e conclusões.

O esquema da metodologia está representado na Figura 5 abaixo.

Fonte: Autor

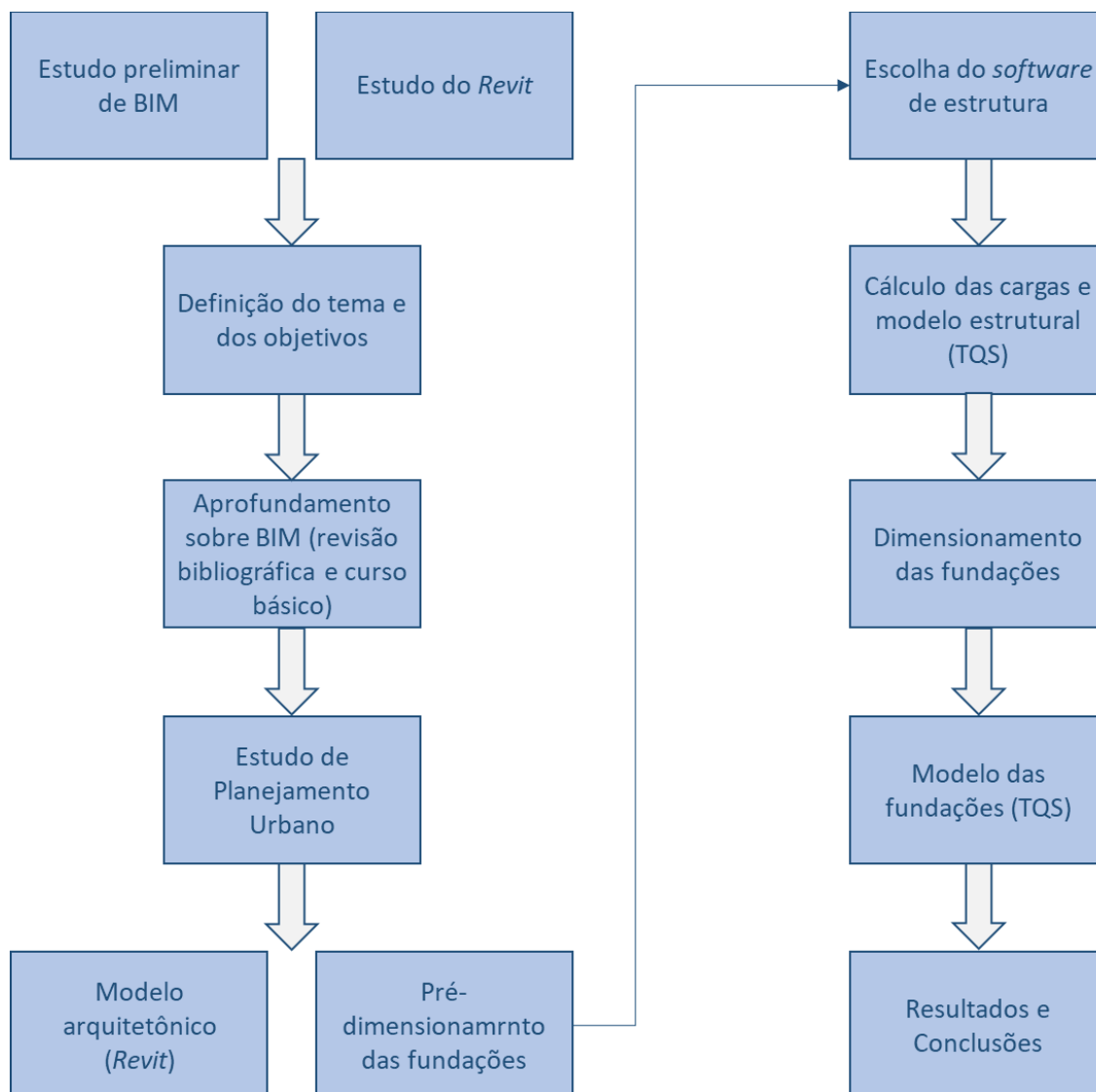


Figura 5 - Esquema da Metodologia

3.2. Justificativa

3.2.1. Produtividade na Construção

A construção civil, em geral, apresenta um histórico de baixo crescimento na produtividade ao longo das últimas décadas. Isso ocorre, pois, os métodos utilizados nas construções evoluíram pouco, bem como a industrialização e automatização dos processos, como mostra a figura abaixo.

Fonte: McKinsey (2014) - Adaptado

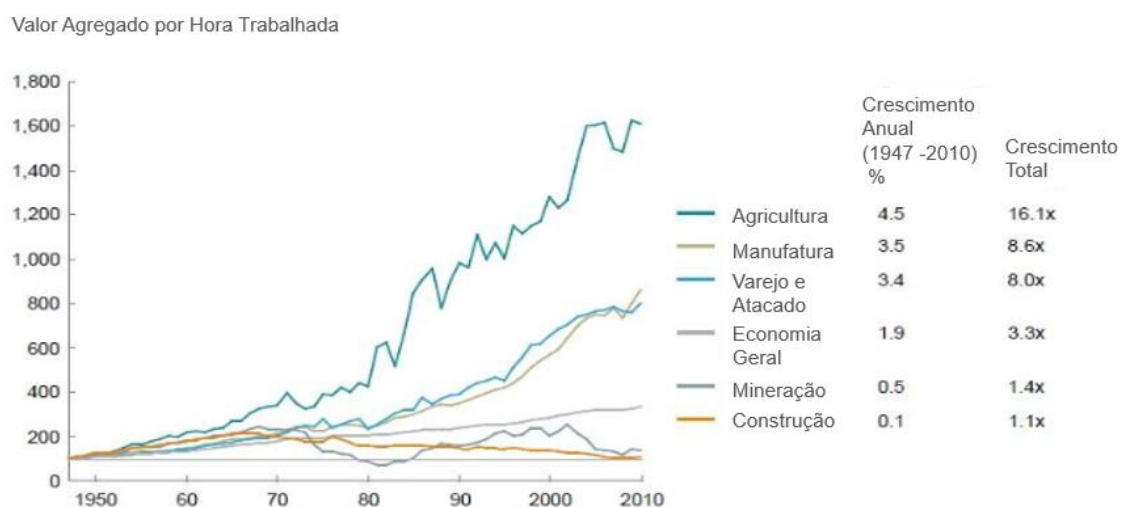


Figura 6 - Valor agregado por hora trabalhada em diversos setores

Por conta disso, percebe-se grande oportunidade de melhoria no setor, tal que o investimento em novas tecnologias e soluções mais inovadoras são necessárias, visando melhorar a produtividade e aumentar o valor agregado dos processos, desde a concepção inicial do projeto até sua construção e operação.

3.2.2. Interoperabilidade

Outro problema encontrado na construção é a falta de interoperabilidade e compatibilização de projetos, devido a multidisciplinaridade de profissionais trabalhando em um mesmo projeto. Uma pesquisa feita pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) estima que, em 2002, a

interoperabilidade inadequada gerou um custo de 15,8 bilhões de dólares nos Estados Unidos.

Fonte: NIST (2002) - Adaptado

Grupo	Fase de Planejamento	Fase de Construção	Fase de Operação	Total
Arquitetos e Engenheiros	1,007.2	147.0	15.7	1,169.8
Empreiteiros em Geral	485.9	1,265.3	50.4	1,801.6
Especialistas, Autônomos e Fornecedores	442.4	1,762.2	—	2,204.6
Operários	722.8	898.0	9,027.2	10,648.0
Total	2,658.3	4,072.4	9,093.3	15,824.0

Figura 7 - Custo estimado da interoperabilidade inadequada nos EUA em 2002 (em bilhões de dólares)

O BIM pode colaborar com a melhoria da interoperabilidade, devido ao seu formato padronizado de arquivo (IFC) e seu modo colaborativo de trabalho, utilizando os CDE (*Common Environment Data*).

3.2.3. BIM no Mundo

Por fim, outra motivação para o estudo do tema é que o BIM, apesar de não ser tão difundido no Brasil e no mundo, apresenta grande tendência de se tornar o fluxo padrão de trabalho nos próximos anos. Abaixo temos alguns dados do relatório internacional da *National Building Specification* (NBS), de 2016, que corroboram com isso.

Fonte: Relatório Internacional da NBS (2016) - Adaptado

BIM é o futuro da informação em projeto

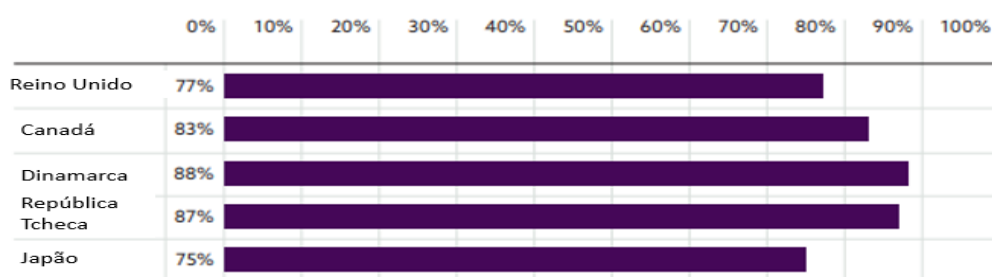


Figura 8 - Pessoas que acreditam que BIM é o futuro da informação em projeto

Fonte: Relatório Internacional da NBS (2016) - Adaptado

Consciência

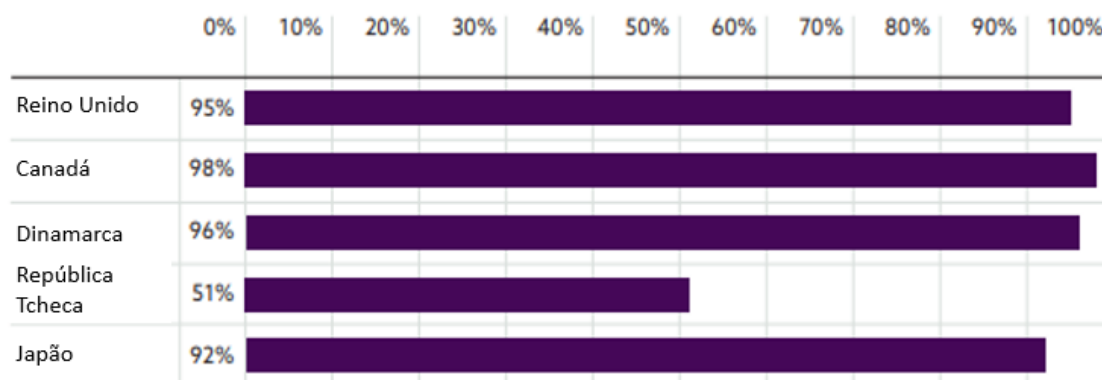


Figura 9 - Pessoas que estão cientes da existência do BIM

Fonte: Relatório Internacional da NBS (2016) - Adaptado

Usuários de BIM atualmente

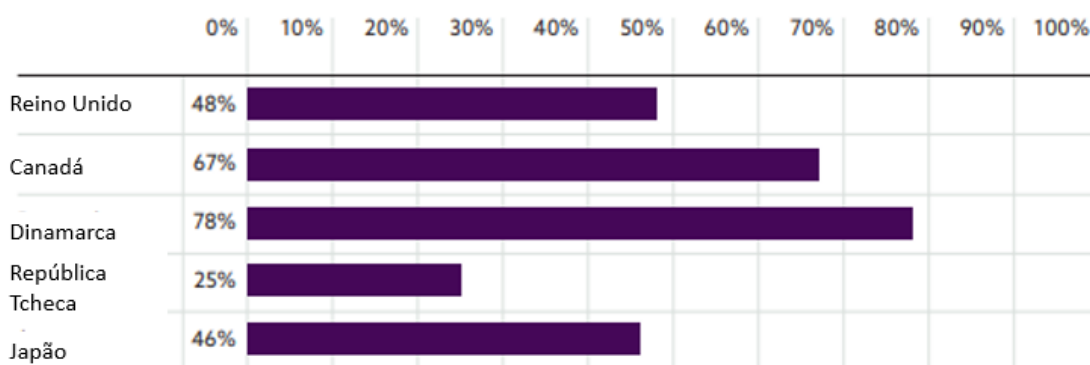


Figura 10 - Pessoas cientes do BIM e que estão usando atualmente

Fonte: Relatório Internacional da NBS (2016) - Adaptado

Futuro do BIM

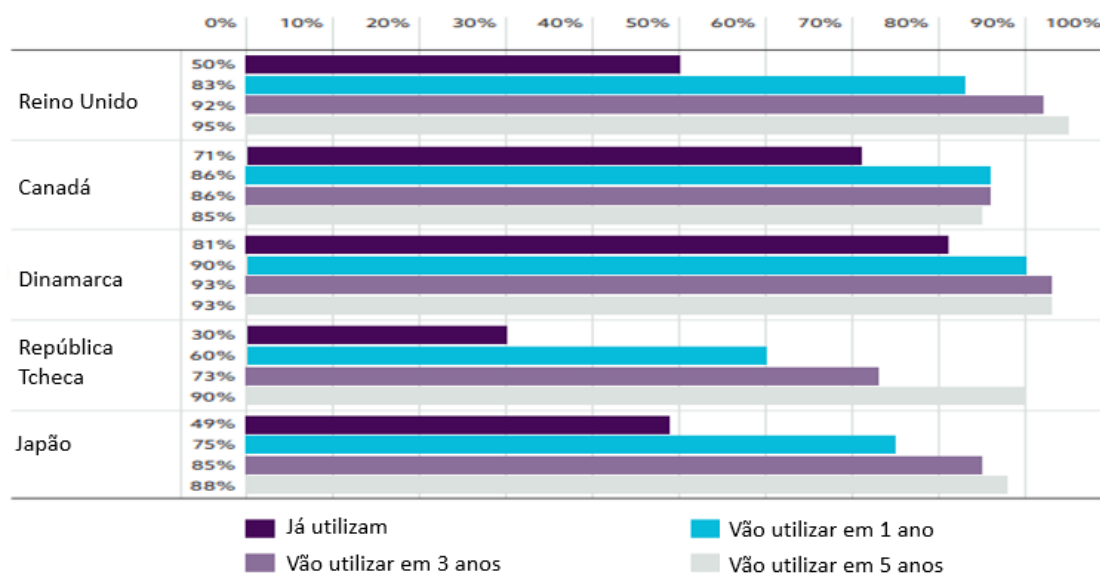


Figura 11 - Futuro do BIM

3.2.4. BIM no Brasil

No Brasil a implantação de BIM está em estágio intermediário, entre nível 1 e 2 de maturidade, segundo as definições de Succar (2008). Ou seja, o uso de modelos 2D ou 3D (puramente geométrico) estão começando a ser substituídos por modelo tridimensionais paramétricos. No entanto, seus usos são, na maior parte dos casos em projetos de arquitetura.

Barison (2015) mostra em sua pesquisa que 81% das empresas utilizam BIM para o desenvolvimento de modelos de arquitetura, enquanto apenas 50% para levantamento de quantitativos e orçamentos, 31% para desenvolver modelos estruturais e apenas 25% para análises estruturais e energéticas ou para o planejamento da obra.

Um dos maiores desafios da implementação no Brasil é a falta de incentivo e normatização do BIM. Alguns casos da criação de manuais, guias ou normas são:

- Criação do OPUS – Sistema Unificado do Processo de Obras, criado pelo Exército brasileiro em 2007 para planejar e controlar suas obras;

- Criação da ABNT NBR 15965 – Sistema de classificação da informação da construção Parte 1: Terminologia e estrutura, em 2011 e da ABNT NBR 15965 – Sistema de classificação da informação da construção Parte 2: Características dos objetos da construção, em 2012;
- Caderno de Apresentação de Projetos BIM de Santa Catarina, elaborado em 2014;
- Guia AsBEA de Boas Práticas em BIM de 2014;
- Coletânea de Guias implantação do BIM para Construtoras e Incorporadoras de 2016, da CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção;
- Coletânea de Guias BIM ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial de 2017.

Uma medida que deve incentivar o movimento da implantação e utilização de BIM no Brasil foi a instituição do Decreto de Lei nº9377/18 sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling*, em maio de 2018. Neste Decreto são citados os seguintes objetivos do BIM no Brasil:

- 1) Difundir o BIM e seus benefícios;
- 2) Coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM;
- 3) Criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM;
- 4) Estimular a capacitação em BIM;
- 5) Propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM;
- 6) Desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM;
- 7) Desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM;
- 8) Estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM;
- 9) Incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM.

3.2.5. BIM 3D

A utilização de tecnologia BIM é muito ampla e sua utilização vai além de uma modelagem 3D. Seus modelos são parametrizados e conseguem detectar conflitos (*clash detection*), representado, portanto, o empreendimento de maneira mais realista.

Além da modelagem parametrizada, o BIM possibilita atrelar a maquete virtual ao cronograma da obra, que é conhecido como BIM 4D; agregar custos ao modelo tridimensional, gerando orçamentos automáticos e precisos – BIM 5D; permite o gerenciamento de *facilities* durante o ciclo de vida do empreendimento – BIM 6D.

No entanto, como a utilização do BIM 4D, 5D e 6D ainda é pouco difundida, e possui poucas bibliografias disponíveis, escolheu-se trabalhar apenas com a modelagem 3D parametrizada.

Fonte: Relatório Internacional da NBS (2016) - Adaptado

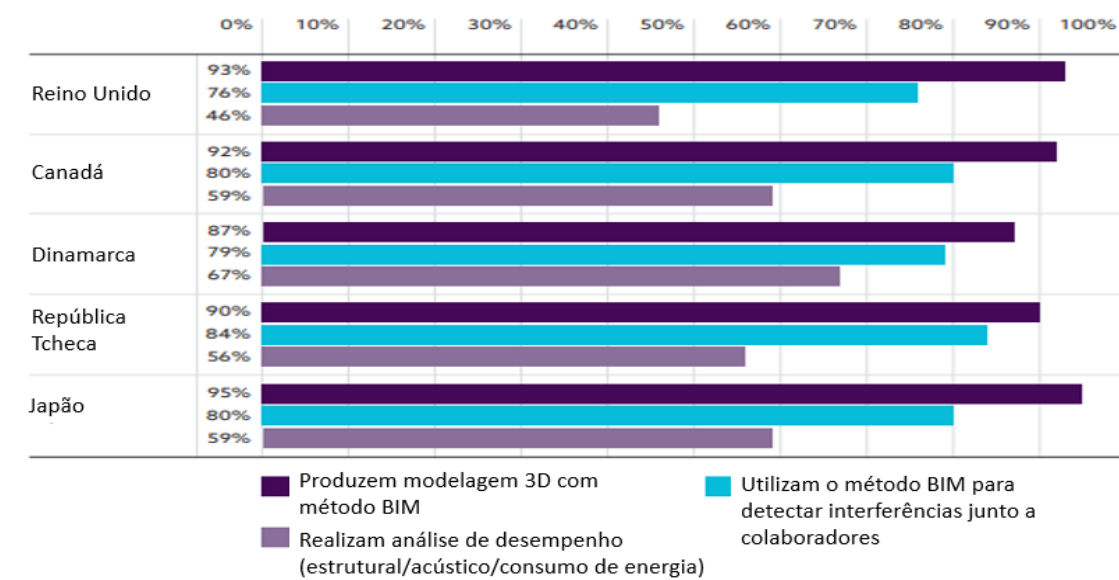


Figura 12 - Utilização do BIM atualmente

Como BIM não é muito explorado durante a graduação, o trabalho restringe-se às referências bibliográficas externas, que, em sua maioria, são para projetos de edifício, portanto o grupo decidiu que esse seria o foco do trabalho. Logo, o projeto será a modelagem 3D de um edifício de uso misto.

3.2.6. Edifício Misto

Uma pesquisa do IBOPE de 2016 estima que o tempo médio que o paulistano gasta se deslocando diariamente para realizar suas principais atividades é de 2 horas e 58 minutos diariamente, totalizando uma perda de 45 dias no ano (12,3% do tempo) apenas com deslocamentos.

Por conta disso, o principal objetivo do novo Plano Diretor de São Paulo, elaborado em 2014, é:

‘ Humanizar e reequilibrar São Paulo, aproximando a moradia do emprego. ’

Tendo em vista a conjuntura atual, foi feita a decisão de estudar um edifício de tipo misto, dando ao projeto maior multidisciplinaridade e envolvimento real com os problemas da cidade.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Definição de BIM

Segundo a *National Building Specification* (NBS), o *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção (BIM) é o processo de criar e gerenciar a informação de um projeto de construção em todo seu ciclo de vida. Um dos principais produtos do BIM é a modelagem da informação com descrição digital de todos os ativos do empreendimento, tal que este modelo se baseia em informações geradas de forma colaborativa e atualizada nas principais etapas do projeto. E a criação de um modelo digital BIM permite que aqueles que interagem com o edifício otimizem suas ações, resultando em um maior valor em toda a vida útil do ativo.

