



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CUSTO DE MATERIAIS DE UM EDIFÍCIO DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, CONSIDERANDO-SE A VARIAÇÃO DO SISTEMA
ESTRUTURAL.**

GUSTAVO MARTINS CARVALHO

UBERLÂNDIA/MG, DEZEMBRO DE 2019

GUSTAVO MARTINS CARVALHO

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CUSTO DE MATERIAIS DE UM EDIFÍCIO DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, CONSIDERANDO-SE A VARIAÇÃO DO SISTEMA
ESTRUTURAL.**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Faculdade de engenharia civil (FECIV), da Universidade Federal de Uberlândia como requisito exigido para a conclusão do curso de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Gustavo Delalibera

UBERLÂNDIA/MG, DEZEMBRO DE 2019

FOLHA DE ASSINATURAS

GUSTAVO MARTINS CARVALHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SEGUNDO SEMESTRE DE 2019

Através do termo de compromisso firmado entre mim, Gustavo Martins Carvalho – aluno do Curso de Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, fica firmada a realização da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Gustavo Delalibera

UBERLÂNDIA/MG, DEZEMBRO DE 2019

Assinaturas:

Gustavo Martins Carvalho – Aluno

Dr. Rodrigo Gustavo Delalibera – Professor Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado energia e determinação, me guiando ao longo deste caminho, me ajudando a superar os variados obstáculos e me permitindo concluir um curso superior gratificadamente.

Agradeço aos meus pais, Moisés e Ângela, por serem exemplos de dedicação, apoio constante e força. Sem vocês nada disso seria possível para mim. Todo carinho e suporte foram essenciais para minha luta e, por isso, me dedico a ser melhor mais e mais a cada dia.

Ao meu grande irmão Alexandre, por ser exemplo de dedicação e ambição, por estar do meu lado em vários momentos que tanto significaram em minha vida, por me admirar e sempre provocar o melhor que tenho a oferecer.

Agradeço a todos os familiares, todo o apoio, sob qualquer forma, foi importantíssimo para minha jornada. Não estaria aqui se não houvesse pessoas que me amam incondicionalmente como vocês.

Ao meu professor orientador Rodrigo Gustavo Delalibera pela orientação e toda dedicação ao meu trabalho, pela confiança a mim depositada, por ser um exemplo de profissional com total seriedade e comprometimento que vou levar para a vida, por toda ajuda e suporte oferecidos e pela amizade.

Agradeço a todos profissionais com quem convivi, em especial os meus primeiros “chefes” Joao Paulo Alamy e Elson Júnior. Estes que me ensinaram como transformar a teoria em prática evidenciando a responsabilidade de um engenheiro aconselhada ao lado humano e mostrando os caminhos virtuosos de um bom profissional da engenharia. Sem estes ensinamentos eu não poderia exercer bons princípios no trabalho profissional. Obrigado pela pelo carinho e total apoio.

À todos os meus professores por toda contribuição durante minha formação com conhecimentos técnicos, experiências e valores, realmente fizeram diferença para a minha formação profissional e pessoal.

Aos meus amigos, que muitas vezes me proporcionam momentos de alegria em meio a dificuldades, que sempre estão ao meu lado me apoiando não importa o que aconteça. Vocês sempre serão minha segunda família.

Resumo

A concepção estrutural parte da premissa de se estabelecer um arranjo dos vários elementos estruturais da forma mais adequada possível, devendo-se atender aos aspectos desejados de estética, segurança e economia para o empreendimento. Nos edifícios de múltiplos pavimentos pode-se optar por diferentes tipos de sistemas estruturais, levando em análise a superestrutura e a infraestrutura da edificação. Escolhendo o modelo adequado, se faz possível a análise global do edifício e seu comportamento perante os elementos adotados em relação aos esforços solicitados, gerando assim, a análise do sistema estrutural. Desta forma, foram considerados quatro sistemas estruturais desenvolvidos a partir de uma única planta arquitetônica, estes sistemas se diferenciaram um ao outro pelo tipo de laje adotada, sendo elas: lajes maciças, lajes nervuradas, lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção e em duas direções. Os sistemas estruturais foram lançados no “software” AutoQI Eberick 2020, analisando assim, o comportamento global das edificações em estudo, gerando relatórios sobre parâmetros fundamentais como estabilidade global e deslocamentos horizontais. A partir de uma análise crítica, se faz possível um estudo comparativo entre os sistemas estudados, objetivando a solução ideal para a situação a qual a estrutura está submetida. Sabe-se que cada projeto apresenta suas particularidades, entretanto, este trabalho tem como objetivo direcionar o engenheiro a optar pela opção mais eficiente e econômica sobre os sistemas estruturais estudados, tendo como influência as condições de mercado atual.

Palavras chaves: sistemas estruturais, edificações, análise global, econômica.

Abstract

The structural conception starts from the premise of establishing an arrangement of the various structural elements as adequately as possible, taking into account the desired aspects of aesthetics, safety and economy for the enterprise. In multi-storey buildings, different types of structural systems can be chosen, taking into consideration the building superstructure and infrastructure. Choosing the appropriate model, makes possible to do the global analysis of the building and its behavior in relation to the adopted elements and the requested efforts, generating the analysis of the structural system. Therefore, we considered four structural systems developed from a single architectural plan, these systems differed from each other by the type of slab adopted, namely: solid slabs, ribbed slabs, precast ribbed slabs trussed in one direction and into both directions. Structural systems were launched in AutoQI Eberick 2020 software, where it was analyzed by the overall behavior of the buildings under study, generating reports on fundamental parameters such as global stability and horizontal displacements. From a critical analysis, it is possible to make a comparative study between the studied systems, aiming at the ideal solution for the situation to which the structure is submitted. It is known that each project has its particularities, however, this work aims to direct the engineer to choose the most efficient and economical option on the structural systems studied, influenced by the current market conditions.

Keywords: structural systems, buildings, global analysis, economic.

Lista de Figuras

Figura 1 - Perfil e corte da base arquitetônica do edifício em estudo.....	20
Figura 2 - Lançamento de vigas e pilares pré-dimensionadas.....	23
Figura 3 – Ensaio SPT 1.....	24
Figura 4 – Ensaio SPT 2.....	25
Figura 5 – Classe de concreto referente a cada elemento e seus cobrimentos.....	26
Figura 6 – Classe de agressividade ambiental.....	27
Figura 7 – Velocidade característica do vento.....	27
Figura 8 – Parâmetros adotados para consideração do vento.....	28
Figura 9 – Planta de laje maciça.....	30
Figura 10 – Corte de laje maciça.....	30
Figura 11 – Planta de laje nervurada com viga.....	31
Figura 12 – Corte de laje nervurada com viga.....	31
Figura 13 – Vigota treliçada.....	32
Figura 14 – Planta de laje nervurada pré-moldada treliçada em uma direção.....	33
Figura 15 – Corte de laje nervurada pré-moldada treliçada em uma direção.....	33
Figura 16 – Planta de laje nervurada pré-moldada treliçada em duas direções.....	34
Figura 17 – Corte de laje nervurada pré-moldada treliçada em duas direções.....	35
Figura 18 – Momento de segunda ordem.....	36

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resumo do coeficiente Gama-Z nos modelos estruturais.....	38
Tabela 2 – Deslocamento-limite horizontal dividido à ação do vento do modelo 1.....	39
Tabela 3 – Deslocamento-limite horizontal dividido à ação do vento do modelo 2.....	39
Tabela 4 – Deslocamento-limite horizontal dividido à ação do vento do modelo 3.....	39
Tabela 5 – Deslocamento-limite horizontal dividido à ação do vento do modelo 4.....	40
Tabela 6 – Carga admissível geotécnica e nominal para cada diâmetro da estaca hélice contínua.....	41
Tabela 7 – Cargas totais máximas de fundação para cada modelo.....	41
Tabela 8 – Resumo de gastos de materiais e custo dos modelos estruturais.....	43

SUMÁRIO

1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2	INTRODUÇÃO	16
3	OBJETIVOS	18
4	SOFTWARE AUTOQI EBERICK 2020.....	18
5	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	20
5.1	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	20
5.1.1	LANÇAMENTO DE PILARES.....	21
5.1.2	LANÇAMENTO DE VIGAS.....	22
5.2	MODELAGEM DO PAVIMENTO.....	22
5.3	SONDAGEM E ESCOLHA DA FUNDAÇÃO	23
5.4	CONSIDERAÇÕES GERAIS DOS MODELOS ESTRUTURAIS.....	25
5.5	AÇÕES PERMANENTES E VARIÁVEIS.....	26
6	SISTEMAS ESTRUTURAIS	28
6.1	MODELO 1 – LAJES MACIÇAS	28
6.2	MODELO 2 – LAJES NERVURADAS	29
6.3	MODELO 3 – LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS EM UMA DIREÇÃO	31
6.4	MODELO 4 – LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS EM DUAS DIREÇÕES	33
7	PROCESSAMENTO	34
7.1	ESTABILIDADE GLOBAL.....	35
7.2	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS	37
7.3	CARGAS DE FUNDAÇÃO	39
8	RESULTADOS: CONSUMO DE MATERIAIS	40
9	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	45

ANEXO A - Disposição dos elementos representados em planta do pavimento tipo de cada modelo estrutural.....	47
ANEXO B - Resultados dos cálculos de coeficiente Gama-Z (γ_z) dos modelos 1, 2, 3 e 4.....	51
ANEXO C - Carga de fundação para cada pilar de acordo com cada modelo estrutural.....	52
ANEXO D - Plantas de locação das estacas da fundação de cada modelo estrutural.....	54
ANEXO E – Modelo 1 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento.....	58
ANEXO F – Modelo 2 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento.....	62
ANEXO G – Modelo 3 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento.....	66
ANEXO H – Modelo 4 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento.....	70
ANEXO I - Tabela de comparação de custos totais e por pavimento de cada modelo estrutural.....	74

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Assim como qualquer procedimento a ser seguido, a construção de um edifício possui etapas preliminares fundamentais, sendo elas a elaboração de projetos e sondagem do local escolhido para a construção do empreendimento, viabilidade econômica, análise cadastral, entre outros. Um erro bastante comum entre construtoras e construtores, construir sem o entendimento das características do solo que sustentará sua edificação pode contribuir para a insegurança da estrutura causadas por mal dimensionamento dos elementos constituintes.

Segundo a ABNT NBR 6122:2019, em estruturas nas quais a deformabilidade das fundações pode influenciar na distribuição de esforços, deve-se estudar a interação solo-estrutura, devendo ser consideradas as ações permanentes (peso próprio, sobrecarga permanente, empuxo etc.), variáveis (sobrecargas variáveis, impactos, vento etc.) e excepcionais.

De acordo com Dos Santos (2011) a estrutura de uma edificação apresenta um valor aproximado de 25% do custo total, sendo que ela define a forma dos pavimentos, a distribuição dos elementos e garante a estabilidade da edificação. Através de uma escolha adequada e dando a importância adequada à fase de desenvolvimento dos projetos, pode-se levar o desenvolvimento do empreendimento a uma economia no valor final, considerando que a estrutura pode influenciar na redução dos custos na fase de projeto e execução.

Juntamente com a concepção de estruturas, o estudo sobre o concreto armado foi se desenvolvendo e, juntamente com o crescimento da informática e da programação, a formulação de projetos foi guiada por métodos e programas de cálculo e desenho que deram impulso a criação de projetos cada vez mais desafiadores. Porém, cabe dizer que os engenheiros devem se manter atentos às limitações do uso de “softwares” no desenvolvimento de projetos.