Podemos definir também a sigla BIM integralmente da seguinte forma:

Building (construção): referente a todo o ciclo de vida do empreendimento. No BIM é possível controlar as diferentes fases de um projeto, tais como o estudo de zoneamento, concepção, projeto, construção, operação, etc.

Information (informação): se entende por toda a informação útil gerada durante todo o ciclo de vida da construção, como plantas, cortes, detalhes, cálculos, quantitativos, simulações energéticas, contratos, orçamentos, cronogramas de projeto e obra, acabamentos, entre outros.

Modeling (modelagem): construção virtual onde todas as disciplinas contratadas desenvolvem seus projetos, sejam eles de topografia, arquitetura, estrutura, fundação, instalações ou interiores.

Fonte: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC – Guia 01 (2017)



Figura 13 - BIM no ciclo de vida do empreendimento

4.2. Objetivos do BIM

Segundo o Guia de usuários BIM da *BuildingSMART* (2014) os principais objetivos vinculados ao uso do BIM são:

- Dar suporte às decisões de investimento, comparando a funcionalidade, o alcance e os custos das soluções;
- Subsidiar critérios ambientais, realizando análises comparativas das necessidades energética, para assim definir soluções e objetivos para o acompanhamento da operação do edifício e seus utilizadores;
- Visualização do *design* do empreendimento e estudos de viabilidade da construção;
- Garantia da qualidade e troca de informações para tornar o processo mais eficiente;
- Uso de informações do projeto durante todo seu ciclo de vida.

4.3. Modelagem 3D e vantagens do BIM sobre o CAD

Uma das principais vantagens dos *softwares* de modelagem BIM é a possibilidade de trabalhar diretamente com o desenho tridimensional, ou seja, a modelagem com a representação lógica daquilo que será construído.

As ferramentas para modelagem de arquitetura BIM mais utilizadas no mercado são:

- *Autodesk Revit*;
- *Graphisoft Archicad*;
- *Bentley*;
- *Nemetshek Allplan*.

Com as ferramentas BIM o processo de obtenção de um modelo 3D e de todos os desenhos de projeto (plantas, elevações e cortes) passa a ser diferente. Tradicionalmente, os desenhos são elaborados em planos bidimensionais que representavam sistemas e elementos construtivos, tal que o conjunto destes sistemas e elementos formam a planta do projeto.

Nos modelos BIM o desenvolvimento de projeto é mais ágil, pois ao fazer alterações no modelo, todos os desenhos são atualizados automaticamente, sem a necessidade de mudar cada um deles individualmente.

O modelo tridimensional, desde o início do projeto, também traz as seguintes vantagens para seus *stakeholders*:

- Maior capacidade de decisão, pois o modelo 3D permite melhor visualização, evitando mudanças durante todo projeto e obra;
- Economia de tempo de desenho, pois não é necessário interpretar cada sistema construtivo mediante um composto de linhas, mas sim, desenhar todos os sistemas construtivos simultaneamente em um único modelo parametrizado;
- O projeto se torna mais intuitivo e possibilita a detecção e antecipação dos possíveis erros (*clash detection*);
- Criação de cronograma e sequência de execução (BIM 4D);

- Estimativas de custos, quantitativos e orçamentos (BIM 5D), que se atualizam automaticamente conforme o modelo é alterado;
- Gerenciamento de *facilities* através dos modelos BIM nas fases de operação e manutenção (BIM 6D);
- Diminuição da falta de interoperabilidade, pois o modelo é colaborativo e os softwares de BIM permitem a utilização de um formato padrão (IFC).

O “I” de informação do BIM é o ponto central do processo. Seus modelos possibilitam a utilização de elementos construtivos reais, ou seja, com diversas informações parametrizadas, ao contrário das linhas ou blocos do CAD. A parametrização deixa o projeto mais completo, pois os sistemas já vêm definidos com suas camadas, materiais, informações térmicas, custos, etc, sendo elas editáveis.

4.4. Níveis de Maturidade BIM

O BIM pode ser entendido de diversas maneiras, de acordo com diferentes visões. Pode ser visto como uma modelagem parametrizada, como possibilidade de criar modelos universais (open BIM), por exemplo. Desta forma, é preciso estabelecer uma definição comum em termos de nível de maturidade BIM (KHOSROWSHAHI; ARAYICI, 2012).

Succar (2008) define os níveis de maturidade BIM em três componentes que podem auxiliar na classificação da implementação BIM (Figura 14):

Estágio 1 – Modelagem 3D baseada em objetos;

Estágio 2 – Modelo baseado em colaboração;

Estágio 3 – Integração baseada em rede.

Para Khosrowshahi e Arayici (2012), os estágios são definidos da seguinte forma:

- a) Estágio pré-BIM: prática tradicional da construção, na qual há barreiras e ineficiências relevantes. Muitas informações de projeto estão em papel, como desenhos 2D e documentos escritos. Com a grande quantidade de

documentos compartilhados em um projeto típico, ocorrem diversos erros humanos e problemas de controle e uso das versões corretas de projeto.

- b) Estágio 1: migração do 2D para o 3D, tal que a modelagem e documentação passam a ser baseadas em objetos. Os modelos BIM são feitos de elementos arquitetônicos reais, representados corretamente em todas as vistas. O modelo ainda é uni-disciplinar e a maioria os documentos derivados são em CAD (2D).
- c) Estágio 2: progresso da modelagem para a colaboração e interoperabilidade. O *design* e a gestão do edifício se tornam um processo complexo, que requer comunicação eficiente e colaboração entre todos os membros da equipe. Para isso, são necessários comunicação de dados integrada e compartilhamento de informações entre os *stakeholders*.
- d) Estágio 3: esse estágio é a transição da colaboração para a integração, o que reflete a real filosofia BIM. O ciclo de vida individualizado do projeto se dissolve e os integrantes das equipes interagem em tempo real, gerando benefícios no fluxo de trabalho. Modelos se tornam multidisciplinares, permitindo análises complexas em fases iniciais do projeto e da construção. Nesse estágio, os documentos derivados dos modelos vão além de propriedades dos objetos e passam a incluir inteligência de negócio, princípios de construção *lean*, políticas sustentáveis e custos para todo ciclo de vida do projeto.

Fonte: Caderno de Apresentação de Projetos em BIM de Santa Catarina - 2014

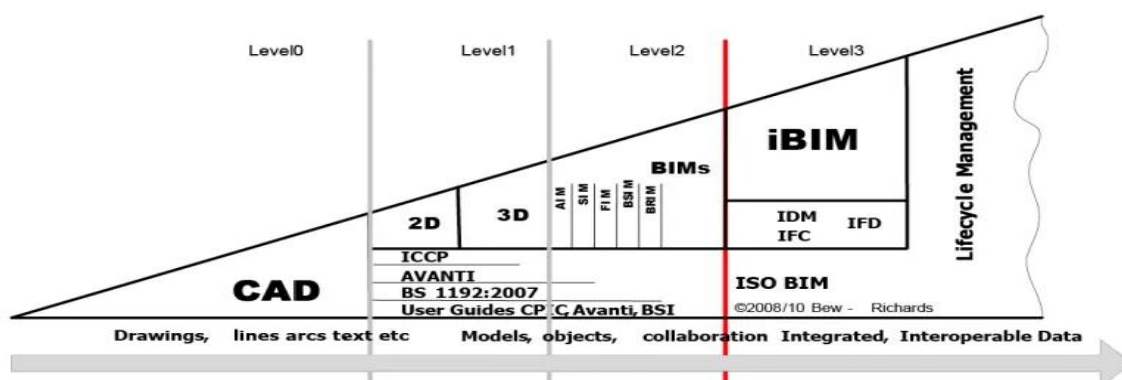


Figura 14 - Nível de Maturidade BIM

4.5. Industry Foundation Classes (IFC)

No estágio 2 de maturidade do BIM, os modelos ainda são uni-disciplinares, e, geralmente, elaborados separadamente em *softwares* diferentes que utilizam formatos de dados distintos.

No entanto, para que a modelagem BIM alcance o estágio 3 é necessário que os modelos vindos das diversas disciplinas do projeto sejam compatíveis, ou seja, utilizem uma mesma linguagem.

Como descrito no Caderno de Apresentação de Projetos BIM, de Santa Catarina, (2014) o *Industrial Foundation Classes* (IFC) é um formato de arquivo de dados neutro, independente e aberto para a troca de informação entre aplicativos desenvolvidos por diferentes fornecedores de software. Portanto, é o modo mais adequado para abrir e examinar os dados sem necessitar dos softwares nativos ou de seus *plugins*.

O IFC está registrado pela *International Organization for Standardization* (ISO) como ISO-PAS-16739 (2005) e está em processo de se tornar uma norma oficial.

Seu desenvolvimento teve início em 1997, quando foi lançada a versão 1.0. Hoje encontra-se na versão IFC4, lançada em 2013. O seu desenvolvimento atual está sob a responsabilidade do *Model Support Group*, coordenado pela *BuildingSMART*.

4.6. Common Data Environment (CDE)

O *Common Data Environment* (CDE) ou ambiente comum de dados, de acordo com a NBS (*National Building Specification*), é uma plataforma central, na qual as informações do projeto são armazenadas. O conteúdo do CDE não se limita aos arquivos criados em ambiente BIM e, portanto, deve incluir também os documentos do projeto. Ao utilizar uma central de informação, a colaboração melhora, os erros são reduzidos e a duplicação é evitada.

O objetivo de um CDE é melhorar a criação, compartilhamento e emissão de informações que sustentam o projeto. Pois a ideia de colaboração para impulsionar melhores resultados e eficiência é o centro da implementação BIM.

4.7. *Level Of Detail (LOD) e Level Of Information (LOI)*

Segundo o Guia de Boas Práticas em BIM da AsBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura), de 2015, no início do desenvolvimento do projeto em BIM é importante que os requisitos do projeto estejam claros e acordados entre as partes envolvidas, pois sem essa definição, torna-se muito subjetivo o entendimento do que deve ser incluído no modelo.

Existem requisitos característicos do processo BIM que incluem a definição do *Level Of Detail* (LOD) ou do nível de desenvolvimento do modelo e do *Level Of Information* (LOI) ou nível de detalhamento das informações.

O LOD e o LOI são importantes, uma vez que os níveis de detalhamento necessários podem variar para cada tipo de projeto ou contrato. Por exemplo, modelos desenvolvidos para a execução do projeto podem requerer um nível de detalhamento diferente de um modelo que será utilizado para extração de quantitativos e orçamentação.

Como descrito no próprio Guia de Boas Práticas em BIM da AsBEA, são cinco os níveis de detalhamento de um objeto, representados na Figura 15.

LOD 100 - o elemento pode ser representado graficamente no modelo com um símbolo. As informações relativas ao elemento podem ser derivadas de outros elementos modelados.

LOD 200 - o elemento deve ser graficamente representado no modelo como um objeto genérico, com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação aproximados. As informações não gráficas do elemento devem constar nessa fase.

LOD 300 - o elemento deve ser representado graficamente no modelo como um objeto específico, com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação definidos. As informações não gráficas do elemento devem constar nessa fase.

LOD 400 - o elemento deve ser representado graficamente no modelo como um objeto específico, com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação definidos, bem como suas interfaces com os demais elementos do edifício. As informações não gráficas do elemento devem constar nessa fase.

LOD 500 - o elemento deve ser representado graficamente no modelo como um objeto específico, com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação definidos, com informações relativas ao detalhamento, à fabricação, montagem e instalação. As informações não gráficas do elemento podem constar nessa fase.

Fonte: <http://www.bimbrasil.eng.br>

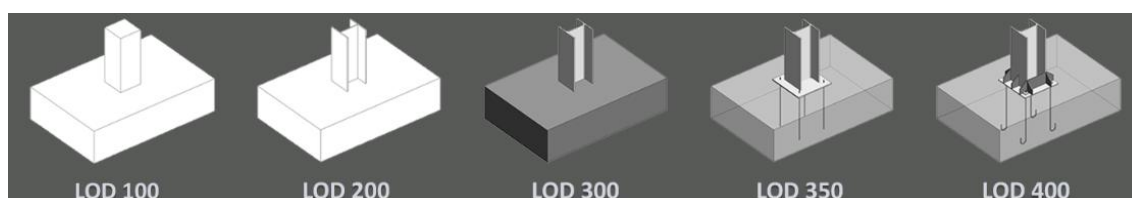


Figura 15 - Representação dos níveis de detalhamento

As fases de um projeto são entendidas como um fluxo em um processo, logo é necessário organizar as fases e etapas de desenvolvimento.

Nessas fases e etapas ocorre o levantamento de um conjunto de informações jurídicas, legais, técnicas para a definição ou das restrições e exigências, de acordo com os objetos do contrato. Essas fases estão representadas na figura.

Fonte: Caderno de Apresentação de Projetos em BIM, Santa Catarina (2014)

NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO	ND 0			ND 100	ND 200	ND 300	ND 350	ND 400	ND 500		
ETAPAS	Levantamento de Dados (LV)	Programa de Necessidades (PN)	Estudo de Viabilidade (EV)	Estudo Preliminar (EP)	Anteprojeto (AP)	Projeto Legal (PL)	Projeto Básico (PB)	Projeto Executivo (PE)	Licitação da Obra	Contratação da Obra	Obra Concluída
FASES	Concepção do Produto			Definição do Produto	Identificação e Solução de Interfaces			Projeto de Detalhamento de Especialidades	Pós-Entrega do Projeto		

Figura 16 - Fases e etapas do projeto

4.8. Projeto do edifício

4.8.1. Planejamento Urbano

O conceito de planejamento urbano consiste no processo técnico e político dedicado ao controle do uso e ocupação do solo e desenho do ambiente urbano, infraestrutura e recursos que garantam o desenvolvimento ordenado das comunidades.

O planejamento urbano é feito por órgãos públicos, privados e com a participação social, entre seus diversos instrumentos temos o Plano Diretor Estratégico (PDE).

Segundo o PDE (2014, p.1):

‘ O Plano Diretor Estratégico é o instrumento básico da Política de Desenvolvimento Urbano do Município de São Paulo, determinante para todos os agentes públicos e privados que atuam em seu território. ’

O PDE é de extrema importância e subsidia na escolha do terreno e no dimensionamento da área a ser construída para o edifício.

4.8.2. Dimensionamento do edifício

O dimensionamento do edifício exige conhecimentos de fundações e estruturas e de concreto. As bibliografias utilizadas para isso estão relacionadas abaixo.

Para as fundações os principais conceitos e dimensionamentos serão baseados na seguinte bibliografia:

- Hachich, W. et al (editores) - Engenharia Geotécnica e de Fundações: Teoria e Prática. Pini, 1996;

Para as estruturas de concreto a bibliografia utilizada será:

- Notas de aula de PEF2303 Estruturas de Concreto I e PEF2304 Estruturas de Concreto II;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR-6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações, 1980.

5. DESENVOLVIMENTO

O projeto se caracteriza na construção de um edifício de uso misto, num terreno situado em uma das avenidas mais populares da cidade de São Paulo. Seu endereço aproximado é Avenida Paulista, 1405 (Figura 17). O terreno tem 40 m x 60 m. O local é próximo à estação Trianon-Masp do metrô, o local oferece boas condições tanto para moradia, pois está próximo a shoppings, restaurantes, parque Trianon, museu, supermercados, escolas, ciclovias e transporte coletivo, quanto para comércio por se tratar de um dos centros econômicos do país, oferecendo grande infraestrutura para edifícios comerciais. Dessa forma, existe viabilidade demanda para construir um edifício de uso misto na região.

O projeto consiste no estudo de planejamento urbano, concepção da arquitetura, estrutura e fundação do edifício. Será feito com um nível de anteprojeto e, portanto, com LOD 200. Neste trabalho serão apresentadas as seguintes informações sobre o projeto:

- 1) Cálculo das áreas possíveis para construção e definição do número de pavimentos do edifício;
- 2) Concepção do modelo arquitetônico e plantas dos pavimentos;
- 3) Pré-dimensionamento, modelo e plantas estruturais, bem como memória de cálculo e análise básica de estabilidade;
- 4) Dimensionamento das fundações à compressão e modelo estrutural.

Fonte: Google Maps (2018)

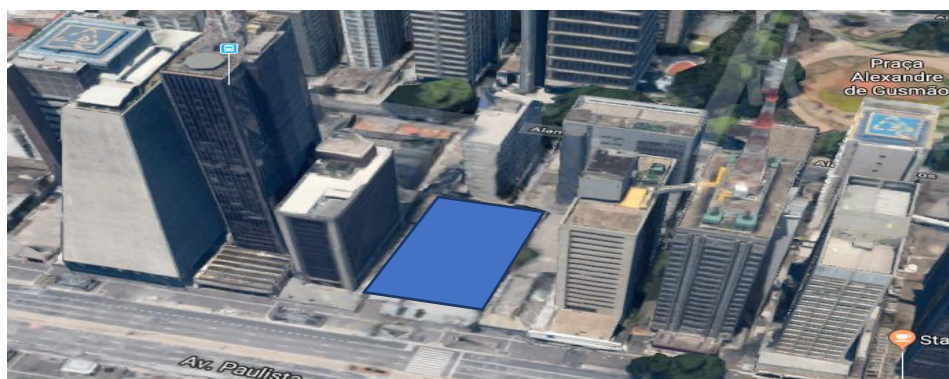


Figura 17 - Localização do terreno escolhido

5.1. Planejamento urbano

Após a escolha de um terreno adequado para o empreendimento, foi feito o estudo de uso e ocupação do solo do local, de acordo com a lei nº 16.402, de 22 de março de 2016. A figura abaixo mostra um roteiro oferecido pela prefeitura da cidade de São Paulo, baseado no PDE, para obter os parâmetros necessários para esse estudo. O roteiro pode ser encontrado no seguinte endereço:

<http://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/plano-diretor/>

Fonte: Gestão Urbana (2016)

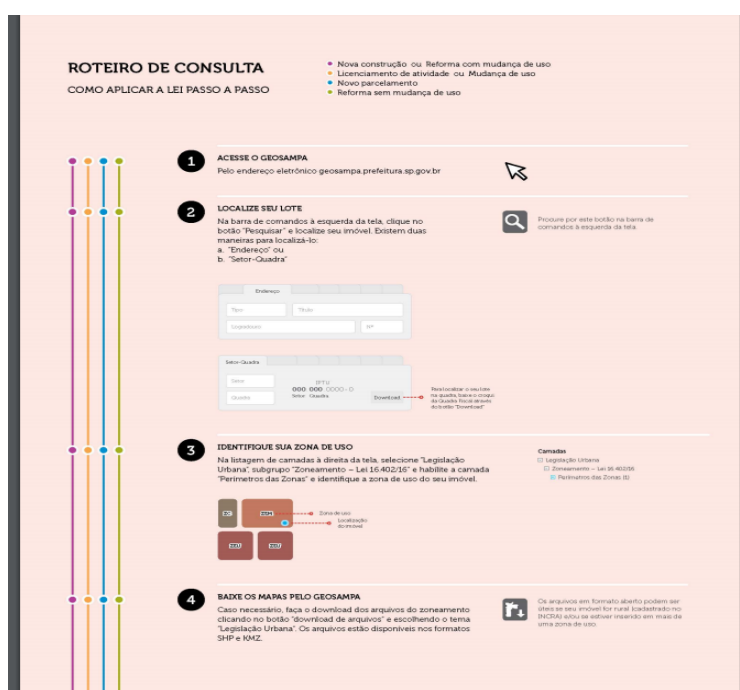


Figura 18 - Roteiro de Consulta

Inicialmente, acessa-se o Geosampa (<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/>), site onde é possível saber o zoneamento de cada lote da cidade. O lote pode ser encontrado de várias formas como endereço, setor, quadra, IPTU, prefeitura regional ou distrito.