O projeto estrutural visa o dimensionamento dos elementos constituintes da estrutura, se preocupando essencialmente com a segurança, durabilidade e economia da estrutura. A concepção estrutural de um edifício, também chamada de lançamento estrutural, consiste no estabelecimento dos vários elementos estruturais de tal forma a garantir que o edifício atenda às finalidades para as quais foi projetado. O arranjo estrutural adequado deve atender ao mesmo

tempo todos os aspectos essenciais e seguir da melhor maneira possível o arranjo arquitetônico, dado que o mesmo é a base de todo e qualquer projeto estrutural (ALVA, 2007).

A estrutura é o conjunto de elementos concebidos pelo engenheiro e arquiteto, sendo ela, dependente de várias premissas de projeto para seu desenvolvimento. Estas premissas estão ligadas ao comportamento estrutural das peças, à estética, à qualidade e oferta de materiais e mão-de-obra disponíveis no mercado etc., que devem ser analisadas para se chegar à melhor solução.

Segundo Giongo (2007), para o levantamento do arranjo estrutural mais adequado é preciso conhecer os elementos e o comportamento estrutural dos mesmos. Cada elemento que compõe a edificação deve ter sua função de acordo com as cargas solicitantes e abranger as exigências de segurança quanto aos Estados Limites Últimos e de Serviço da estrutura.

O início da concepção estrutural consiste na elaboração de um pré-dimensionamento dos elementos estruturais. Com base em projetos arquitetônicos e conhecendo a finalidade da edificação, é possível determinar, através de diferentes métodos, o arranjo estrutural do empreendimento, determinando posicionamento de cada elemento e definindo as diversas interligações entre eles.

De acordo com Moliterno (1982), o desenvolvimento de qualquer estrutura consiste em seguir primordialmente dois passos de maneira repetitiva sucessivamente. O primeiro consiste em determinar ou estimar as dimensões dos elementos em projeto, e o segundo, fazer todas as verificações de estabilidade em relação aos esforços atuantes.

O pré-dimensionamento é guiado por vários métodos diferentes, cabendo ao engenheiro responsável adotar o que melhor lhe convém, sendo que, posteriormente, este deve colocar a edificação em análise para com os esforços solicitantes e, caso necessário, fazer o redimensionamento dos elementos.

O objetivo principal de uma estrutura é resistir às ações atuantes, de modo que seja possível executar uma obra de engenharia que cumpra com as finalidades exigidas em escopo. Entretanto, é preciso que a estrutura resista aos esforços de forma racional, com bom aproveitamento das características dos materiais e dos elementos, e que atenda devidamente as

necessidades arquitetônicas e funcionais da edificação com custo condizente com a realidade do empreendimento, sem que a segurança seja comprometida (FIGUEIREDO FILHO, 1989 *apud* TAKEYA *et al.*, 1985).

Devido ao grande número de sistemas estruturais encontrados no mercado da construção civil, cabe aos profissionais optar pelo melhor conjunto de elementos a fim de atender a proposta de cada projeto e suas peculiaridades (SPOHR, 2008).

À medida que os materiais vão se aperfeiçoando, são propostos, nos projetos arquitetônicos, vãos cada vez maiores e elementos mais esbeltos em suas concepções. Desta forma, a utilização de lajes maciças em concreto armado deixou de ser economicamente viável, sendo proposto assim, outros modelos como lajes nervuradas, lajes treliçadas em uma direção e lajes treliçadas em duas direções, entre outras.

A laje é um elemento plano em formato de placa, onde uma de suas dimensões é bastante inferior às outras duas dimensões que compõe o elemento. Sua função principal é servir de piso ou cobertura nas construções, desta forma, recebe esforços verticais variados em relação à sua finalidade. Estas ações podem ser definidas como ações distribuídas em área, ações distribuídas linearmente ou ações concentradas.

Os esforços recebidos pelas lajes, somados as cargas de peso próprio do próprio elemento, são transmitidos para as vigas, as quais transmitem estes esforços somados aos seus de origem para os pilares, que, por consequência, transmitem os esforços acumulados à fundação. Os modelos de lajes alternativas foram desenvolvidos com objetivo de reduzir as cargas originadas pelo peso próprio dos elementos, mantendo sua função estrutural e garantindo os requisitos de segurança.

Um dos modelos propostos é o uso de lajes nervuradas. De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 as lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. Desta forma, o comportamento do conjunto nervura (viga) e mesa (laje) é semelhante ao de uma viga de seção T.

O uso de lajes treliçadas tem concepção semelhante às lajes nervuradas, podendo ser armadas em uma direção principal longitudinal, ou em duas direções, longitudinalmente e transversalmente, de forma que as barras de aço ficam dispostas nas nervuras na parte inferior da laje.

Resultantes da eliminação do concreto abaixo da linha neutra, elas propiciam uma redução do peso próprio e um melhor aproveitamento do aço e do concreto. A resistência à tração é concentrada nas nervuras, e os materiais de enchimento tem a função única de preencher o espaço antes feita pela parte do concreto cuja função estrutural não estava sendo aproveitada no modelo de laje maciça.

Além de modelos e escolhas a serem feitas em relação a superestrutura, algumas decisões devem ser feitas em relação à fundação da edificação. Assim como os outros elementos constituintes da edificação, para a escolha da fundação deve-se analisar os esforços atuantes, as condições e características naturais do solo e os elementos externos como material e mão-de-obra qualificada.

As reações de apoio de uma estrutura, antes de serem absorvidas pelo solo, devem passar pelos elementos de fundação. Ao projetar uma estrutura, supõe-se que este conjunto seja capaz de garantir a indeslocabilidade da base dos pilares. Baseando-se nesta hipótese, grande parte dos projetos estruturais são elaborados considerando a estrutura sobre base rígida e indeslocável (ANTONIAZZI, 2011).