Fonte: Geosampa (2018)

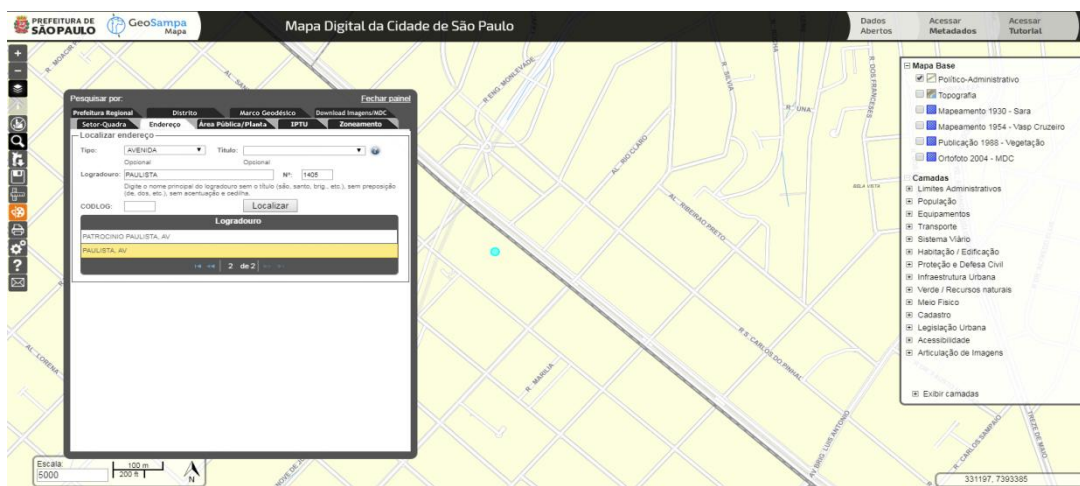


Figura 19 - Página do Geosampa

No painel à direita é possível obter vários tipos de camada inclusive a de zoneamento. Identificando que o lote está na zona eixo de estruturação da transformação urbana (ZEU).

Fonte: Geosampa (2018)

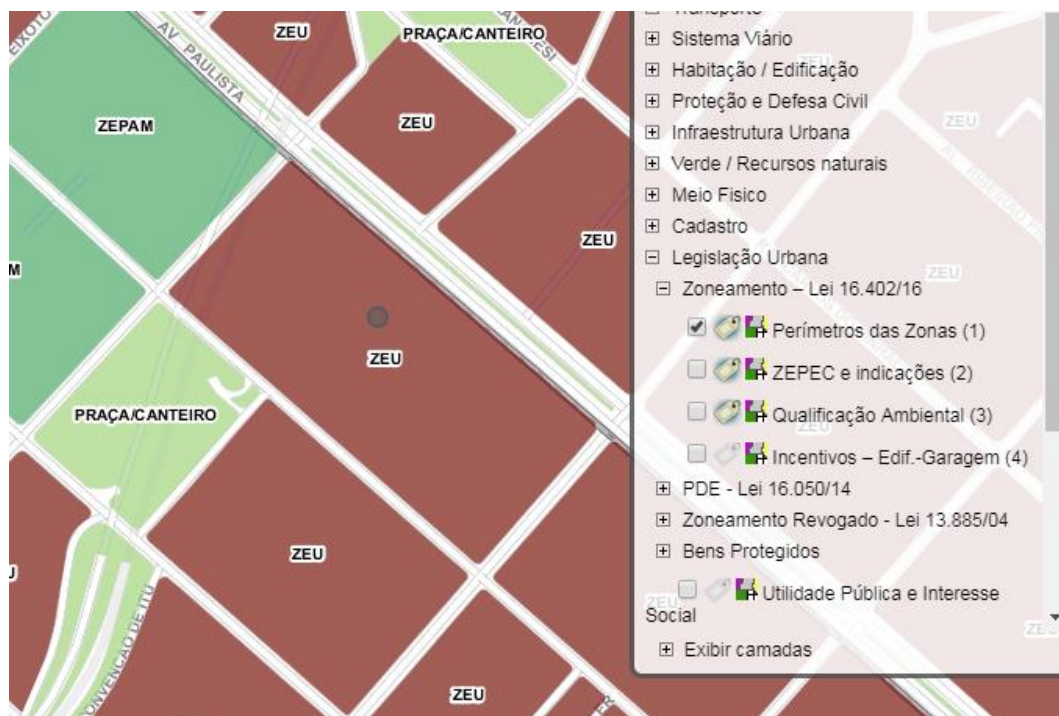


Figura 20 - Geosampa – perímetro e zonas (lei nº 16.402/16)

A ZEU são porções do território onde pretendem promover usos residenciais e não residenciais com densidades demográfica e construtiva altas, promovendo qualificação paisagística dos espaços públicos de modo articulado ao sistema de transporte público coletivo, de acordo com a Gestão Urbana SP (2018).

Após identificar a zona é necessário verificar se o imóvel está em uma zona de preservação cultural (ZEPEC), o perímetro de qualificação ambiental e o incentivo para edifício garagem. Pelo Geosampa, identificamos que o perímetro de é o PA 5 e não se trata de uma ZEPEC nem há incentivos para garagem.

Fonte: Geosampa (2018)

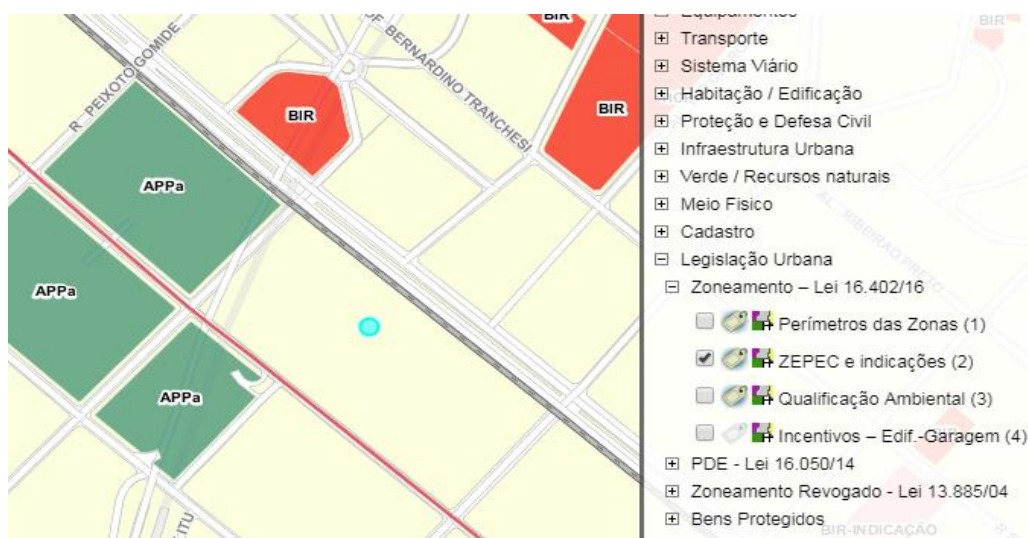


Figura 21 - Geosampa- ZEPEC






Fonte: Geosampa (2018)



Figura 22 - Geosampa – qualificação ambiental

Após identificação de zonas, serão analisadas algumas tabelas a fim de descobrir qual a área permitida para construir no lote, além de atender a quota ambiental e doar a área pública necessária.

Tabela 1 - Parâmetros de Ocupação

TIPO DE ZONA		ZONA (a)	 Coeficiente de Aproveitamento			 Taxa de Ocupação Máxima		 Gabarito de altura máxima (metros)	 Recuos Mínimos (metros)			 Cota parte máxima de terreno por unidade de terreno ² (metros ²)
			C.A. mínimo	C.A. básico	C.A. máximo (m)	T.O. para lotes até 500 metros ²	T.O. para lotes igual ou superior a 500 metros ²		Frente (i)	Fundos e Laterais		
										Altura da edificação menor ou igual a 10 metros	Altura da edificação superior a 10 metros	
Transformação	ZEU	ZEU	0,5	1	4	0,85	0,7	NA	NA	NA	3 (j)	20
		ZEUs	NA	1	2	0,7	0,5	28	NA	NA	3 (j)	40
	ZEUP	ZEUP (b)	0,5	1	2	0,85	0,7	28	NA	NA	3 (j)	NA
		ZEUPa (c)	NA	1	1	0,7	0,5	28	NA	NA	3 (j)	NA
	ZEM	ZEM	0,5	1	2 (d)	0,85	0,7	28	NA	NA	3 (j)	20
		ZEMP	0,5	1	2 (e)	0,85	0,7	28	NA	NA	3 (j)	40
	ZC	ZC	0,3	1	2	0,85	0,7	48	5	NA	3 (j)	NA
		ZCa	NA	1	1	0,7	0,7	20	5	NA	3 (j)	NA

Fonte: Gestão Urbana (2016)

Tabela 2 - Quota Ambiental

Perímetro de Qualificação Ambiental	TAXA DE PERMEABILIDADE (a) (b)		PONTUAÇÃO QA MÍNIMO					FATORES	
	Lote ≤ 500m²	Lote > 500m²	Lote > 500 e ≤ 1000m²	Lote > 1000 e ≤ 2500m²	Lote > 2500 e ≤ 5000m²	Lote > 5000 e ≤ 10000m²	Lote > 10000m²	Cobertura Vegetal (alfa)	Drenagem (beta)
PA 1	0,15	0,25	0,45	0,60	0,70	0,80	1,00	0,5	0,5
PA 2	0,15	0,25	0,40	0,52	0,64	0,70	0,86	0,5	0,5
PA 3	0,15	0,25	0,37	0,48	0,60	0,65	0,78	0,5	0,5
PA 4	0,15	0,25	0,37	0,48	0,60	0,65	0,78	0,5	0,5
PA 5	0,15	0,25	0,29	0,37	0,46	0,50	0,57	0,4	0,6
PA 6	0,15	0,20	0,34	0,44	0,55	0,60	0,71	0,5	0,5
PA 7	0,15	0,20	0,31	0,41	0,51	0,55	0,64	0,3	0,7
PA 8	0,15	0,20	0,37	0,48	0,60	0,65	0,78	0,5	0,5
PA 9	0,10	0,15	0,37	0,48	0,60	0,65	0,78	0,5	0,5
PA 10	0,20	0,25	0,23	0,30	0,37	0,40	0,42	0,6	0,4
PA 11	0,20	0,30	0,26	0,34	0,42	0,45	0,49	0,6	0,4
PA 12	0,20	0,30	0,26	0,34	0,42	0,45	0,49	0,5	0,5
PA 13 (c)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Notas:

NA = Não se aplica

a. Nos lotes inseridos em ZEPAM, ZPDSr, ZPDS, ZCOR, ZPR e ZER deverão ser aplicadas as seguintes taxas de permeabilidade mínima: 0,90, 0,70, 0,50, 0,30, 0,30 e 0,30, respectivamente, independente do tamanho do lote;

b. Quando a somatória da taxa de permeabilidade do Quadro 3A com a taxa de ocupação do Quadro 3 for superior à 1,00 (um inteiro), a taxa de permeabilidade deverá ser respeitada e a taxa de ocupação reduzida proporcionalmente;

c. O PA 13 corresponde às Macroáreas de Contenção Urbana e Uso Sustentável e de Preservação dos Ecossistemas Naturais, nas quais não se aplicam as exigências da Quota Ambiental.

Fonte: Gestão Urbana (2016)

Fonte: Gestão Urbana (2016)

Formula Bar		D	E	F	G	H	I
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							

QUADRO 3B - SIMULADOR	
COMPOSIÇÃO DA PONTUAÇÃO DA QUOTA AMBIENTAL	
ANEXO INTEGRANTE DA LEI Nº 16.402, DE 22 DE MARÇO DE 2016	
Altere os campos em amarelo para simular a Quota Ambiental e os incentivos	
RESULTADOS OBTIDOS	
ITEM I. CARACTERÍSTICAS DO LOTE	
Área total do lote - A (m²)	2.400,00 m²
Localização do lote	ZEU
Perímetro de Qualificação Ambiental	PA 5
Taxa de ocupação	70,00%
Gabarito do empreendimento (em metros)	51 m
Taxa de permeabilidade mínima - TP	25,0%
Fator alfa α	0,40
Fator beta β	0,60
QA mínimo obrigatório	0,37

Figura 23 - Simulação de quota ambiental

Pela Tabela 1, temos que o coeficiente de aproveitamento máximo é 4 e a taxa de ocupação é 0,7. Como mostrado na Figura 23 temos uma QA de 0,37 ou 37%.

Dessa forma, como o terreno tem dimensões de 40 m e 60 m:

$$A = 40 \times 60 = 2400 \text{ m}^2$$

A área construída máxima seria de:

$$A_{\text{máx}} = A \times CA = 2400 \times 4 = 9600 \text{ m}^2$$

A taxa de ocupação é de (área máxima construída em um dos pavimentos):

$$TO = A \times TO(\%) = 0,7 \times 2400 = 1680 \text{ m}^2$$

E a quota ambiental é dada por:

$$QA = A \times QA(\%) = 0,37 \times 2400 = 888 \text{ m}^2$$

Com esses dados, pode-se dimensionar o tamanho das áreas de cada pavimento do edifício, que são resumidas na tabela a seguir:

$$\text{Subsolo, térreo e pavimentos comerciais: } A = 36 \times 18 \Rightarrow \mathbf{A = 648 \text{ m}^2}$$

$$\text{Pavimentos Residenciais: } A = 24 \times 18 \Rightarrow \mathbf{A = 432 \text{ m}^2}$$

$$A_{\text{total}} = 2 \cdot A_{\text{subsolo}} + A_{\text{térreo}} + 5 \cdot A_{\text{com}} + 10 \cdot A_{\text{res}}$$

$$A_{\text{total}} = 2 \cdot 648 + 648 + 5 \cdot 648 + 10 \cdot 432 \Rightarrow \textbf{A_{total} 9504 m}^2$$

Tabela 3 - Dados do Plano Diretor e do edifício

TERRENO		
Largura	m	40
Comprimento	m	60
Área	m ²	2400
C _{máx}	-	4
Área _{máx}	m ²	9600
q _a (%)	-	37%
q _a	m ²	888
t _o (%)	-	70%
t _o	m ²	1680
Recuo	m	5

Fonte - Autor

Tabela 4 - Áreas adotadas para os pavimentos

		TÉRREO	
		Possível	Adotado
Largura	m	30	18
Comprimento	m	55	36
Área possível sem q _a	m ²	1650	648
Área possível com q _a	m ²	1512	

		SUBSOLO	COMERCIAL	RESIDENCIAL
		Adotado	Adotado	Adotado
Largura	m	18	18	18
Comprimento	m	36	36	24
Área possível sem q _a	m ²	648	648	432

Fonte - Autor

Estipuladas as dimensões do edifício, é possível iniciar o desenho e a concepção do modelo arquitetônico.

5.2. Modelagem da arquitetura

Com os dados de planejamento urbano definidos, iniciou-se a modelagem da arquitetura no *Autodesk Revit*.

Um ponto muito importante no desenvolvimento de um projeto arquitetônico é a análise da posição do terreno e a realização de um estudo solar. Entender quais são as faces que recebem mais iluminação natural e, portanto, como devem ser distribuídos os cômodos dentro do projeto.

Fonte: Autor

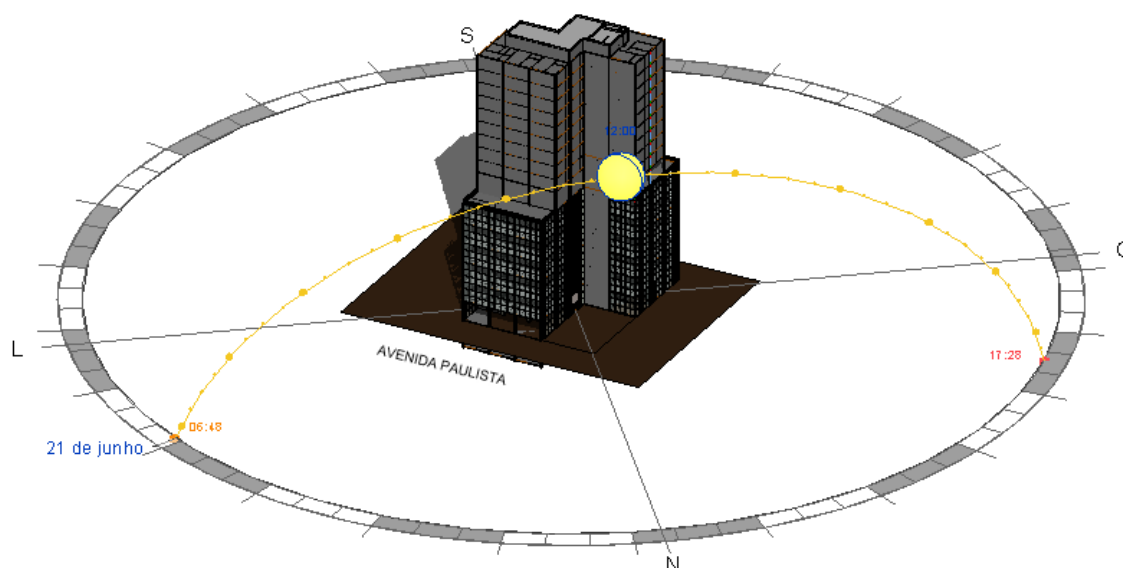
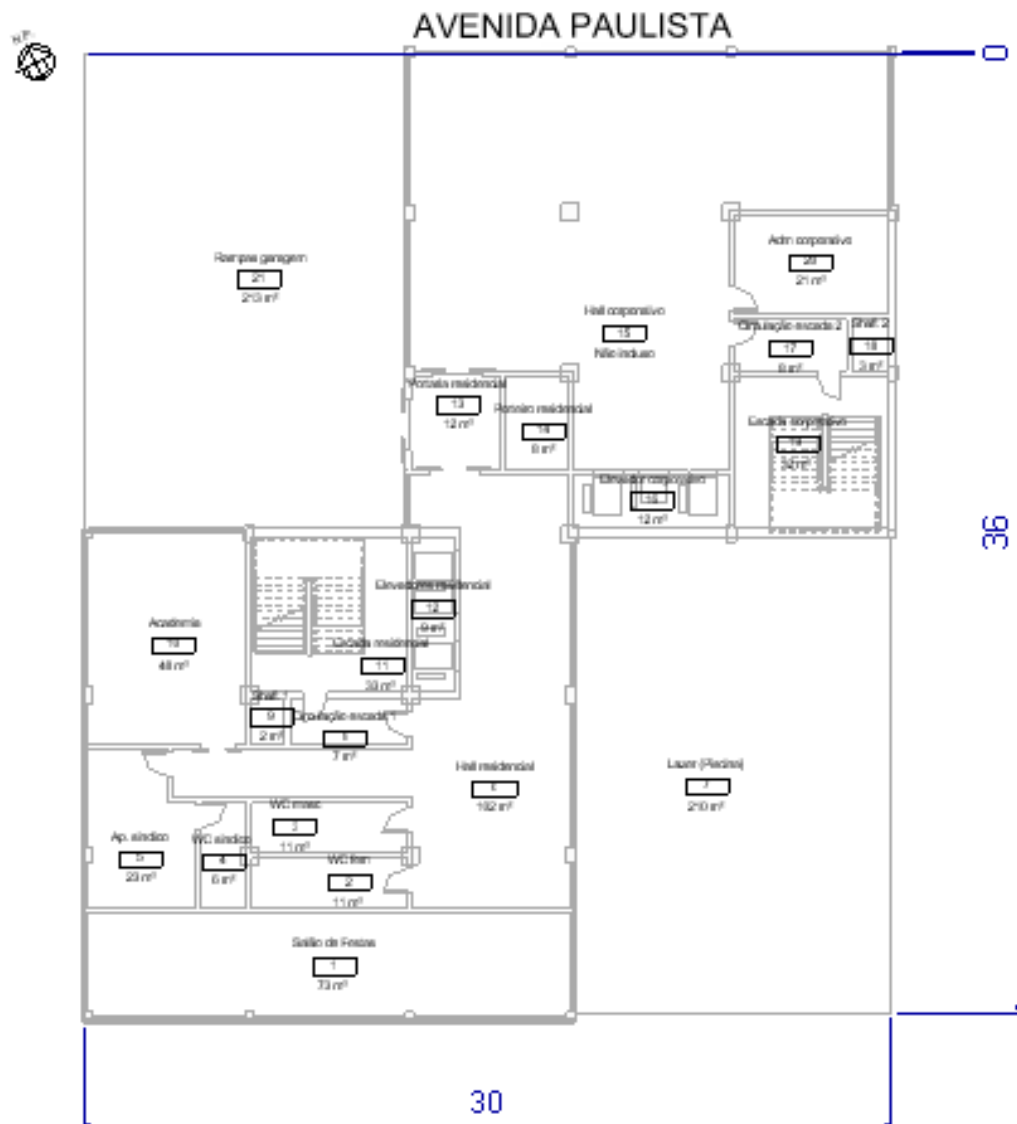


Figura 24 - Solstício de verão

A partir do estudo solar e do tipo de edifício a ser desenvolvido (demonstrado no capítulo de planejamento urbano), foi realizada uma planta térrea que permite o acesso das áreas residenciais e corporativas de formas distintas.