Com a finalidade de determinar os esforços na totalidade da estrutura, os modelos estruturais consideram composições de um ou mais tipos de elementos estruturais, ou seja, decomposições da estrutura. Entre eles destacam-se os modelos de vigas contínuas, pórticos planos e pórticos espaciais. De acordo com Libânio (2006), sabe-se que a análise de uma estrutura, via modelos que a representem como um todo, é a mais precisa e, portanto, a mais indicada.

O objetivo da análise estrutural é identificar os efeitos das ações em uma estrutura, em suas diversas possibilidades de combinações, com a finalidade de efetuar as verificações dos estados-limites último e de serviço (FIGUEIREDO FILHO & CARVALHO, 2008). Segundo a ANBT NBR 6118:2014, as estruturas de concreto armado devem ser projetadas de tal forma

a atender aos requisitos mínimos de capacidade resistente, de desempenho em serviço e durabilidade.

Os esforços calculados a partir da geometria inicial da estrutura, sem deformação, são chamados de efeitos de primeira ordem. Aqueles advindo da deformação da estrutura são chamados de efeito de segunda ordem. A consideração dos efeitos de segunda ordem conduz a não linearidade entre as ações e deformações, chamada de não linearidade geométrica. A consideração da fissuração e fluência do concreto conduz também a uma não linearidade entre ações e deformações, chamada de não linearidade física. As deformações existentes nas estruturas permitem calcular os efeitos de Segunda ordem, que podem ser divididos em Efeitos Globais e Locais, e em Localizados de Segunda Ordem.

Ao final do projeto, cabe ao engenheiro de estruturas, buscar, entre todas as possibilidades, àquela que melhor atende as premissas de projeto, tendo em vista imposições arquitetônicas para a escolha do sistema estrutural. Mesmo assim, além de atender às questões de segurança e durabilidade, é fundamental que ele busque a estruturação mais econômica para seu projeto (ALBUQUERQUE, 1999).

2 INTRODUÇÃO

O cenário da engenharia civil, principalmente falando da construção de edificações, requer planejamento minucioso já que o investimento econômico e o tempo dispostos para a construção de tais empreendimentos são elevados. Analisando o cenário da construção civil ao longo dos anos, não somente no Brasil, percebemos sua característica cíclica, onde há tempos de grandes investimentos e tempos frios, sem muitos investimentos.

Diante deste contexto, a preocupação por soluções construtivas mais econômicas se tornou cada vez mais importante entre empreiteiras e projetistas. Diante da evolução dos métodos de construção, dos sistemas estruturais, dos programas computacionais e do desenvolvimento e estudo de materiais específicos, foram desenvolvidas várias opções construtivas para que se tenha um melhor aproveitamento econômico e estrutural da edificação.

Em tempos passados, com projetos arquitetônicos simples e limitações de recursos, acabávamos por adotar métodos construtivos que hoje em dia são traduzidos em desperdício de tempo e dinheiro, na maioria das vezes eram concebidas edificações com sistema construtivo de concreto armado e lajes maciças, aumentando consideravelmente o consumo de material e esforços verticais na estrutura.

Com o avanço dos materiais de construção civil e o desenvolvimento de novos métodos construtivos juntamente com a criação de novos softwares, foi possível a utilização de materiais mais resistentes, cálculo mais preciso e análise estrutural mais eficiente. Desta forma foi possível diversificar soluções estruturais mais adequadas e econômicas para suprir necessidades diversas em relação a tempo, investimento financeiro, mão-de-obra local, disposição de tecnologia entre outras.

Primando pela eficiência estrutural e produtividade com melhor aproveitamento econômico, as construtoras começaram a utilizar métodos construtivos de maior aproveitamento dos materiais e suas características como lajes nervuradas, lajes treliçadas em uma direção, ou em duas direções, lajes cogumelo etc... Desta forma projetos mais elaborados, com vãos maiores e arquiteturas extravagantes foram cada vez mais cobiçadas pelas construtoras e pelos projetistas.

Possuindo um vasto leque de opções de sistemas estruturais, profissionais e contratantes devem analisar todas as premissas e limitações de projeto (material e mão-de-obra existentes na região, possibilidade da execução do projeto, investimento adotado, entre outros), de modo a optar pela solução que melhor se ajuste ao empreendimento.

Desta maneira, este trabalho tem finalidade de apresentar uma análise comparativa de quantitativos entre os diferentes sistemas estruturais utilizados, também como fatores que influenciam na variação de custo entre eles, indicando assim, opções que melhor satisfazem o desenvolvimento do projeto como um todo assim como a parte contratante.

Utilizando-se de um edifício base, os modelos concebidos tiveram suas estruturas apresentadas por várias tipologias de lajes, sendo elas: lajes maciças, lajes nervuradas moldadas in loco, lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção com enchimento de EPS e lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções com enchimento de EPS. Foram considerados todos os esforços solicitantes e ações externas, como as originadas pelo vento. A análise da estrutura foi realizada considerando-se a infraestrutura indeslocável, ou seja, a estrutura engastada na fundação.

Para cada proposta foram realizados análise, dimensionamento e custo de toda estrutura em questão, envolvendo gastos de concreto, aço, forma e materiais de enchimento. Para isso foi utilizado o software AltoQi Eberick versão 2020. O detalhamento dos elementos foi aprimorado para que eles resistissem a todos os esforços neles aplicados e, também, satisfazendo questões de segurança nos Estados Limites Últimos e de Serviço da estrutura.

3 OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho são:

- I. Análise de sondagem e escolha de fundação adequada;
- II. Analisar o comportamento global de sistemas estruturais considerando os tipos de lajes e carregamentos;
- III. Desenvolver uma análise econômica para os tipos de lajes analisados;

4 SOFTWARE AUTOQI EBERICK 2020

O projeto de uma estrutura consiste basicamente na análise do comportamento do sistema, na concepção estrutural do edifício, em conformidade com as normas técnicas brasileiras referente aos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) e no detalhamento em pranchas (forma, armação e locação) para a execução no canteiro de obras. Por fim, um projeto estrutural de

qualidade tem de atender a um conjunto de requisitos, como a segurança, a funcionalidade, a durabilidade, o desempenho e a possibilidade de ser executado, economicamente ou fisicamente.

Os programas computacionais, disponíveis no mercado, permitem ao engenheiro projetista um desenvolvimento de seus projetos de forma mais ágil, desde que o faça com grande responsabilidade devido à grande complexidade dos empreendimentos, fazendo a verificação dos resultados gerados pelo software.

Para o trabalho em questão, foi usado o programa computacional da empresa AutoQi de projetos e processamentos estruturais chamado Eberick, versão do ano de 2020. É de extrema importância que o profissional atuante do projeto estrutural conheça as Normas Técnicas Nacionais vigentes e as aplique no projeto juntamente com o programa, sendo elas:

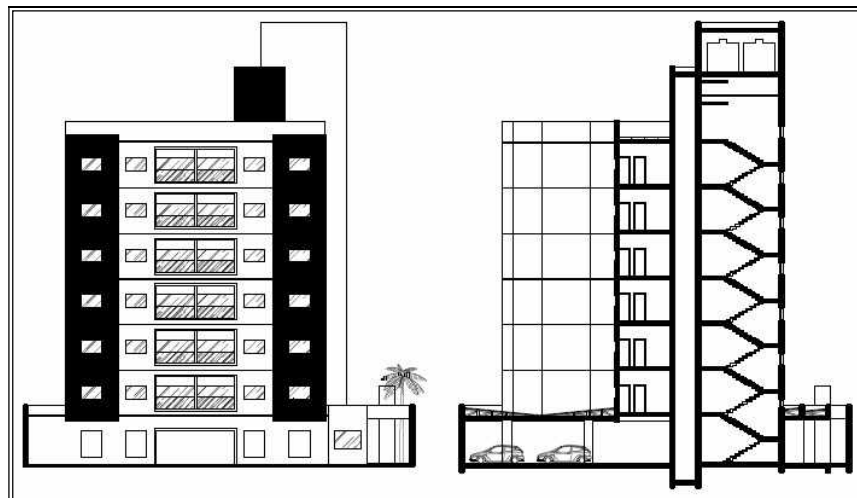
- ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento
- ABNT NBR 6120:2017 (REV09) – Ações para o cálculo de estruturas de edificações
- ABNT NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações
- ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações
- ABNT NBR 8681:2002 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento
- ABNT NBR 9050:2015 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos
- ABNT NBR 14860-1:2002 – Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais
- ABNT NBR 14860-2:2002 – Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 2: Lajes bidirecionais

5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

5.1. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

O trabalho foi desenvolvido a partir de uma base arquitetônica, um edifício constituído de onze pavimentos (Figura 1), sendo eles: um térreo, seis pavimentos tipo, uma cobertura, um nível para o barrilete, um nível para o reservatório e por fim, um nível para laje impermeabilizada. A partir do pavimento tipo, foram lançados os pilares, as vigas e as lajes, todos de acordo com o modelo estrutural a ser seguido. Para este trabalho, foi de grande importância a tentativa de manter a disposição dos elementos, de modo que a comparação futura entre os edifícios concebidos seja mais fiel e tenha mais fundamento.

Figura 1 – Perfil e corte da base arquitetônica do edifício em estudo (sem escala)



Fonte: Autor (2019)

Para a concepção estrutural do edifício procurou-se manter as condições definidas no projeto arquitetônico, de modo a tentar ao máximo embutir as vigas e os pilares nas alvenarias. Procurou-se, também, definir a transferência de cargas de um pavimento a outro da maneira mais direta possível, evitando apoios indiretos (apoio de vigas sobre vigas) e vigas de transição, deste modo o posicionamento dos elementos estruturais procurou manter o comportamento primário dos mesmos.

Com o objetivo principal de comparação dos resultados e dos elementos, uma premissa seguida foi a de procurar manter os elementos estruturais com dimensões uniformes, mantendo a simetria dos pavimentos sempre que possível. Como o edifício em planta possui dimensões inferiores a 30 metros, foi dispensada o uso de juntas de dilatação para efeito de variação de temperatura.

Além da semelhança entre os elementos constituintes da edificação, algumas condições externas foram determinadas como comuns aos quatro tipos de sistema estruturais estudados, como por exemplo o tipo do solo, com análise de sondagem SPT, e a localização da edificação, determinando assim, a intensidade do vento e os parâmetros para calcular seus esforços.

5.1.1 LANÇAMENTO DE PILARES

Os pilares são, normalmente, de seção retangular e posicionados nos cruzamentos das vigas, permitindo o apoio direto destas. O distanciamento entre um pilar e outro constitui o vão da viga, distância esta que variou para cada sistema estrutural. Sua largura foi definida pela largura da alvenaria (dezenove centímetros), possuindo comprimento variado. Em relação ao posicionamento dos pilares de diferentes pisos, estes foram locados procurando manter a continuidade vertical do primeiro ao último nível, e em relação ao edifício, eles foram locados de tal forma que sua direção de maior inércia fosse a mesma direção de menor inércia do edifício, portanto, aumentando a estabilidade global do sistema estrutural.

Para efeito de pré-dimensionamento, a área da seção transversal de cada pilar foi pré-dimensionada através da carga total prevista para cada pilar. Esta carga foi estimada pela área de influência total para cada pilar, que, através de estudos, sabe-se que a carga total média em edifícios varia de 10kN/m^2 a 12kN/m^2 . Respeitando a ABNT NBR 6118:2014, a seção transversal dos pilares deve possuir área superior a 360 cm^2 , e sua menor dimensão deve ser superior a dezenove centímetros, salvo em situações que se considere um coeficiente adicional como multiplicador de esforços solicitantes de cálculo.