Fonte: Autor



Fonte: Autor

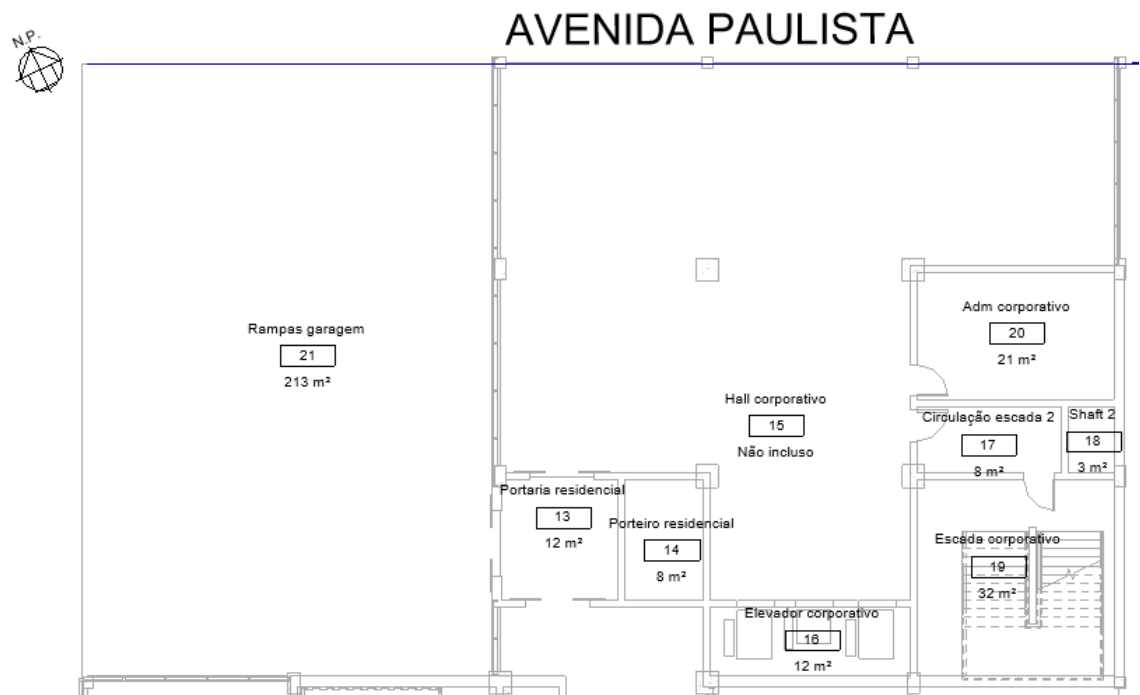


Figura 26 - Planta do térreo corporativo

Fonte: Autor

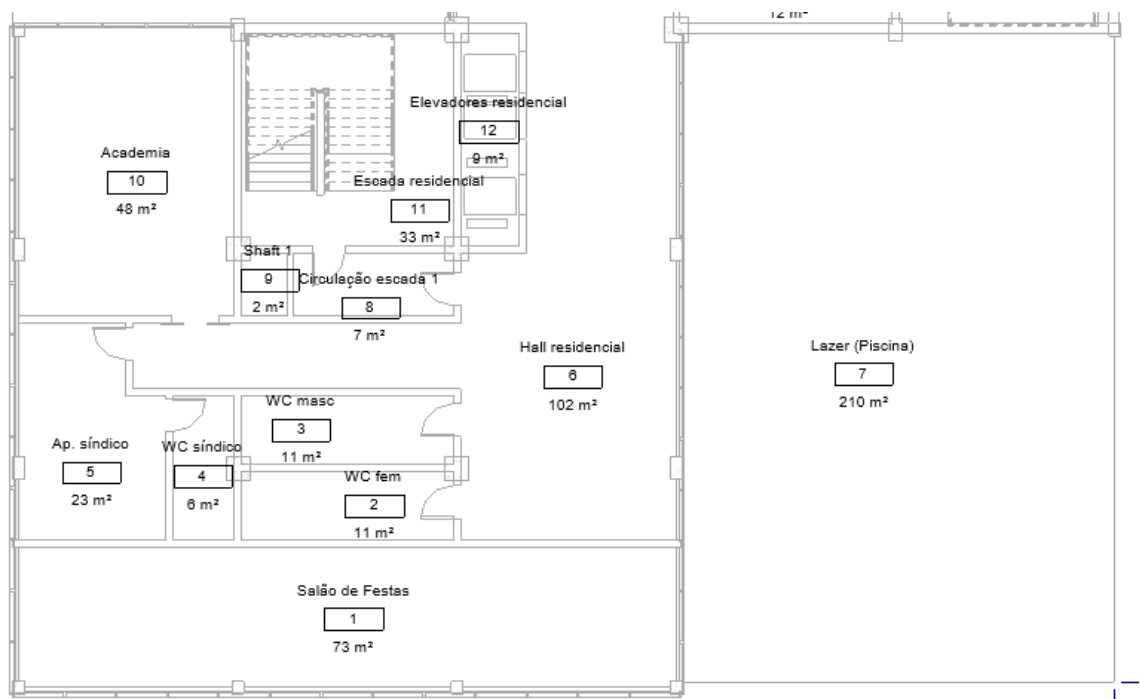


Figura 27 - Planta do térreo residencial

Além do térreo, o edifício tem dois subsolos, 5 andares corporativos, 1 andar para realização de eventos corporativos, 9 andares residenciais e 1 cobertura com uma área técnica.

Os andares corporativos foram pensados no estilo *open spaces* (espaços abertos), com muitas possibilidades de montagens diferentes segundo as necessidades. Cada andar corporativo é dividido em duas grandes áreas, podendo ou não comportar empresas diferentes. As plantas dos pavimentos do edifício estão nas figuras abaixo.

A planta residencial possui quatro apartamentos por andar com áreas distintas, como mostrado na figura. As plantas do edifício estão mostradas nas figuras abaixo.

Fonte: Autor

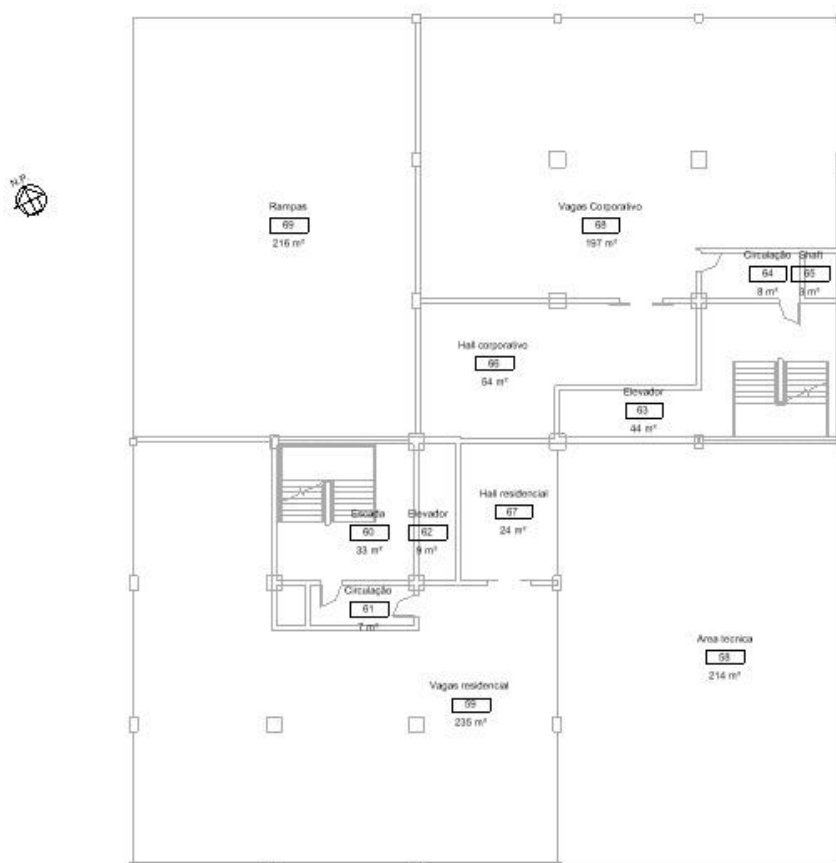


Figura 28 - Planta do subsolo

Fonte: Autor

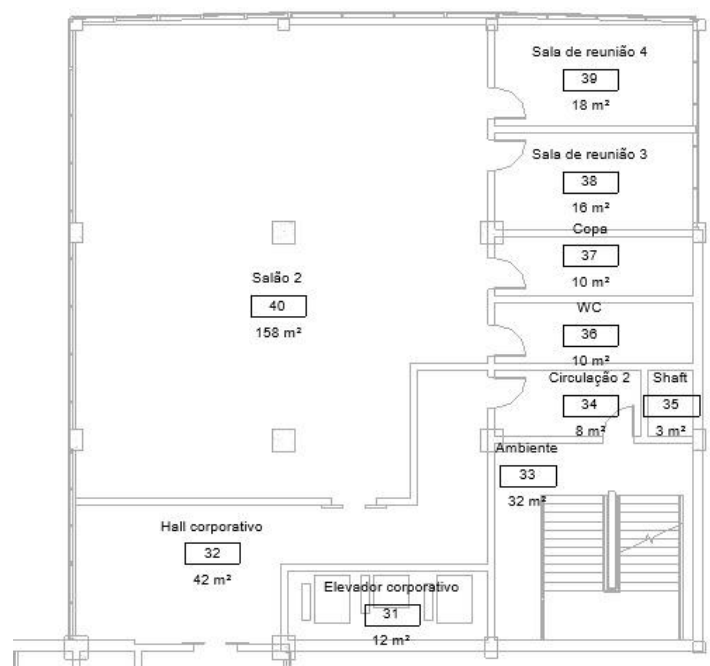


Figura 29 - Planta do corporativo lado A

Fonte: Autor

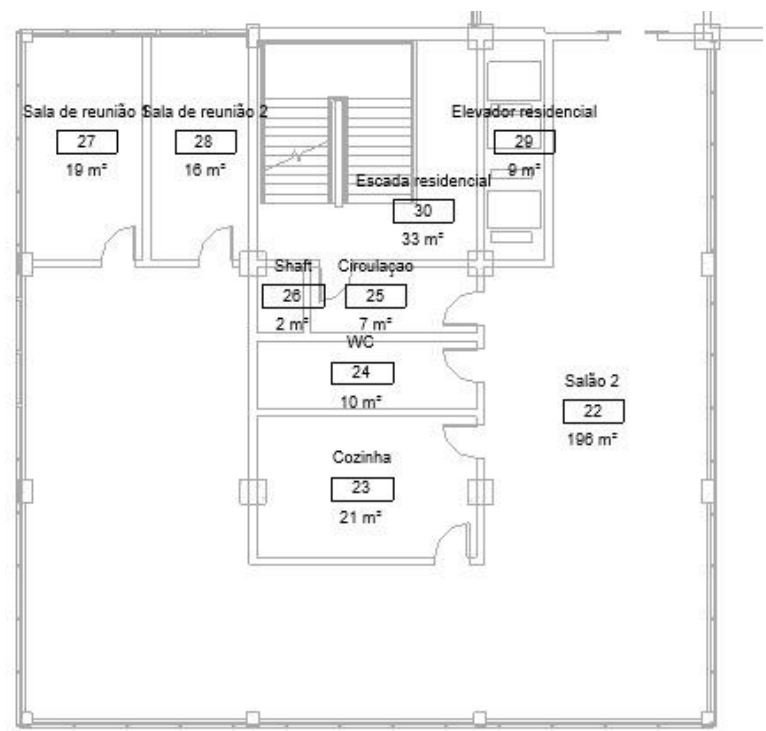


Figura 30 - Planta do corporativo lado B

Fonte: Autor

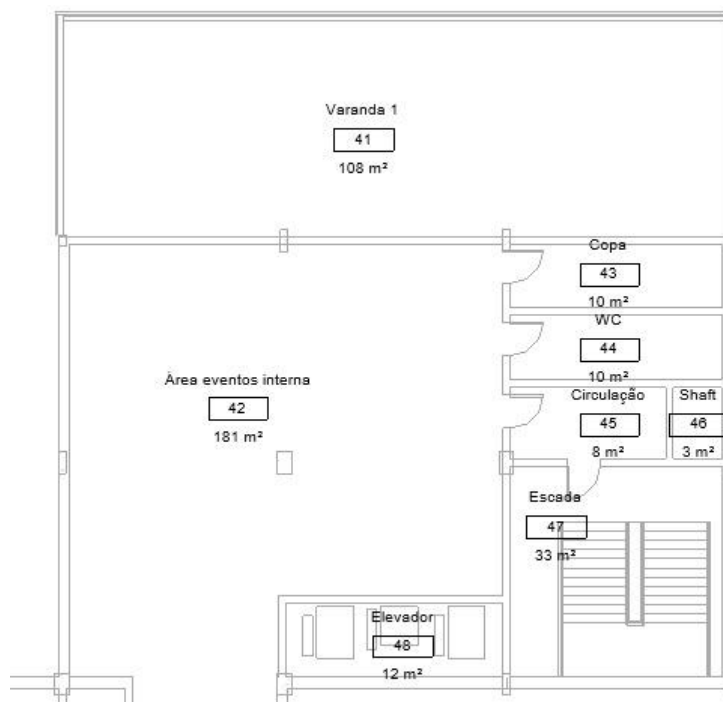


Figura 30 - Planta do pavimento de eventos corporativos lado A

Fonte: Autor

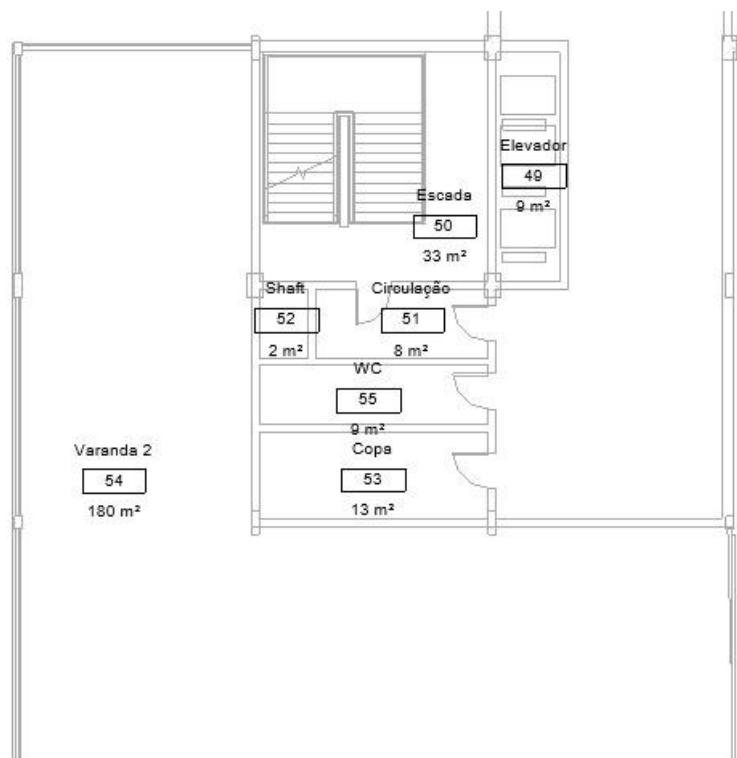


Figura 31 - Planta do pavimento de eventos corporativos lado B

Fonte: Autor

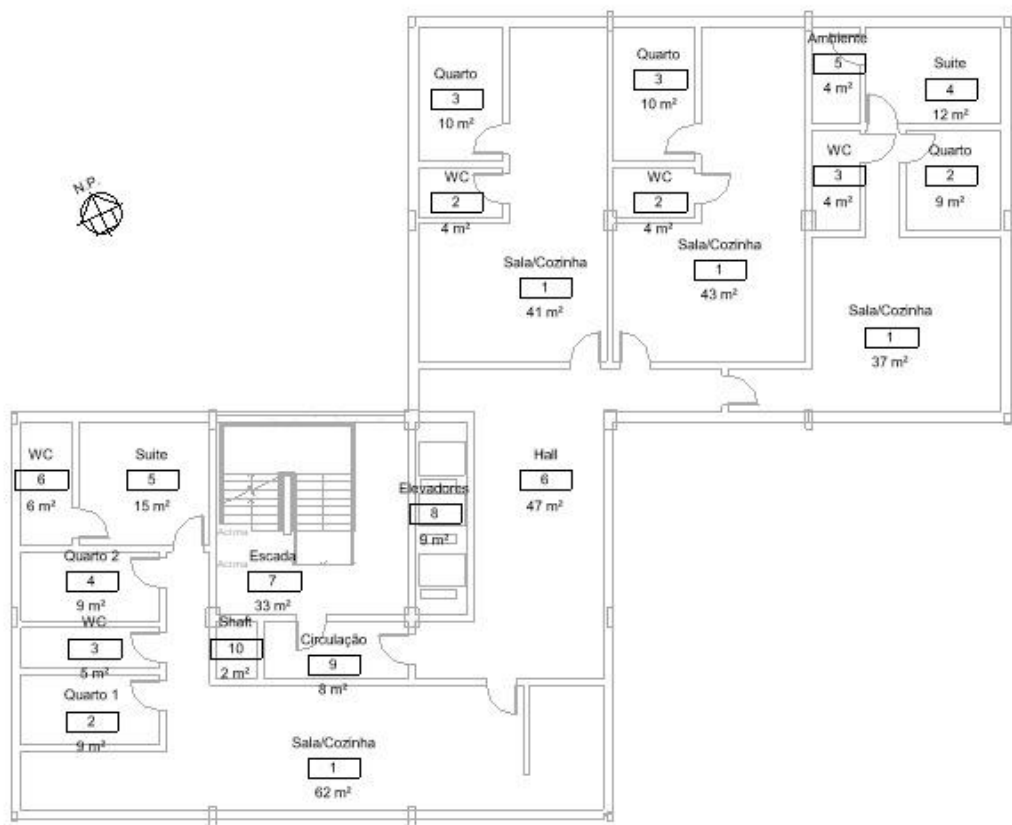


Figura 32 - Planta do pavimento tipo residencial

5.3. Modelagem da estrutura

5.3.1. Pré-dimensionamento da estrutura

Para a introdução dos elementos estruturais (laje, viga e pilar) nos modelos de arquitetura e estrutura e para posterior dimensionamento, é necessário fazer um pré-dimensionamento da geometria destes elementos, conforme figura abaixo.

Fonte: Autor

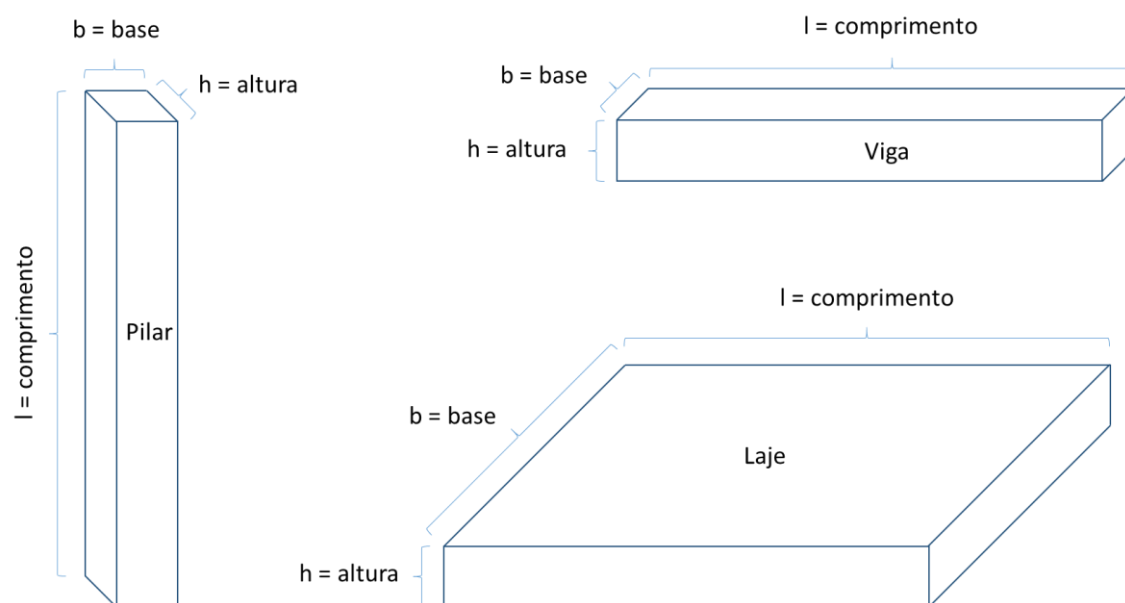


Figura 33 - Geometria dos elementos estruturais

Lajes:

Adotando todas as lajes com mesmas dimensões, temos:

$$b = 600 \text{ cm}$$

$$l = 600 \text{ cm}$$

$$h = \frac{l}{40} = \frac{600}{40} \Rightarrow h = 15 \text{ cm}$$

Vigas:

Adotando todas as vigas com mesmas dimensões, temos:

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$l = 600 \text{ cm}$$

$$h = 0,75 \cdot \frac{l}{10} = 0,75 \cdot \frac{600}{40} \Rightarrow h = 45 \text{ cm}$$

Pilares:

Para o pré-dimensionamento é necessário saber qual a área de influência sobre o pilar para saber a carga média que atuará sobre o mesmo. As áreas de influência variam de acordo com a posição do pilar em relação a laje, conforme indicado na figura abaixo.