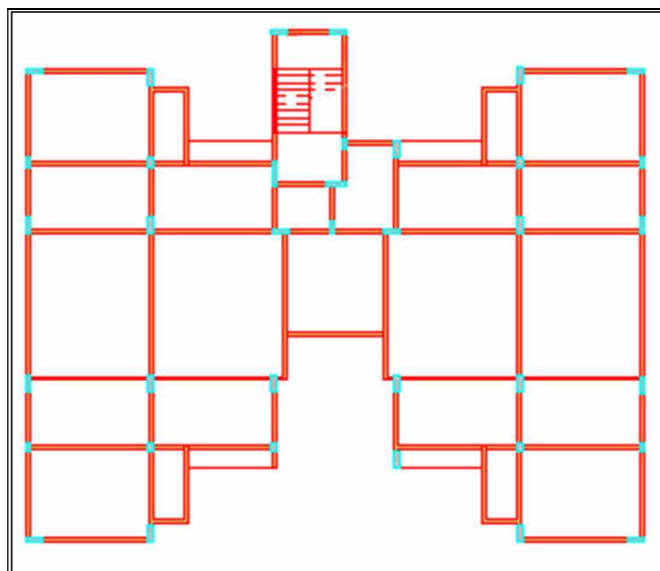
5.1.2 LANÇAMENTO DE VIGAS

As vigas são, geralmente, de seção transversal retangular e posicionadas nos alinhamentos das paredes, com espessura embutida na parede. A altura da seção transversal da viga, para vigas bi apoiadas ou contínuas, pode ser estimada pelo valor do vão entre as extremidades da viga dividido por um valor entre dez a doze, dependendo da localização da viga referente a estrutura (tramo interno ou externo). Para trechos em balanço, a altura da viga pode ser estimada pelo valor do vão dividido por cinco.

5.2 MODELAGEM DO PAVIMENTO

Com a determinação do pré-dimensionamento de pilares e vigas, foi feito o lançamento dos elementos, de modo a configurar a modelagem estrutural do pavimento tipo da edificação (Figura 2). Inicialmente, as dimensões de largura entre os pilares e vigas ficaram em torno de 19 centímetros, respeitando a medida de largura da alvenaria determinada pelo projeto arquitetônico. Já as medidas de altura das vigas e comprimento dos pilares, tiveram seus valores variando de 30 a 60 centímetros e 40 a 70 centímetros respectivamente, salvo algumas exceções, configurando a disposição dos elementos tratados na figura 2.

Figura 2 – Lançamento de vigas e pilares pré-dimensionadas



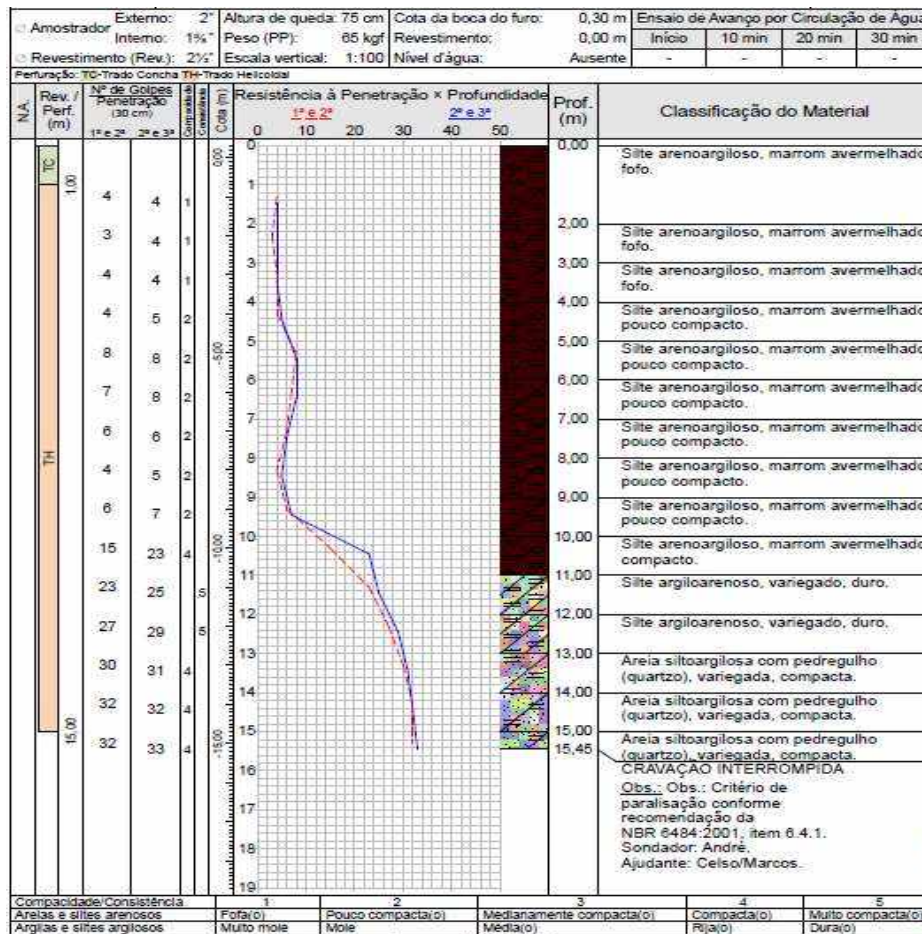
Fonte: Autor (2019)

Lançados vigas e pilares, é possível determinar o contorno das lajes, assim como os respectivos vãos nas direções do eixo X e Y, estas que são os elementos variantes de maior representatividade nos diferentes sistemas estruturais analisados.

5.3 SONDAGEM E ESCOLHA DA FUNDAÇÃO

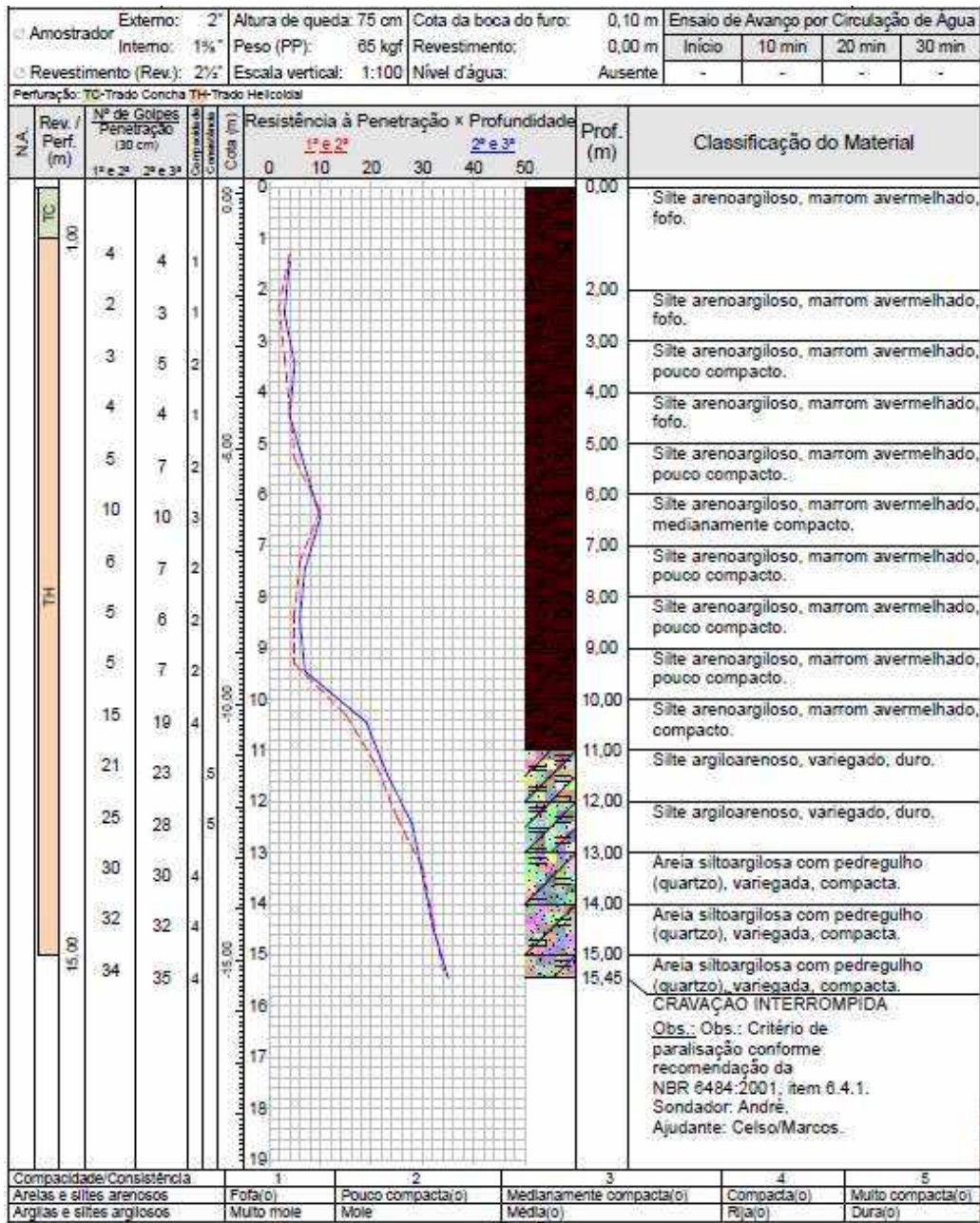
Com intuito de aplicabilidade do trabalho em situações reais, foi determinada uma localização para a implantação do edifício, assim como adoção de uma sondagem real para questões acadêmicas. O tipo da sondagem escolhida foi sondagem de reconhecimento a percussão, sendo analisados dois ensaios com seus resultados apresentados abaixo (Figura 2 e 3).

Figura 3 – Ensaio SPT 1



Fonte: Sem autorização

Figura 4 – Ensaio SPT 2



Fonte: Sem autorização

Analisando as sondagens e a planta de cargas da estrutura, optou-se pelo uso de fundação profunda do tipo bloco sobre estaca, pelo modo de hélice contínua até uma profundidade entre 13 e 14 metros, recomendada por valores de golpes no ensaio de SPT de 20 a 45.

5.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS DOS MODELOS ESTRUTURAIS

Os modelos desenvolvidos tiveram como base a ABNT NBR 6118:2014 e foram desenvolvidas no programa AutoQI Eberick 2020, o qual processa o edifício como grelhas e pórtico espacial, composto por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, considerando-se também o efeito de diafragma rígido das lajes.

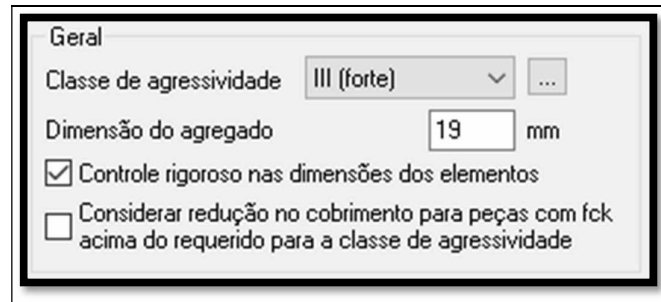
Para efeitos de comparação entre os modelos estruturais estudados, algumas características foram definidas em comum entre eles, como a classe de concreto (fck) entre os elementos constituintes da edificação e seus respectivos cobrimentos (Figura 5), a classe de agressividade ambiental (Figura 6) e a velocidade característica do vento (Figura 7), assim como seus fatores para definir a velocidade de cálculo.

Figura 5 – Classe de concreto referente a cada elemento e seus cobrimentos

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-30	4 cm	3 cm	4 cm	Bitolas...
Pilares	C-30	4 cm	3 cm	4,5 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	3,5 cm		4 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-30	3,5 cm			Bitolas...
Blocos	C-25			4,5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-25			4,5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-20			4,5 cm	Bitolas...
Muros	C-30			4,5 cm	Bitolas...
Radier	C-25			4,5 cm	Bitolas...