Fonte: Autor

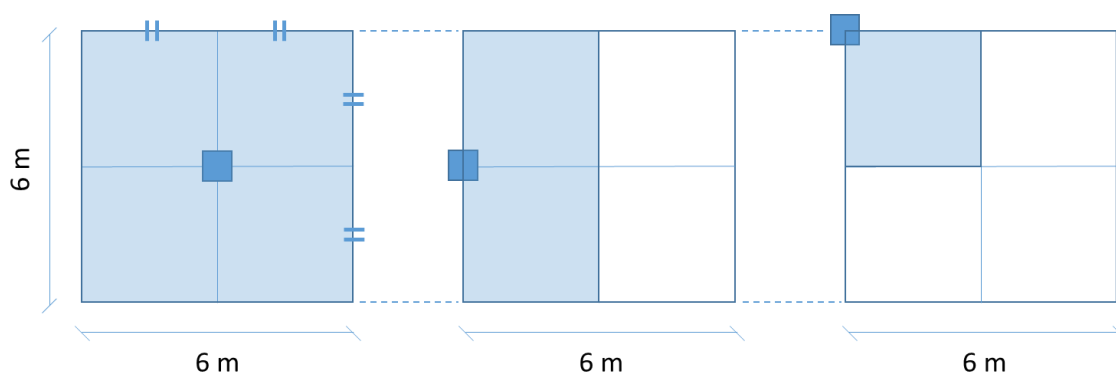


Figura 34 - Áreas de influência

Considerando uma carga média de $q = 10 \text{ kN/m}^2$ e uma tensão de serviço do concreto dos pilares de $\sigma = 1,5 \text{ kN/m}^2$.

Para os pilares no nível das fundações temos seis possibilidades de pilar, de acordo com as áreas de influência e o número de pavimentos acima dele (N), no nível do primeiro pavimento tipo residencial temos quatro tipos (figura abaixo).

Fonte: Autor

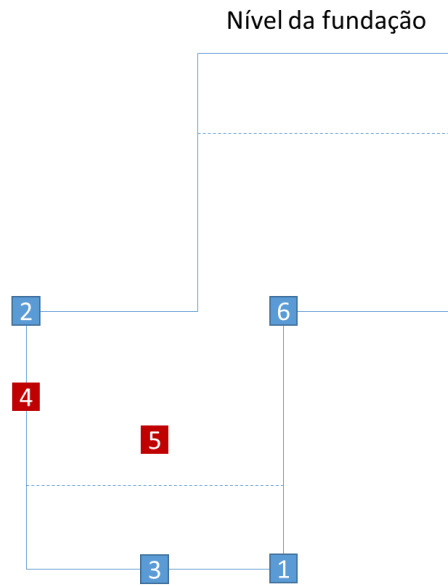


Figura 35 - Tipos de pilar

Nível da fundação:

$$A = \frac{\text{Área de inf } x \text{ q } x N}{\sigma}$$

$$1) A = \frac{(3x3)x10x8}{1,5} = 480 \text{ cm}^2 \Rightarrow b = 20 \text{ cm}; h = 24 \text{ cm}$$

$$2) A = \frac{(3x3)x10x18}{1,5} = 1080 \text{ cm}^2 \Rightarrow b = 20 \text{ cm}; h = 54 \text{ cm}$$

$$3) A = \frac{(6x3)x10x8}{1,5} = 960 \text{ cm}^2 \Rightarrow b = 20 \text{ cm}; h = 48 \text{ cm}$$

$$4) A = \frac{(6x3)x10x18}{1,5} = 2160 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{b = 20 \text{ cm}; h = 108 \text{ cm}}$$

$$\mathbf{b = 40 \text{ cm}; h = 54 \text{ cm}}$$

$$5) A = \frac{(6x6)x10x18}{1,5} = 4320 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{b = 54 \text{ cm}; h = 80 \text{ cm}}$$

$$6) A = \frac{(6x6 - 3x3)x10x18}{1,5} = 3240 \text{ cm}^2 \Rightarrow b = 54 \text{ cm}; h = 60 \text{ cm}$$

Para que não haja muitos tipos de pilares diferentes e para dar mais rigidez à estrutura, serão utilizados apenas os pilares tipo 4 e 5. Assim, temos a distribuição abaixo.

Fonte: Autor

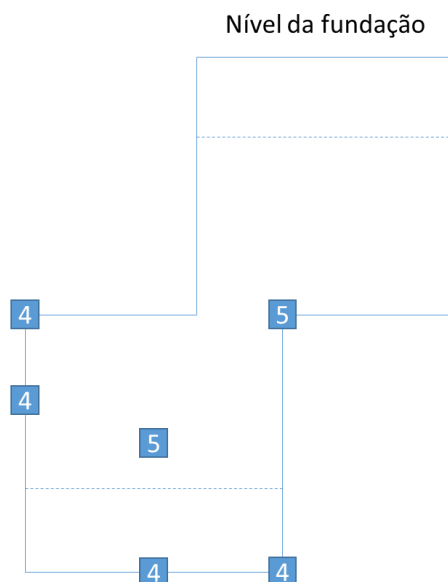


Figura 36 - Tipos de pilar adotados

Na tabela abaixo temos um resumo das dimensões adotadas.

Tabela 5 - Dimensões dos elementos estruturais

	l calculado	b calculado	h calculado	l adotado	b adotado	h adotado
	Medidas em centímetros (cm)					
Laje	-	-	15	600	600	15
Viga	-	-	45	600	20	45
Pilar 1	-	20	24	-	20 ou 40	108 ou 54
Pilar 2	-	20	54	-		
Pilar 3	-	20	48	-		
Pilar 4A	-	20	108	-		
Pilar 4B	-	40	54	-		
Pilar 5	-	54	80	-	54	80
Pilar 6	-	54	60	-	54	80

Fonte: Autor

5.3.2. Cálculo das cargas

Tendo em vista as plantas arquitetônicas do subsolo, térreo, pavimento tipo comercial, residencial e cobertura pode-se obter quais serão as cargas que atuarão nas lajes e vigas do edifício. Os dados de carga permanente e variável utilizados, com exceto das cargas de parede, estão apresentados nas tabelas abaixo.

Tabela 6 - Cargas Permanentes no edifício

Cargas permanentes		
Concreto armado	kN/m ³	25,0
Revestimento de piso	kN/m ²	1,0
Impermeabilização piso	kN/m ²	0,1
Impermeabilização cobertura	kN/m ²	1,8
Caixilho de alumínio	kN/m ²	0,2

Fonte: NBR-6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (2017)

Tabela 7 - Cargas variáveis no edifício

Cargas variáveis		
Edifício residencial		
Dormitórios, salas, cozinhas e banheiros	kN/m ²	1,5
Despensas, áreas de serviço e lavanderia	kN/m ²	2,0
Escadas com acesso ao público	kN/m ²	3,0
Escadas sem acesso ao público	kN/m ²	2,5
Corredores de uso comum	kN/m ²	3,0
Garagens	kN/m ²	3,0
Sacada	kN/m ²	2,5
Cobertura	kN/m ²	1,0
Elevador (<= 1m/s)	kN/m ²	30,0
Edifício comercial		
Salas de uso geral e banheiros	kN/m ²	2,5
Escadas com acesso ao público	kN/m ²	3,0
Corredores de uso comum	kN/m ²	3,0
Terraços com acesso ao público	kN/m ²	3,0

Fonte: NBR-6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (2017)

A numeração das lajes, vigas e pilares está representada nas Figuras 38 e 39.

Fonte: Autor

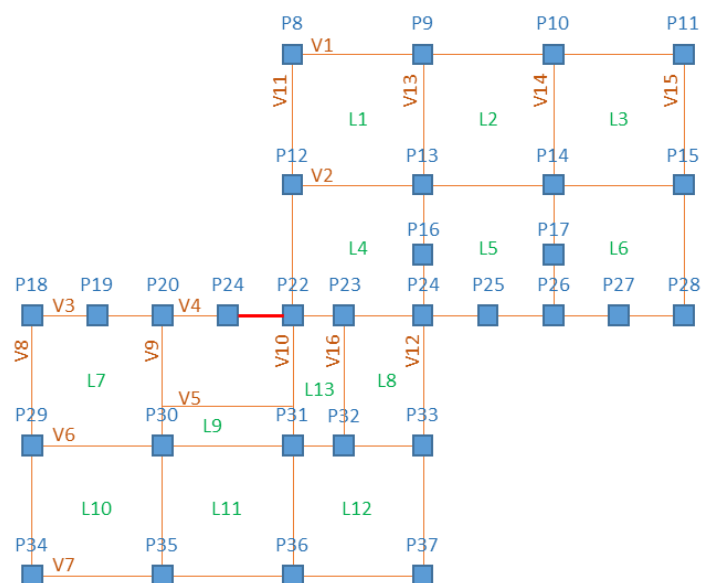


Figura 37 - Numeração das lajes, vigas e pilares nos pavimentos tipo residenciais

Fonte: Autor

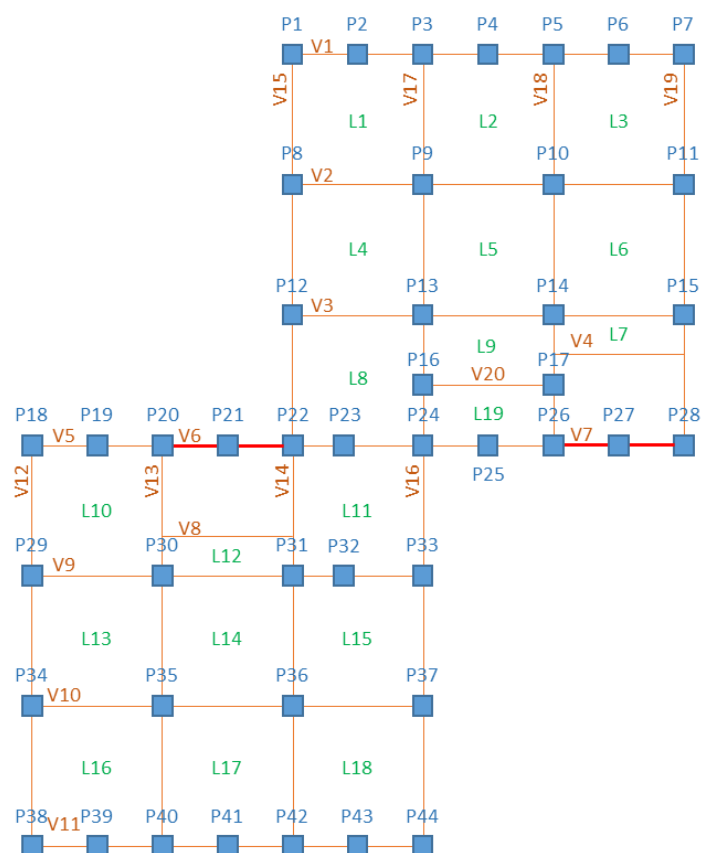


Figura 38 - Numeração das lajes, vigas e pilares nos demais pavimentos

Com esses dados, elaboramos as tabelas abaixo.

Tabela 8 - Cargas nas lajes da cobertura

Laje	Altura	Peso Próprio	Imper.	g total	Uso	q
	m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²
1	0,15	3,75	1,8	5,55	Cobertura	1,00
2	0,15	3,75	1,8	5,55	Cobertura	1,00
3	0,15	3,75	1,8	5,55	Cobertura	1,00
4	0,15	3,75	0	3,75	Cobertura	1,00
5	0,15	3,75	0	3,75	Cobertura	1,00
6	0,15	3,75	0,9	4,65	Cobertura	1,00
7	0,15	3,75	1,8	5,55	Cobertura	1,00
8	0,15	3,75	0	3,75	Cobertura	1,00
9	0,15	3,75	0	3,75	Escadas sem acesso ao público	2,50
10	0,15	3,75	1,8	5,55	Cobertura	1,00
11	0,15	3,75	1,35	5,10	Cobertura	1,00
12	0,15	3,75	1,35	5,10	Cobertura	1,00
13	0,15	3,75	0	3,75	Elevador (<= 1m/s)	30,00

Fonte: Autor

Tabela 9 - Cargas nas lajes do pavimento tipo residencial

Laje	Altura	Peso Próprio	Revest.	Imper.	g total	Uso	q
	m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²
1	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
2	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
3	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
4	0,15	3,75	1,00		4,75	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
5	0,15	3,75	1,00		4,75	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
6	0,15	3,75	1,00		4,75	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
7	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
8	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
9	0,15	3,75	1,00		4,75	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
10	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
11	0,15	3,75	1,00		4,75	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50
12	0,15	3,75	1,00		4,75	Dorm, salas, cozinhas e banheiros	1,50

Fonte: Autor

Tabela 10 - Cargas nas lajes do 1º pavimento residencial

Laje	Altura	Peso Próprio	Revest.	Imper.	g total	Uso	q
	m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²
1	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
2	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
3	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
4	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
5	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
6	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Salas de uso geral e banheiros	2,50
7	0,15	3,75	1,00		4,75	Escadas com acesso ao público	3,00
8	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
9	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
10	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
11	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
12	0,15	3,75	1,00		4,75	Escadas com acesso ao público	3,00
13	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
14	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
15	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
16	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
17	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
18	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Terraços com acesso ao público	3,00
19	0,15	3,75			3,75	Elevador (<= 1m/s)	30,00

Fonte: Autor

Tabela 11 - Cargas nas lajes do pavimento tipo comercial

Laje	Altura	Peso Próprio	Revest.	Imper.	g total	Uso	q
	m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²
1	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
2	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
3	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
4	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
5	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
6	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Salas de uso geral e banheiros	2,50
7	0,15	3,75	1,00		4,75	Escadas com acesso ao público	3,00
8	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
9	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
10	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
11	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00

12	0,15	3,75	1,00		4,75	Escadas com acesso ao público	3,00
13	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
14	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Salas de uso geral e banheiros	2,50
15	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
16	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
17	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50
18	0,15	3,75	1,00		4,75	Salas de uso geral e banheiros	2,50

Fonte: Autor

Tabela 12 - Cargas nas lajes do térreo

Laje	Altura	Peso Próprio	Revest.	Imper.	g total	Uso	q
	m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²
1	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
2	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
3	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
4	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
5	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
6	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Corredores de uso comum	3,00
7	0,15	3,75	1,00		4,75	Escadas com acesso ao público	3,00
8	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
9	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
10	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
11	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
12	0,15	3,75	1,00		4,75	Escadas com acesso ao público	3,00
13	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
14	0,15	3,75	1,00	0,10	4,85	Corredores de uso comum	3,00
15	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
16	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
17	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00
18	0,15	3,75	1,00		4,75	Corredores de uso comum	3,00

Fonte – Autor

Tabela 13 - Cargas nas lajes do subsolo

Laje	Altura	Peso Próprio	g total	Uso	q
	m	kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²
1	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
2	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
3	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
4	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
5	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
6	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
7	0,15	3,75	3,75	Escadas com acesso ao público	3,00
8	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
9	0,15	3,75	3,75	Corredores de uso comum	3,00
10	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
11	0,15	3,75	3,75	Corredores de uso comum	3,00
12	0,15	3,75	3,75	Escadas com acesso ao público	3,00
13	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
14	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
15	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
16	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
17	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00
18	0,15	3,75	3,75	Garagens	3,00

Fonte - Autor

As Figuras 40 a 45 mostram as cargas de alvenaria, e dos caixilhos que atuam sobre as lajes e vigas do edifício.

Fonte - Autor

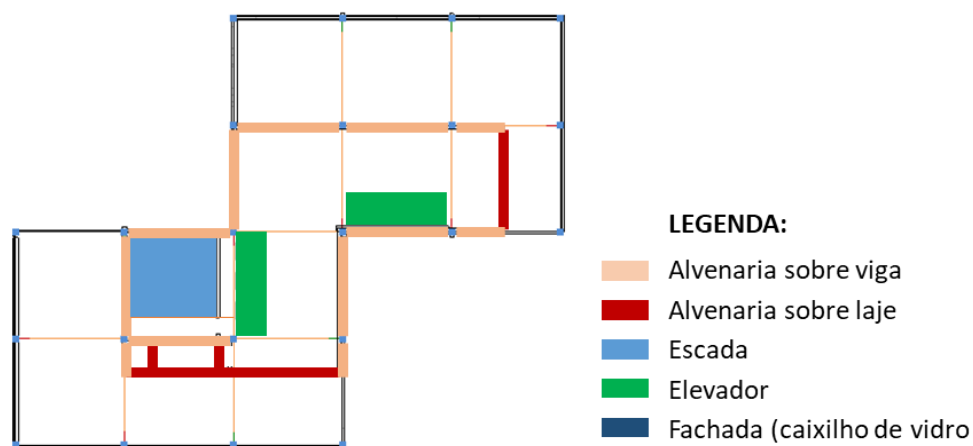


Figura 39 - Planta da cobertura

Fonte - Autor



Figura 40 - Planta do pavimento tipo residencial

Fonte - Autor

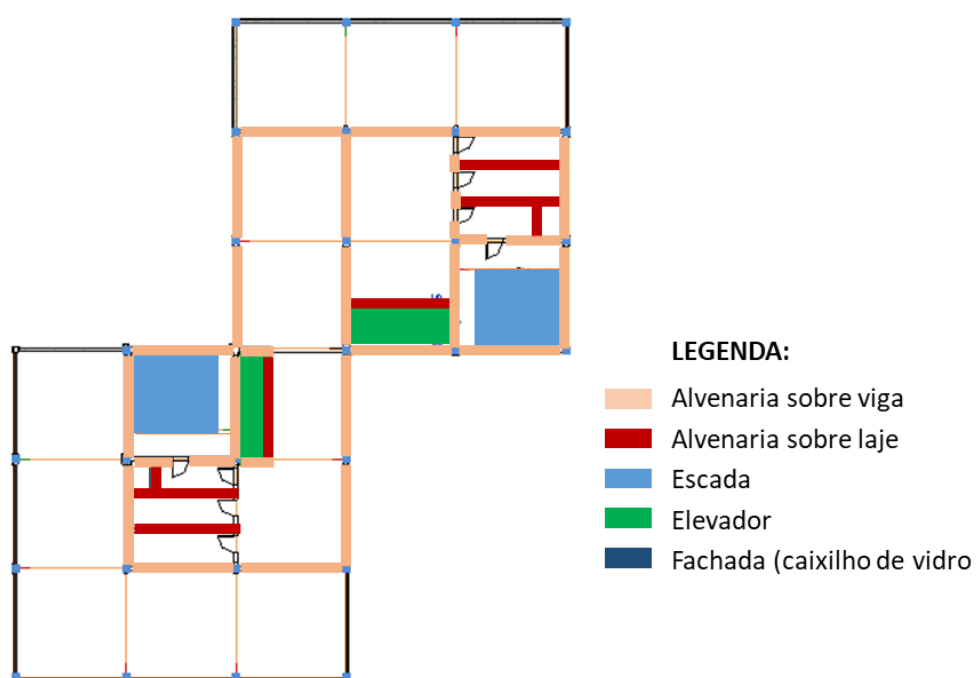


Figura 41 - Planta do 1º pavimento residencial

Fonte – Autor

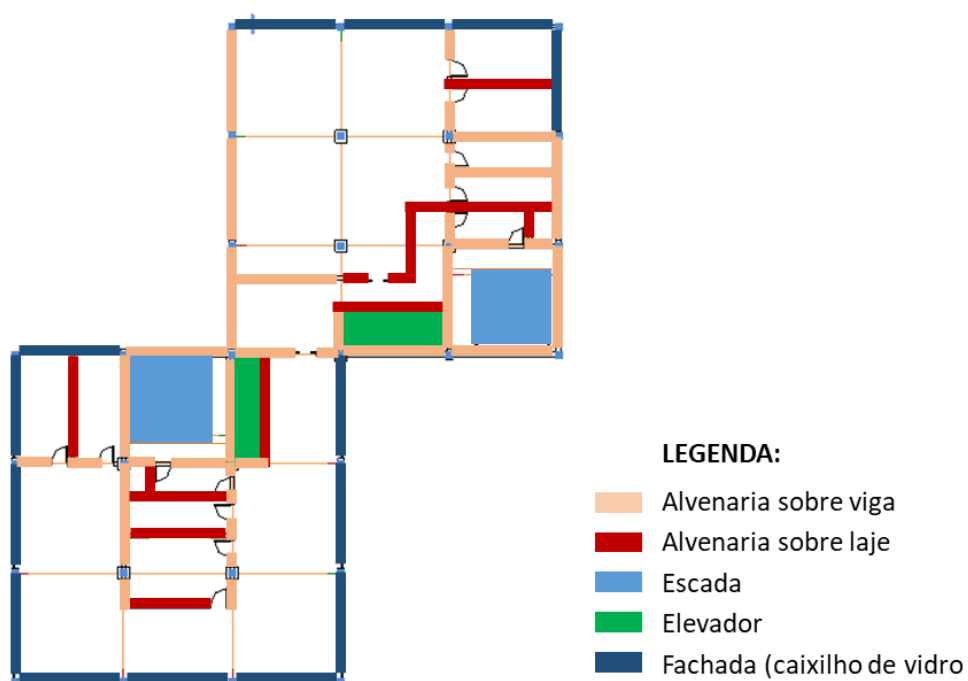


Figura 42 - Planta do pavimento tipo comercial

Fonte – Autor



Figura 43 - Planta do térreo

Fonte – Autor

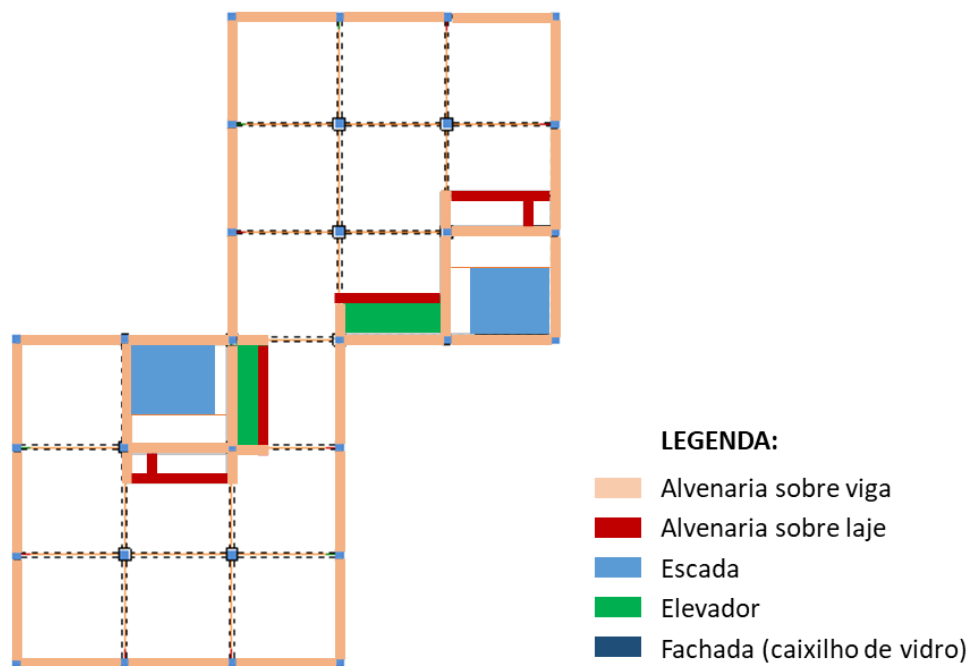


Figura 44 - Planta do subsolo

5.3.3. Modelo

O modelo estrutural foi feito a partir do pré-dimensionamento das vigas, lajes e pilares, e, inicialmente, no *software Revit*, como mostrado na figura abaixo.

Fonte: Revit

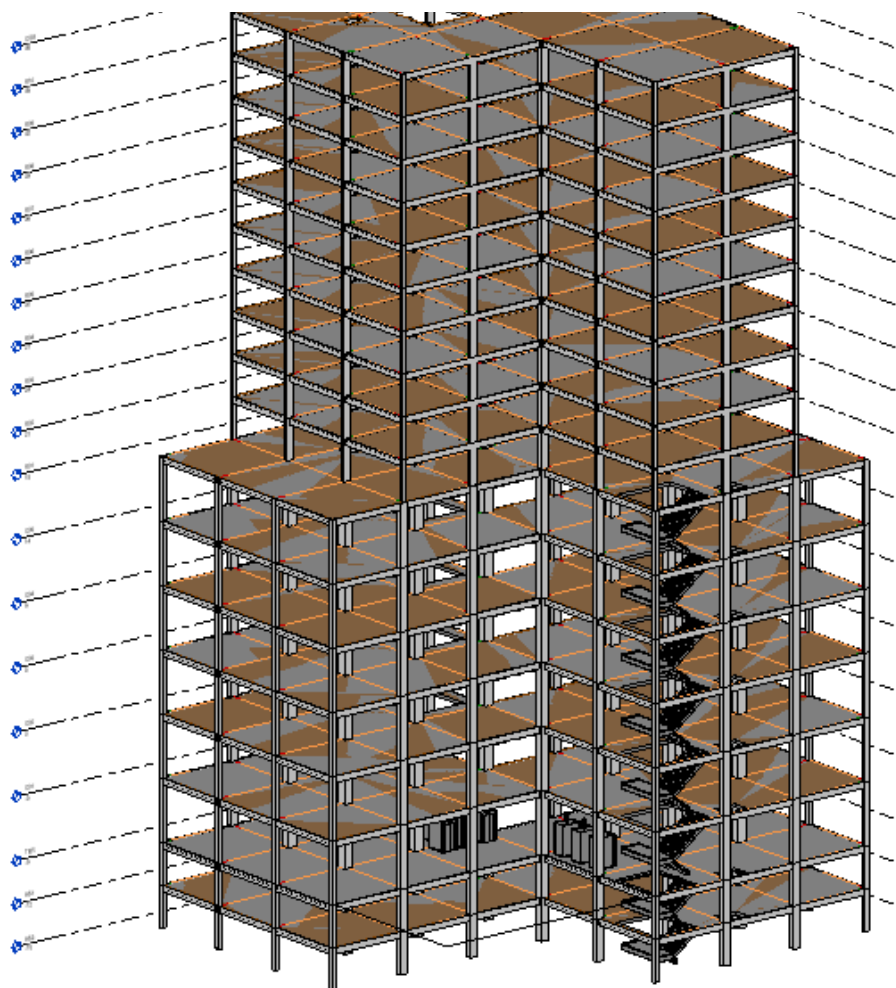


Figura 45 - Modelo inicial da estrutura no Revit

Em seguida o modelo foi exportado para o TQS por meio de um *plugin* próprio (Figura 47 e 48) que exporta o arquivo do formato *.rvt* (*Revit*) para *.RTQ* (TQS).

Fonte: TQS

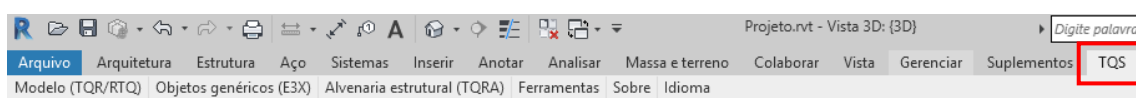


Figura 46 - Plugin TQS integrado na barra de ferramentas do Revit

Fonte: TQS

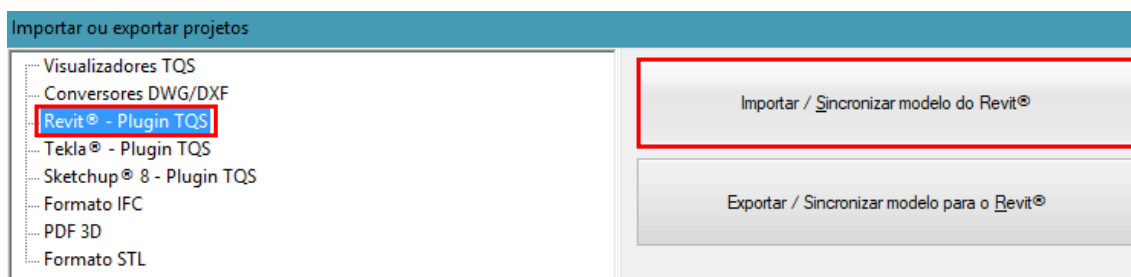


Figura 47 - Plugin TQS

Após a exportação, abrimos o TQS e importamos o arquivo .RTQ. Ele abre todas as plantas e o modelo 3D do *Revit*, como mostram as figuras.

Fonte: TQS



Figura 48 - Exemplo de planta importada pelo TQS

Fonte: TQS

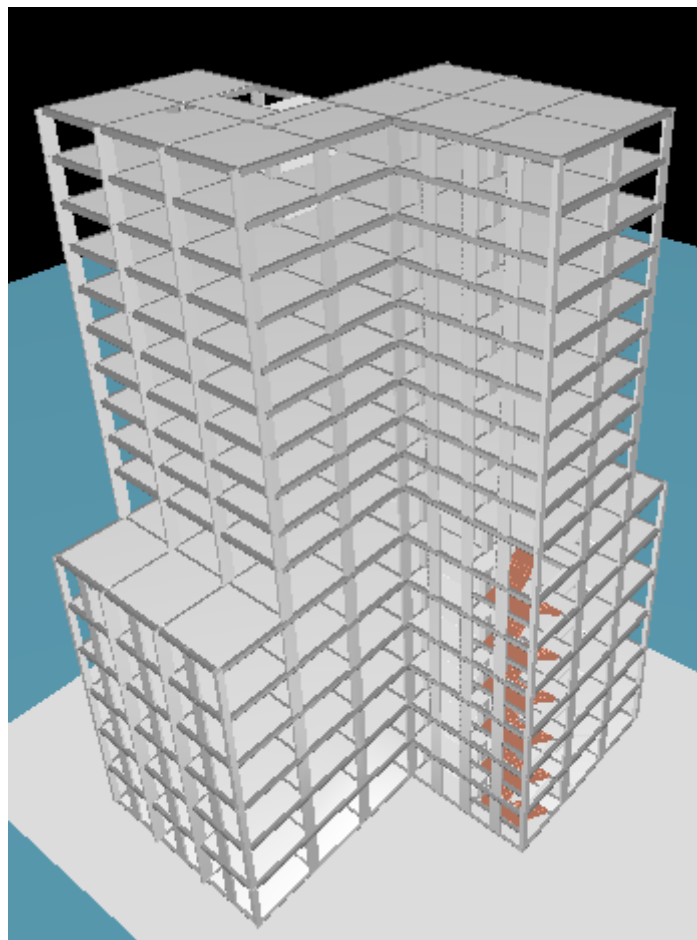


Figura 49 - Modelo inicial da estrutura no TQS

Tendo o modelo 3D e as plantas já dentro do *software*, são introduzidos dados iniciais no mesmo, tais como, nome do projeto, tipo de estrutura, materiais, cobrimentos, cargas de vento, entre outros.

Fonte: TQS

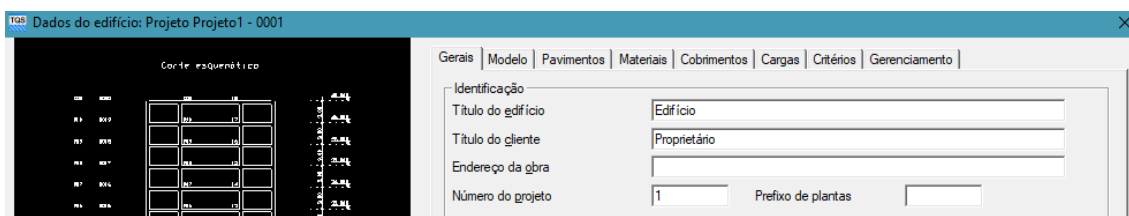


Figura 50 - Dados iniciais

Em seguida, são colocadas as cargas na estrutura, conforme as plantas mostradas nas Figuras 40 a 45 e os dados das Tabelas 8 a 13. Para isso, utiliza-se o menu modelador estrutural, da barra de ferramentas.

Fonte: TQS

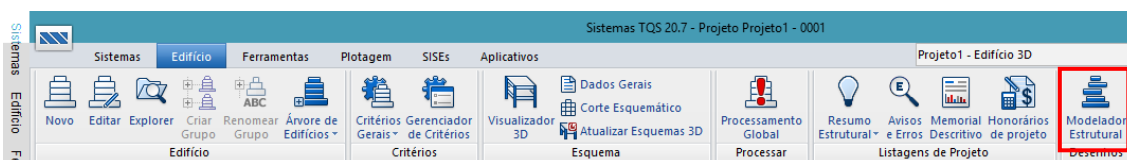


Figura 51 - Modelador estrutural no menu do TQS

No modelador estrutural foram feitas mudanças geométricas necessárias das lajes, vigas e pilares, a edição de *shafts*, e a inserção de cargas.

Fonte: TQS

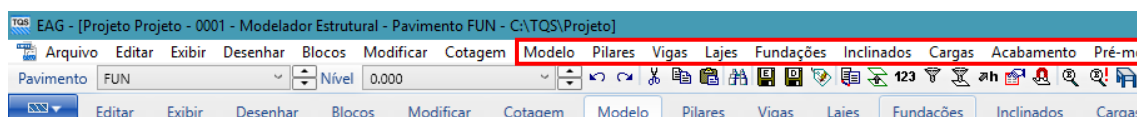


Figura 52 - Opções de lajes, vigas e cargas, etc no modelador estrutural

O TQS já possui alguns valores de carga permanentes e variáveis padrão tanto para as paredes quanto para os ambientes. Para as paredes do edifício foram utilizadas as cargas padrão do TQS. Para os caixilhos de vidro da fachada foi criada uma nova carga e para as cargas permanentes e variáveis das lajes e vigas foram utilizadas as Tabelas 8 a 13.

Fonte: TQS

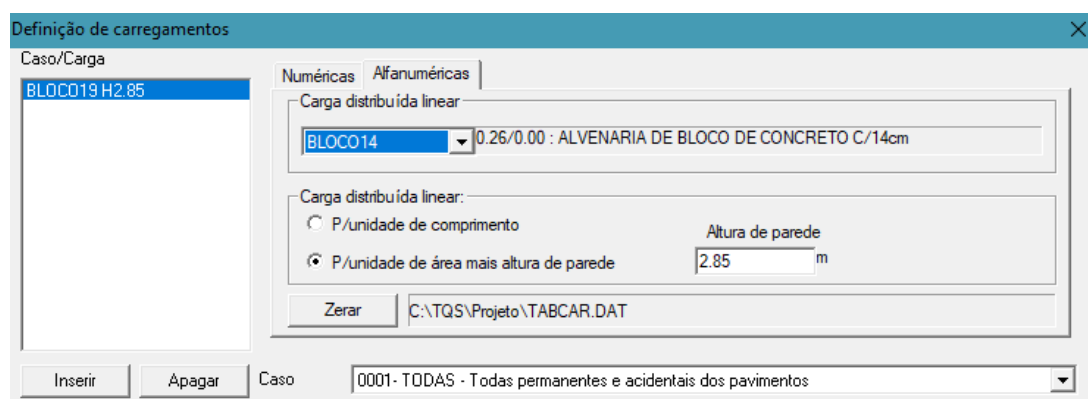


Figura 53 - Cargas padrão do TQS para as paredes

Fonte: TQS

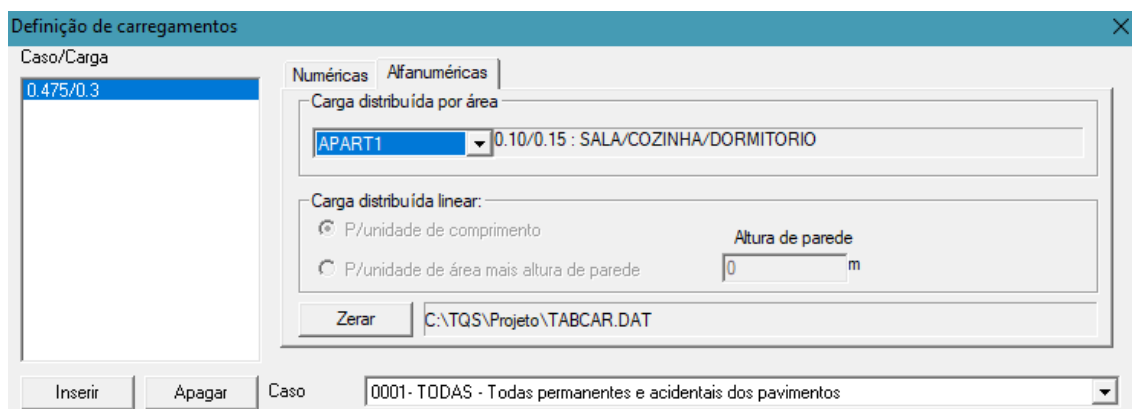


Figura 54 - Cargas padrão do TQS para os ambientes

Após fazer todos os ajustes e lançar todas as cargas na estrutura, é necessário fazer o processamento do pavimento para verificar se existem erros. Caso existam, devem ser corrigidos, pois para fazer o processamento geral do edifício, não pode haver erros no pavimento.

Fonte: TQS



Figura 55 - Verificação da consistência do pavimento

Com a finalização do modelo estrutural e correção dos erros, é feito o processamento global, a partir do qual são gerados os relatórios com os resultados do edifício.

Fonte: TQS

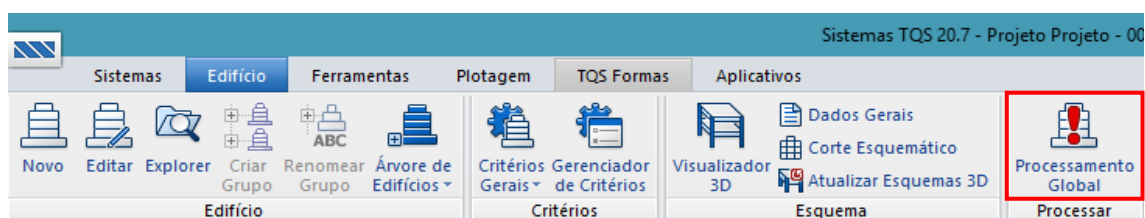


Figura 56 - Processamento global

Os relatórios utilizados no projeto foram:

Resumo Estrutural – mostra os principais parâmetros de estabilidade do edifício (por exemplo o γ_z e as flechas), bem como consumo de concreto, formas e aço.

Planta de cargas – mostra as cargas nos elementos da estrutura (Anexo I).

Fonte: TQS

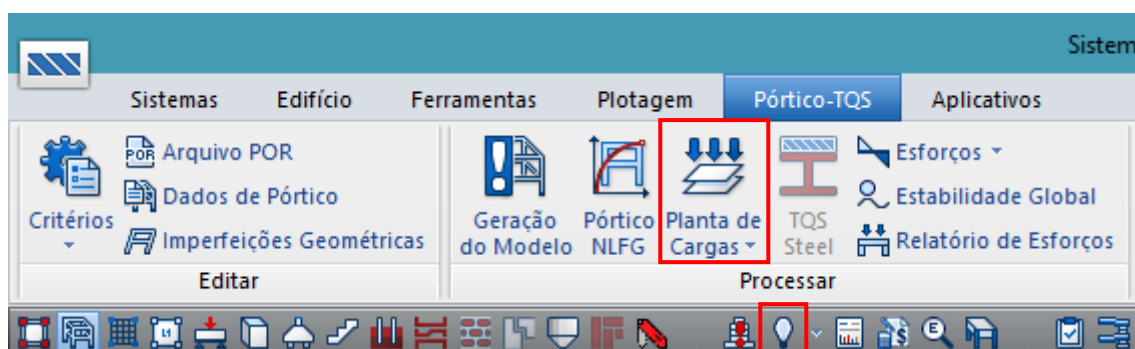


Figura 57 - Planta de Cargas e Resumo Estrutural na barra de ferramentas

Com os dados da planta de carga foram obtidas as cargas nos pilares e, a partir destas, foi feito o dimensionamento da fundação.

5.4. Modelagem da fundação

5.4.1. Pré-dimensionamento

O terreno escolhido fica na Avenida Paulista, o solo perfil do solo típico nessa região é apresentado pelo ensaio SPT abaixo:

Fonte: Michel (2018) - Adaptado

No	Camada e compacidade/consistência	Convenção gráfica (*)	Altura da Camada (m)	Profundidade _sup (m)	Profundidade _inf (m)	NSPT médio
1	Ateno: de argila silto arenosa: marrom	↓	0,40	0,10	0,50	-
2	Argila porosa silto arenosa: mole vermelha	↓	6,75	0,50	7,25	4
3	Argila silto arenosa: média a dura: vermelha	NA	21,65	7,25	28,90	22
4	Areia de granulação variada argilosa: medianamente compacta a compacta: amarela, roxa e onza	↓	1,72	28,90	30,62	21
5	Argila silto muito arenosa: dura, roxa e amarela	↓	1,91	30,62	32,53	25

Figura 58 - Perfil de solo e NSPT Avenida Paulista

O edifício apresenta 2 subsolos, térreo e mais 15 pavimentos, totalizando 18 andares.

A carga do pilar médio é dada por:

$$P_{pilar,med} = 200 \cdot N_{pavimentos} = 200 \cdot 18 = 3600 \text{ kN}$$

Por ser a opção mais econômica, verifica-se primeiramente a viabilidade de se utilizar sapatas:

A cota de apoio da sapata é de 3 metros * 2 subsolos + 1 metro = 7 metros

Nessa cota, pela Figura 59 temos aproximadamente de NSPT = 4.

Para que a sapata seja viável, a sua área total deve ser menor que a metade da área do edifício, logo temos que satisfazer a seguinte expressão:

$$\frac{\sigma_{\text{médio}}}{\sigma_{\text{adm},\text{sap}}} < 0,50 \Rightarrow \frac{10 \cdot N_{\text{pavimentis}}}{20 \cdot SPT_{\text{cota de apoio}}} < 0,50$$

$$\frac{10 \cdot 18}{20 \cdot 4} = 2,25 > 0,50$$

Portanto, a utilização de sapatas não é viável.

A carga considerando 3 estacas por pilar:

$$P_{\text{estaca,met}} = \frac{P_{\text{pilar,med}}}{3} = \frac{3600}{3} = 1200 \text{ kN}$$

Tendo em vista a figura abaixo, sabendo que as cargas no pilar e na estaca são relativamente altas, que o NA está na cota -14 m e que o terreno se encontra no meio da Avenida Paulista e, portanto, não podem ser escolhidas fundações, cujos métodos construtivos gerem muita vibração, excluimos as seguintes fundações:

Estacas broca, Strauss, Franki, pré-moldada de concreto, e tubulões a céu aberto.

Fonte: Coleção 5 da Disciplina de Fundações (2018)

ESTACAS	Tipo	Dimensões (cm) valor único = diâmetro	Carga de trabalho (kN)	eixo-eixo d (cm)	divisa-estaca a (cm)	borda-estaca c (cm)	Comprimentos Disponíveis (m)	Vantagens	Desvantagens
	Madeira	15 a 30	100 a 300	60	30	20	3 a 15	custo; durabilidade (abaixo do N.A.I) resistência a esforço de cravação e transporte	Apodrece acima do N.A.; necessidade de emendar cabeça com concreto; baixas cargas; preço alto em zona urbana
	Pré-moldada de Concreto	15x15 18x18 23x23 26x26 33x33	150 200 350 450 700	50 60 70 75 85	30 30 30 40 40	15 20 25 30 35	Sem emenda 4 a 10 4 a 14 4 a 14 4 a 14 6 a 14 emendas soldadas > 14 m	praticamente qualquer solo (exceto com cascalhos grossos e matacões!); rapidez de execução cargas variadas.	custo (em locais distantes dos grandes centros produtores); comprimento pré-determinado (mas permite emendas de boa qualidade); eventual dificuldade no transporte; vibração e ruído na cravação; peso dos elementos, necessidade de estocagem.
	Pré-Moldada de Concreto	20 26 33 38 42	200 350 500 700 850	50 65 75 90 100	30 30 30 35 35	20 25 30 35 40	Idem	Idem; peso menor; concreto de melhor qualidade.	Idem, mas com custo um pouco maior.
	Seção Circular	58 60 70	1300 1600 2300	125 150 175	35 40 40	50 60 70			
	Perfis de aço	composição de perfis I ou CS; 21 possíveis; trilhos	~ 100 x 10 ³ kPa para aço ASTM-A36 / MR-250	variável		20 a 30	qualquer, emendas por solda	qualquer solo (exceto com matacões!); grande resistência para cravação e transporte fácil emenda (solda).	Custo corrosão quando no solo acima do NA ou em lâmina d'água.
	Brocas	20 25 30	40 60 80	60 70 80	25 25 25	20 20 25	3 a 6	Custo Fácil execução	Qualidade do concreto inviável abaixo do N.A., em areias e silos, bem como em argilas orgânicas moles
	Escavadas com trado mecânico	25 30	150 250	75 90	25 30	35 40	3 a 11	comprimento variável	cargas muito baixas
	Tipo "Strauss"	20 25 32 38 45 55	150 200 300 400 600 800	60 75 90 115 135 165	15 20 20 25 30 35	20 20 25 30 30 35	máx. 15 a 20m, depende do equipamento.	Custo comprimento variável elimina transporte cargas variáveis	Qualidade do concreto risco de lavagem do concreto risco de estrangulamento de fuste Argilas orgânicas moles
	Tipo Franki Standard	35 40 52 60 70	50 70 130 170 300	100 120 150 180 210	60 30 80 90 90	30 30 35 40 45	5 a 15 5 a 30 5 a 30 5 a 30	Comprimento variável Boa qualidade do concreto Grandes cargas, (incl. não axiais!) Atravessa solos resistentes	vibrações elevadas e ruído risco de seccionamento do fuste em argilas orgânicas moles, bem como em argilas duras.

	Tipo	DIMENSÕES (cm)	CARGA DE TRABALHO (kN)	COMPRIMENTOS DISPONÍVEIS (m)	ALGUMAS VANTAGENS	ALGUMAS DESVANTAGENS
ESTACAS	Hélice contínua	Diâmetro 30 a 100	400 a 4000	Até 24 m	- Fácil execução; - Alta produtividade; - Não causa vibração; - Serve para quase todos os tipos de terreno (exceto com cascalhos grossos e malacões)	- Requer equipamento especial só disponível nas metrópoles; - Riscos executivos maiores em argilas orgânicas muito moles; - Dificuldade para descer armações (em especial as muito compridas)
	Estaca raiz	Diâmetro 10 a 40	Estimada admitindo-se $\sigma_{conc} = 10 \times 10^3$ kPa cargas de 150 a 1300 kN	Função do equipamento de perfuração (há notícias de ser possível atingir até 100 m)	Cargas elevadas Qualquer tipo de solo e rocha. Serve também (principalmente) para serviços de sub-fundação, reforços.	Custo muito alto, difícil controle de qualidade (risco de redução da reação da ponta). Exige equipamentos especiais e operadores qualificados.
	Estacas escavadas mecanicamente (abaixo do N.A com auxílio de lama bentonítica)	Circular (estação), diâmetro de 60 a 250	Calculada admitindo-se $\sigma_{conc} = 4 \text{ a } 5 \times 10^3$ kPa (concreto simples) carga de 800 a 20000 kN	Função do equipamento de perfuração (há notícias de ser possível atingir até 60 m)	Alta carga de trabalho	Custo alto, controle rigoroso de execução para minimizar riscos de comportamento insatisfatório (em especial, redução da reação da ponta).
	Estacas "Barrette"	Retangular 40 x 150 60 x 250 50 x 150 70 x 250 30 x 250 80 x 250 40 x 250 100 x 250	Idem acima, cargas até 12500 kN	Idem acima	Idem acima; utiliza os equipamentos para paredes diafragma, permitindo "sinergia" quando há tais paredes na obra.	Idem acima e maior dificuldade para atravessar "solos difíceis".
TUBULÕES	A céu aberto	60 cm (mínimo pr escavação mecanizada); 70 cm pr escavação manual	Calculada admitindo-se $\sigma_{conc} = 4 \text{ a } 5 \times 10^3$ kPa (concreto simples)	- Mínimo 4 m - Máximo é função do perfil do subsolo	Custo baixo; logística e equipamento; alta carga de trabalho; permite atravessar qualquer solo ou rocha acima do N.A.	Condições geotécnicas (solos pouco coesivos, NA em solos muito permeáveis). Execução muito artesanal.
	A ar comprimido	Externo: 120 cm mínimo (corresp. a 80cm interno)	$\sigma_{conc} = 6 \text{ a } 10 \times 10^3$ kPa cargas de 5000 a 12000 kN	Mínimo ~ 6m; Máximo ~ 25 m abaixo do N.A.	Serve para qualquer tipo de solo ou rocha e atravessa qualquer obstáculo.	Custo muito alto. Condições de segurança do trabalho muito restritivas para controlar risco. Produtividade baixa.

Figura 59 - Principais tipos de fundações profundas disponíveis

Portanto, as opções restantes são:

- Hélice contínua;
- Estacões;
- Estacas raiz;
- Tubulão à ar comprimido.

Estacões: seriam recomendáveis para cargas muito mais altas;

Tubulões: sua execução utiliza métodos mais rudimentares e pouco seguros, além disso, ocorre presença de lençol freático na profundidade 14 m, portanto seria necessária a execução dos tubulões à ar, que tem produtividade baixa se comparada a outras metodologias.

Estaca raiz: Tem diâmetros máximos reduzidos (até 500 mm).

Portando, a fundação escolhida para o projeto será estaca hélice contínua.

5.4.2. Detalhamento da fundação

Após a escolha do tipo de fundação é necessário fazer o seu dimensionamento, ou seja, definir a área da seção transversal e o comprimento (cota de apoio).

Serão dimensionados três tipos diferentes de estaca. Para isso serão escolhidos os pilares mais carregados, os pilares com carga média e um com carga baixa de cada tipo.

O pilar mais carregado apresenta uma carga de $F_{ck} \sim 1000 \text{ tf} = 10000 \text{ kN}$.

$$F_{ck} = 10000 \text{ kN} \text{ e } F_d = F_k \cdot \gamma; \gamma = \text{coeficiente de segurança} = 1,4$$

$$F_{cd} = 10000 \times 1,4 \Rightarrow F_{cd} = 14000 \text{ kN}$$

Considerando quatro estacas por pilar, temos:

$$F_{cd,e} = \frac{F_{cd}}{4} = \frac{14000}{4} \Rightarrow F_{cd,e} = 3500 \text{ kN}$$

Para que a tensão de serviço do concreto da estaca seja menor ou igual a $\sigma = 5 \text{ kN/m}^2$, o diâmetro da estaca é de:

$$\sigma = \frac{F_{cd,e}}{A_e} = \frac{4 \cdot F_{cd,e}}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cd,e}}{\pi \cdot \sigma}} = \sqrt{\frac{4 \times 3500}{\pi \times 5 \cdot 10^3}} \Rightarrow D = 0,944 \text{ m}$$

$$D_{adotado} = 1,00 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

Para calcular o comprimento da fundação e sua cota de apoio será utilizado o método de Decourt-Quaresma. Esse método utiliza um processo semiempírico de avaliação da capacidade da carga de estacas com base nos valores do ensaio SPT, do tipo de estaca e de alguns parâmetros do solo.

Pelo método de Decourt-Quaresma, a força resistente do solo (F_c) numa determinada profundidade é dada por:

$$F_c = \frac{P_L}{1,3} + \frac{P_P}{4};$$

$$P_P = A_P \cdot q_P = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \alpha \cdot K \cdot NSPT_P$$

$$P_L = A_L \cdot q_L = (\pi \cdot D \cdot L) \cdot \beta \cdot \left(\frac{NSPT_L}{3} + 1 \right)$$

Onde:

P_L = Força resistida pelo atrito lateral da estaca com o solo (tf);

P_P = Força resistida pela ponta da estaca (tf);

A_P = Área da ponta da estaca (m^2);

q_P = Atrito lateral da estaca com o solo (tf/m^2);

α = Coeficiente que varia em função do tipo de estaca e do tipo de solo;

K = Coeficiente que varia em função do solo (tf/m^2)

$NSPT_P$ = Número SPT de ponta;

A_L = Área lateral da estaca (m^2);

q_L = Tensão de ruptura de ponta da estaca (tf/m^2);

β = Coeficiente que varia em função do tipo de estaca e do tipo de solo;

$NSPT_L$ = Número SPT lateral.

A tabela abaixo mostra os valores de α , β e K , conforme o tipo de estaca e de solo.

Tabela 14 - Parâmetros para o método de Decourt-Quaresma

Solo / Estaca	α					
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob alta pressão	
Argila	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00	
Silte arenoso	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00	
Areia	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00	
	β					$K (tf/m^2)$
Argila	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00	12
Silte arenoso	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00	25
Areia	0,50	0,60	1,00	1,50	3,00	40

Fonte: Hachich et al (1998) - Adaptado

Sabendo que o solo é predominantemente composto por argila silto-arenosa e que as fundações são do tipo hélice contínua, os parâmetros utilizados nos cálculos serão:

$$\alpha = 0,30$$

$$\beta = 1,00$$

$$K = 25 \text{ tf/m}^2$$

Com base na Figura 59, temos os seguintes NSPT do solo:

Tabela 15 - Dados SPT do solo

Prof (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NSPT	0	4	4	4	4	4	4	22	22	22	22	22
Prof (m)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
NSPT	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

Fonte - Autor

Sabendo que a cota inicial da está na profundidade $z_i = 6 \text{ m}$ e considerando a cota de apoio da estaca em $z_f = 23 \text{ m}$ (tentativa e erro), temos:

Força de ponta (P_p):

$$NSPT_p = \frac{NSPT_{13} + NSPT_{14} + NSPT_{15}}{3} = \frac{22 + 22 + 22}{3} = 22,00$$

$$P_p = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \alpha \cdot K \cdot NSPT_p = \left(\frac{\pi \times 1,00^2}{4} \right) \times 0,3 \times 25 \times 22$$

$$P_p = 129,59 \text{ tf}$$

Força lateral (P_L):

$$NSPT_L = \frac{\sum_{i=7}^{n=z_f-1} NSPT}{z_f - 7} = \frac{4 + 15 \times 22}{23 - 7} = 20,88$$

$$P_L = (\pi \cdot D \cdot L) \cdot \beta \cdot \left(\frac{NSPT_L}{3} + 1 \right) = (\pi \times 1,00 \times (23 - 6)) \times 1,0 \times \left(\frac{19,43}{3} + 1 \right)$$

$$P_L = 425,03 \text{ tf}$$

Força resistente do solo (F_c):

$$F_c = \frac{P_L}{1,3} + \frac{P_P}{4} = \left(\frac{425,03}{1,3} + \frac{129,59}{4} \right)$$

$$F_c = 359,34 \text{ tf} = 3593,45 \text{ kN}$$

Fator de segurança (FS):

$$FS = \frac{F_c}{F_{vd,e}} \geq 1 \Rightarrow FS = \frac{3593,45}{3500,00}$$

$$FS = 1,03 > 1 \text{ (OK)}$$

Para os pilares do tipo com carga média e carga baixa temos:

$$F_{ck,med} = 66\% \times F_{ck,max} = 6600 \text{ kN}$$

$$F_{ck,med} = 33\% \times F_{ck,max} = 3300 \text{ kN}$$

Utilizando os mesmos parâmetros e dados SPT do solo, três estacas por pilar e aplicando o método de Decourt-Quaresma chegamos aos dados representados na tabela abaixo.

Tabela 16 - Dimensionamento das fundações

Pilar	Fck pilar	Fcd pilar	Fc,e	D	σ	zi	zf	L	Fc	FS
Carga	kN	kN	kN	m	kN/m ²	m	m	m	kN	
Máxima	3300	4620	1540	0,70	4,00	-6	-17	11	1598	1,04
Média	6600	9240	3080	0,90	4,84	-6	-23	17	3205	1,04
Baixa	10000	14000	3500	1,00	4,46	-6	-23	17	5593	1,03

Fonte: Autor

A distribuição das estacas deve ser feita, sempre que possível, em torno do centro de carga do pilar e de acordo com os blocos padronizados apresentados na Figura 61.

Fonte: Notas de aula de PEF 3405 - Fundações Profundas Principais Tipos e Métodos
Construtivos Dimensionamento em Planta Comprimentos

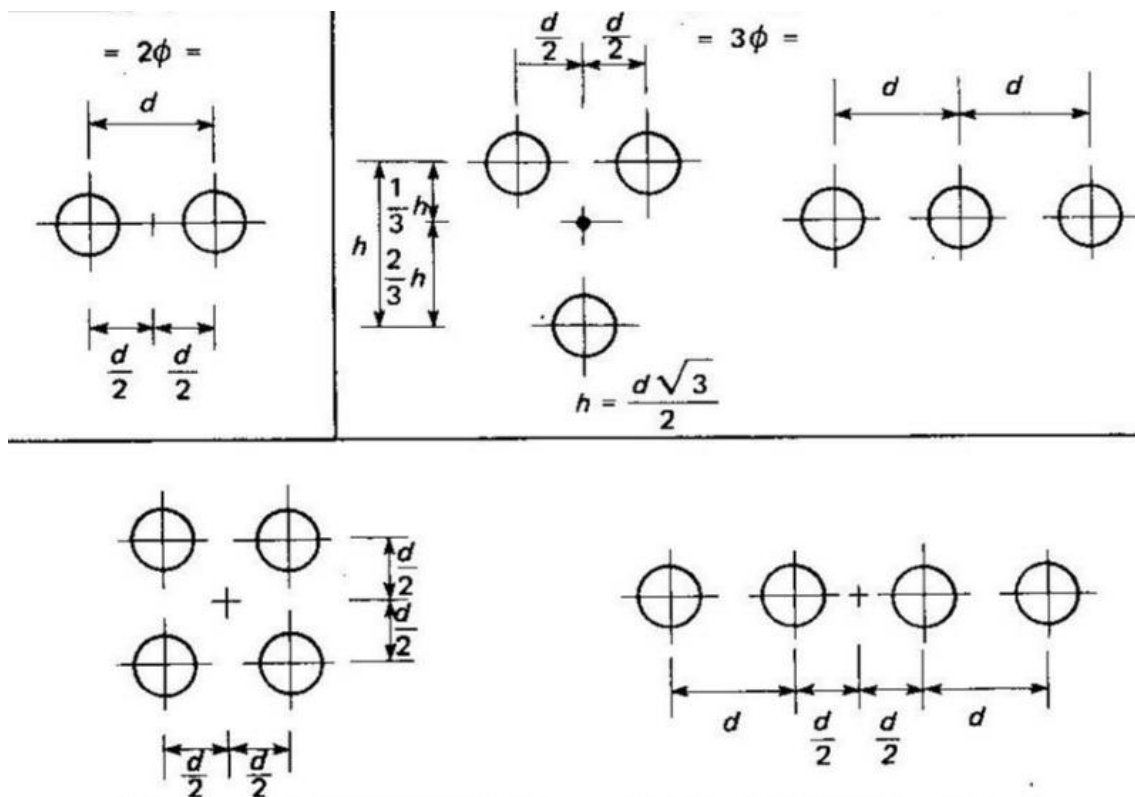


Figura 60 - Disposição das estacas

6. RESULTADOS

6.1. Arquitetura

Após a modelagem do edifício são geradas plantas e vistas tridimensionais. As primeiras já foram apresentadas no capítulo de desenvolvimento da arquitetura. Nas figuras abaixo temos o resultado do modelo tridimensional arquitetônico.

Fonte: Autor

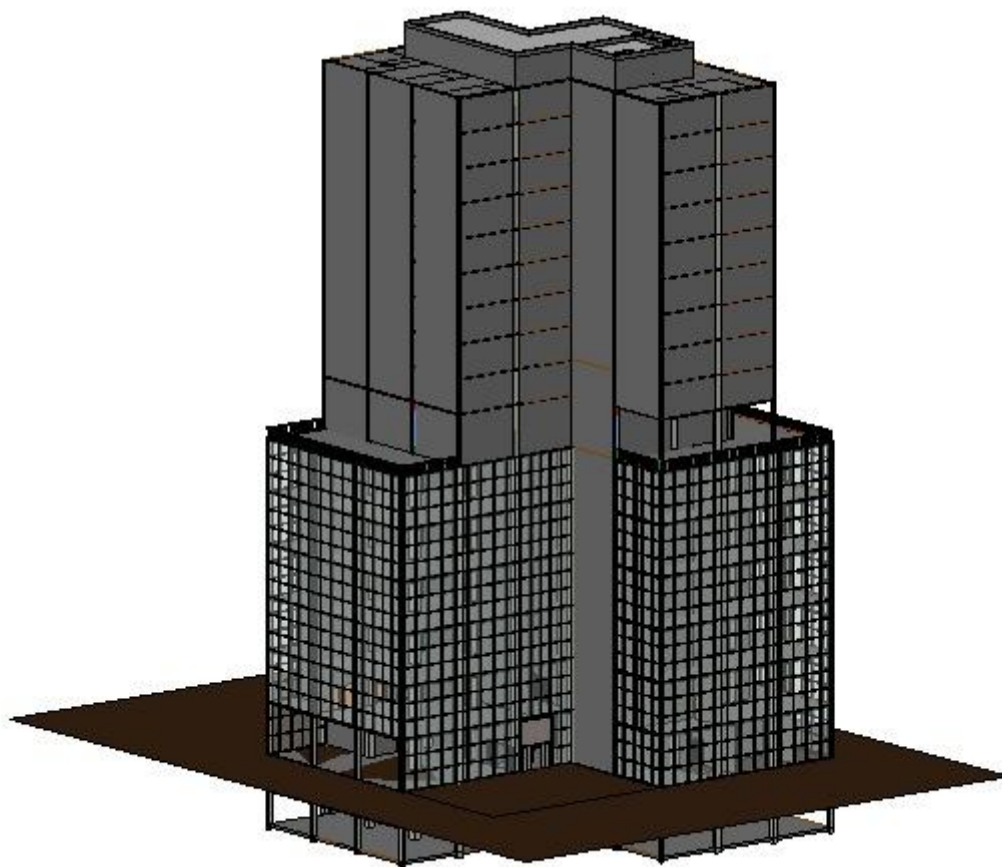


Figura 61 - Modelo 3D da arquitetura

Fonte: Autor



Figura 62 – Detalhe da entrada do edifício

6.2. Estrutura

Após a importação das plantas do *Revit* para o TQS, foram corrigidos eventuais erros e inseridas as cargas.

Com isso, foi feito o processamento global da estrutura para verificar a estabilidade geral do edifício e as cargas nos níveis da fundação.

No entanto, no primeiro processamento, a estrutura se apresentou instável, com deslocamentos horizontais elevados e cargas muito altas no nível da fundação, como mostrado na imagem abaixo.

Fonte: TQS

Avisos e erros - Edifício Projeto

Quantitativo

Classificação	Quantidade
Aviso/Leve	101
Aviso/Médio	30
Erro/Grave	4

Para maiores detalhes, entre no visualizador de erros.

Lista de erros graves

- Problemas de estabilidade e GamaZ elevado
- GamaZ excede limite para transferência de esforços
- Deslocamento horizontal alto no pórtico
- Deslocamento horizontal alto entre pavimentos

Existem erros graves. Para obter maiores detalhes, entre no visualizador de erros.

[Clique aqui](#) para abrir visualizador de erros

Figura 63 - Erro no processamento global do edifício

Para corrigir o erro foram feitas alterações na estrutura, tais como:

- 1) Mudança na seção de diversos pilares;
- 2) Acréscimo de alguns pilares e vigas;
- 3) Alteração da quantidade de tipos dos pilares. Inicialmente eram 6 tipos e nos pavimentos superiores a seção transversal era menor, passando para apenas 3 tipos de pilar e sem variação na seção;
- 4) Redistribuição de cargas na estrutura;
- 5) Aumento da resistência característica do concreto.

Essas mudanças foram sendo feitas, sempre acompanhadas da análise dos relatórios fornecidos pelo TQS e, após diversas mudanças estruturais e processamentos globais, a estrutura passou a ser estável, com deslocamentos horizontais baixos e cargas medianas nos pilares (Figura 65).

Fonte: TQS



Avisos e erros - Edifício Projeto

Quantitativo

Classificação	Quantidade
Aviso/Leve	35
Aviso/Médio	6
Erro/Grave	0

Para maiores detalhes, entre no visualizador de erros.

Lista de erros graves

Não existem erros graves.

[Clique aqui](#) para abrir visualizador de erros

Figura 64 - Processamento global sem Erro/Grave

Os resultados do modelo estrutural estão mostrados nas figuras abaixo.

Fonte: TQS



Figura 67 - Planta do 1º pavimento residencial

Fonte: TQS



Figura 68 - Planta do pavimento tipo comercial

Fonte: TQS



Figura 69 - Planta do térreo

Fonte: TQS



Figura 70 - Planta do subsolo

Fonte: TQS



Figura 71 - Modelo da estrutura completa em 3D

6.3. Fundação

Após a modelagem estrutural, foi feito o levantamento das cargas nos pilares, extraído da Planta de Cargas do TQS, em seguida foi feito o dimensionamento da fundação e, por fim, foi feito seu modelo no TQS.

Fonte: TQS

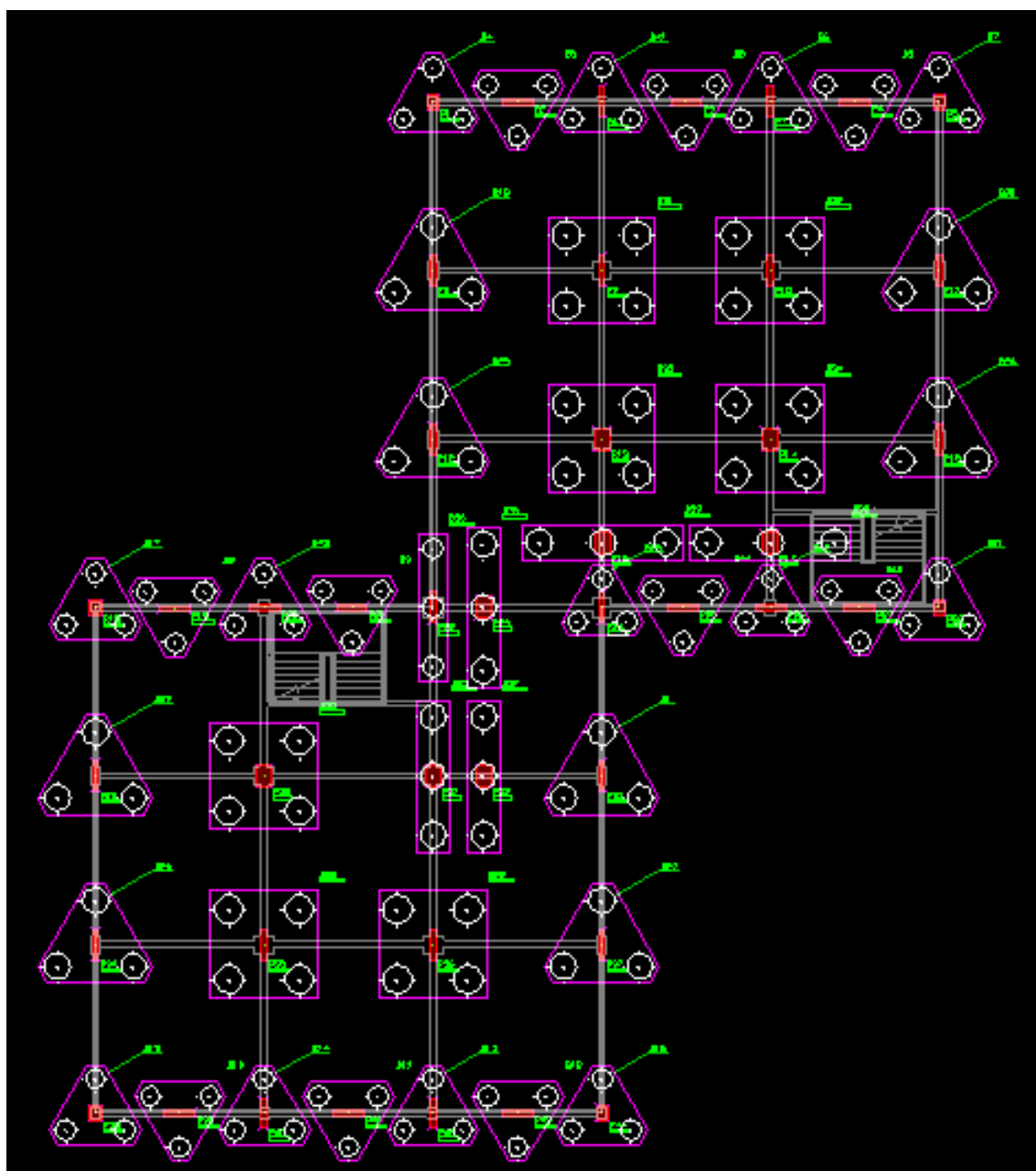


Figura 72 - Planta da fundação no TQS

Fonte: TQS

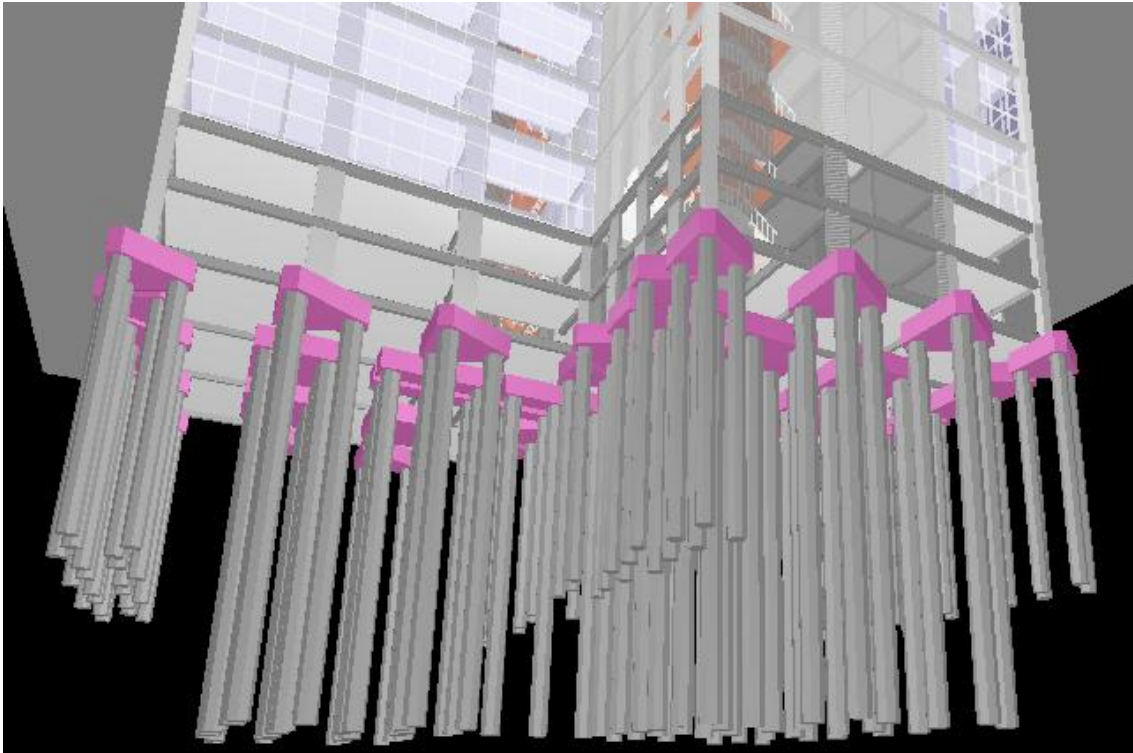


Figura 73 - Modelo 3D da fundação

7. CONCLUSÕES

O Trabalho de Formatura conseguiu unir em um único projeto diversas disciplinas como arquitetura, planejamento urbano, estruturas de concreto, fundações e geotecnia, modelagem e BIM.

O trabalho possibilitou a utilização de duas ferramentas para criar um modelo de edifício com diversas informações importantes de projeto, bem como analisar os erros ainda nesta fase.

Com a modelagem 3D das plantas de arquitetura já foi possível perceber uma maior facilidade para desenhar no *Autodesk Revit* em comparação ao processo tradicional no CAD, pois através do modelo tridimensional é possível extrair todas as vistas e cortes possíveis de maneira simples e, além disso, ao fazer uma alteração no modelo, as mudanças ocorrem automaticamente em todas as outras vistas.

Nessa experiência com o software, também foi possível ter a experiência com a detecção de falhas, pois ao tentar sobrepor uma parede em uma janela, por exemplo, o software gera uma mensagem de erro, alertando a sobreposição. Isso possibilita a construção de um projeto com informações mais confiáveis, evita desperdício, retrabalho e economiza tempo e dinheiro.

Com o *software* TQS, a experiência é semelhante, a partir do modelo tridimensional é possível extrair diversas informações, tanto das plantas, quanto do comportamento estrutural do edifício.

No TQS, as informações sobre a estrutura do edifício são completas. No modelo são inseridas todas as informações de geometria e cargas. O *software* faz o alerta sobre os possíveis erros de concepção estrutural e, após resolvê-los, é possível fazer o processamento do edifício.

O processamento consiste em toda a análise de estabilidade, distribuição de cargas, levantamento de diagramas de esforço solicitante, dimensionamento de armaduras, desenho de plantas de fôrma, e extração de quantitativos e custos

do concreto, das fôrmas e do aço, respeitando a norma NBR 6118 – Projetos de estruturas de concreto - Procedimento, de 2014.

Entretanto, ainda houve alguns problemas de interoperabilidade, pois para comunicar os modelos dos diferentes *softwares* foi necessário um *plugin* específico, além da ocorrência de alguns erros nas importações e exportações feitas.

Portanto, é perceptível que o processo BIM pode trazer diversas vantagens aos seus usuários durante todo ciclo de vida do empreendimento, desde os estudos de viabilidade até a demolição, tais como modelagem parametrizada, *clash detection*, trabalho mais colaborativo e melhor interoperabilidade. Porém ainda é necessário desenvolver mais os *softwares* e os modelos IFC, de forma que o BIM possa ser aplicado em todo seu potencial.

Por fim, o primeiro contato e experiência com o BIM foram muito positivos. Entretanto, para sua utilização é necessário modificar a cultura, o fluxo de trabalho e romper com as formas tradicionais de projeto e construção praticados hoje na Engenharia Civil.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Coletânea guias BIM ABDI-MDIC guia BIM – guia 01 – processo de projeto BIM**. Brasília, 2017.

AMORIN, R. L. A ET AL - **Diálogos Setoriais para BIM – building information modeling no Brasil e na União Europeia**, Brasília, 2015, 162 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR-6120** - Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

BARISON, M. B – **Introdução de Modelagem da Informação da Construção (BIM) no currículo – uma contribuição para a formação do projetista**. 2015, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BUILDING SMART SPAIN – GUIASUBIM – PARTE GENERAL, 2014. Disponível em: < <https://www.buildingsmart.es/>> Acesso em 7 mai. 2018.

CATELANI, W. S – **Seminário nacional – arquitetura e urbanismo: diálogo com o futuro**, Brasília, 2016.

CYPECAD SOFTWARE PARA CÁLCULO ESTRUTURAL DE EDÍFIOS. Disponível em: <<http://www.multipius.com/software/cypecad/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

DETALHAMENTO E DESENHO. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/sobre-o-sistema-cadtqs>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

HACHICH, W. ET AL (EDITORES) - **Engenharia Geotécnica e de Fundações: Teoria e Prática**. Pini, 1996, 275 p.

KHOSROWSHAHI, F. AND ARAYICI, Y. – **Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry**, 2012.

MATERIAL DO CURSO ONLINE DA ZIGURAT: DE CURSO BIM A0 – INTRODUÇÃO BIM. Disponível em: < <https://www.e-zigurat.com/courses/course/curso-bim-a0-introducao-ao-bim/>> Acesso em: 10 mai 2018.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS - **Decreto 9377/18**: apresentação de citações em documentos: procedimento. Brasília, 2018.

SANTOS, R. S. – **As dificuldades de implantar BIM no Brasil**, 2015 Disponível em: <<http://bimexperts.com.br/as-dificuldades-de-implementar-bim-no-brasil/>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

São Paulo (Cidade). Gestão Urbana da Prefeitura de São Paulo. **Plano Diretor Estratégico – Lei número 16.050 de 31 de julho de 2014**, São Paulo.

São Paulo (Cidade). Gestão Urbana da Prefeitura de São Paulo. **Parcelamento, uso e ocupação do solo – lei nº 16.402**, São Paulo, 2016.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – CADERNO DE APRESENTAÇÃO DE PROJETOS BIM, 2014. Disponível em: < <http://www.spg.sc.gov.br/visualizar-biblioteca/acoes/comite-de-obras-publicas/427-caderno-de-projetos-bim/file>> Acesso em 10 mai. 2018.

SISTEMA DE CONSULTA DO MAPA DIGITAL DA CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx>. Acesso em: 23 mai. 2018.

SUCCAR, B – **Building information modeling framework: A research delivery foundation for industry stakeholders**. Newcastle, 2009.

TQS – SOFTWARE CAD PARA CÁLCULO ESTRUTURAL DE CONCRETO ARMADO, PROTENDIDO E ALVENARIA: ANÁLISE, DIMENSIONAMENTO, DETALHAMENTO E DESENHO. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/sobre-o-sistema-cadtqs>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

ANEXO I

Elem	Todas permanentes e acidentais dos pavimentos					
	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Mz
P1	86.3	0.8	1.9	2.1	0.9	0.0
P2	85.4	0.7	0.8	-0.3	1.0	0.0
P3	82.8	0.2	0.8	-0.3	1.0	0.0
P4	85.3	-0.4	0.6	-0.2	1.0	0.0
P5	94.6	-0.6	1.5	2.5	-0.6	0.0
P6	174.2	0.3	1.8	6.1	0.1	0.0
P7	186.1	-0.1	1.7	6.5	0.0	0.0
P8	374.3	-6.4	0.4	-1.7	2.2	0.0
P9	762.9	2.3	0.3	-1.4	-0.5	0.0
P10	818.4	-2.6	0.1	-0.5	0.5	0.0
P11	414.3	6.5	-0.2	-0.2	-2.3	0.0
P12	445.0	-5.8	0.2	-0.8	1.9	0.0
P13	991.8	0.3	-0.4	-3.0	-1.9	0.0
P14	987.6	-0.9	-0.7	-3.4	2.2	0.0
P15	480.4	5.0	-0.3	1.6	-2.0	0.0
P16	482.6	-0.3	-0.4	-2.4	-0.2	0.0
P17	388.7	-0.5	-0.8	-2.4	-0.1	0.0
P18	224.8	1.0	0.6	2.3	0.8	0.0
P19	215.5	0.9	-0.5	0.0	-0.1	0.0
P20	232.9	0.7	4.1	1.2	-0.7	0.0
P21	173.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
P22	239.1	0.4	0.3	-1.1	0.1	0.0
P23	472.8	-0.6	0.2	-0.7	3.3	0.0
P24	335.4	1.7	0.1	2.1	-0.6	0.0
P25	158.6	-0.5	0.0	0.0	0.5	0.0
P26	164.7	-0.5	-0.4	0.1	-0.3	0.0
P27	155.9	-0.4	-0.1	0.0	-0.2	0.0
P28	166.8	-0.1	-1.3	-1.8	-0.3	0.0
P29	504.3	-6.3	-0.2	-2.3	2.2	0.0
P30	1087.3	1.0	-0.1	-2.0	-2.6	0.0
P31	693.5	1.1	0.1	1.3	-5.1	0.0
P32	497.5	-1.0	-0.1	-0.7	3.4	0.0
P33	397.5	2.5	-0.2	-0.5	-1.0	0.0
P34	370.9	-6.3	0.0	-0.6	2.1	0.0
P35	821.2	2.3	-0.2	-0.4	-0.4	0.0
P36	782.3	-1.9	-0.3	0.1	0.5	0.0
P37	366.0	6.6	-0.4	0.6	-2.1	0.0
P38	92.6	0.6	-1.5	-2.8	0.5	0.0
P39	81.5	0.5	-0.5	0.2	-1.3	0.0
P40	178.6	0.2	-1.6	-7.6	0.0	0.0
P41	84.3	0.0	-0.7	0.2	-1.3	0.0
P42	179.3	-0.1	-1.8	-7.2	0.0	0.0
P43	87.9	-0.4	-0.7	0.3	-1.3	0.0
P44	83.6	-0.5	-1.9	-2.3	-0.9	0.0
Soma	15789.1	0.0	0.0	-19.5	-1.4	0.0

Observações:

=====

- 1 - Os valores apresentados referem-se às reações nos apoios
- 2 - Esforços com valores característicos
- 3 - Forças em tfm
- 4 - Momentos em tfm
- 5 - Sistema de coordenadas GLOBAL
- 6 - A força X positiva empurra o apoio da esquerda para a direita
- 7 - O momento X positivo gira o apoio em torno do eixo X no sentido horário
- 8 - A força Y positiva empurra em planta o apoio de baixo para cima
- 9 - O momento Y positivo gira o apoio em torno do eixo Y no sentido horário
- 10 - A força Z positiva empurra o apoio de cima para baixo
- 11 - O momento Z positivo gira o apoio em torno do eixo Z no sentido horário
- 12 - CA é a cota de arrasamento/assentamento da fundação