Fonte: Autor (2019)

Figura 6 – Classe de agressividade ambiental



General

Classe de agressividade III (forte) ...

Dimensão do agregado 19 mm

Controle rigoroso nas dimensões dos elementos

Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Fonte: Autor (2019)

Figura 7 – Velocidade característica do vento



Velocidade 35 m/s Mapa...

Fonte: Autor (2019)

5.5 AÇÕES PERMANENTES E VARIÁVEIS

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, as ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. Também são consideradas permanentes as ações que aumentam durante o passar do tempo, tendendo a um valor-limite constante.

Estas ações subdividem-se em ações permanentes diretas, que são constituídas pelo peso próprio da estrutura, pelos pesos dos elementos construtivos fixos, das instalações permanentes e dos empuxos permanentes. Também se subdividem em ações permanentes indiretas, que são constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e protensão.

As ações variáveis são constituídas basicamente pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água.

Para o lançamento das ações permanentes nos modelos estruturais foram consideradas as ações, já configuradas pelo software, referentes a áreas residenciais – dormitórios e sala, possuindo

carga permanente de 1.55 kN/m² e carga acidental de 1.50 kN/m²; a áreas residenciais – banheiros, possuindo carga permanente de 1.80 kN/m² e acidental de 1.50 kN/m²; a áreas residenciais – área de serviço e lavanderia, possuindo carga permanente de 1.815 kN/m² e acidental de 2.00 kN/m²; a áreas de corredores – com acesso ao público, possuindo carga permanente de 1.50 kN/m² e acidental de 3.00 kN/m²; e áreas de terraço – sem acesso ao público, possuindo carga permanente de 1.80 kN/m² e acidental de 2.00 kN/m².

Para lançamento destas mesmas cargas permanentes sobre as vigas, foram consideradas cargas distribuídas linearmente resultantes de alvenarias de bloco cerâmico vazado (19cm), com grupo já existente no software, com altura da alvenaria correspondente ao pé direito do edifício (350cm), resultando em 4.55 kN/m.

A ação do vento foi considerada nas direções 0°, 90°, 180° e 270°, utilizou-se a velocidade básica da cidade de Uberlândia ($V_o = 35m/s$), fator de terreno (S_1) igual a 1; fator de rugosidade (S_2) definido pela categoria IV, referente a terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada; e fator estatístico (S_3) igual a 1, referentes a edificações para hotéis e residências (Figura 8).

Figura 8 - Parâmetros adotados para consideração do vento:

Parâmetros	Valor adotado	Observações
Velocidade	35.00m/s	-
Nível do solo (S2)	0.00cm	-
Maior dimensão horizontal ou vertical (S2)	Menor que 20 m	-
Rugosidade do terreno (S2)	Categoria IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.
Fator topográfico (S1)	1.0	Demais casos.
Fator estatístico (S3)	1.00	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.

Fonte: Autor (2019)

6 SISTEMAS ESTRUTURAIS

Os sistemas estruturais podem ser definidos como distribuições adequadas dos elementos estruturais (lajes, pilares e vigas) em uma edificação. Para cada modelo estrutural que será apresentado, foram seguidas recomendações quanto ao pré-dimensionamento dos elementos e quanto ao seu lançamento, de modo a definir todas suas medidas e posicionamentos. A planta de forma do pavimento tipo de cada modelo estrutural está presente no ANEXO A.

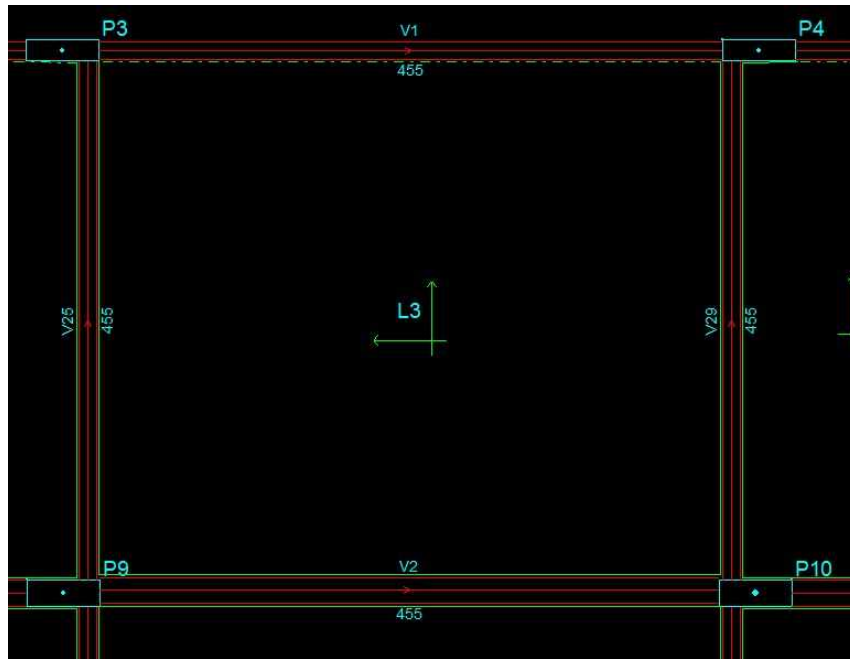
6.1 MODELO 1 – LAJES MACIÇAS

Para o trabalho em questão, trataremos como modelo estrutural 1 o projeto estrutural com a escolha pela utilização de lajes maciças.

A execução de lajes maciças é bem usual na história da construção civil e provavelmente continua sendo o modelo estrutural mais utilizado. Possuindo seção transversal constante, este tipo de laje apresenta considerável volume de concreto, apresentando assim, cargas elevadas em relação ao seu peso próprio.

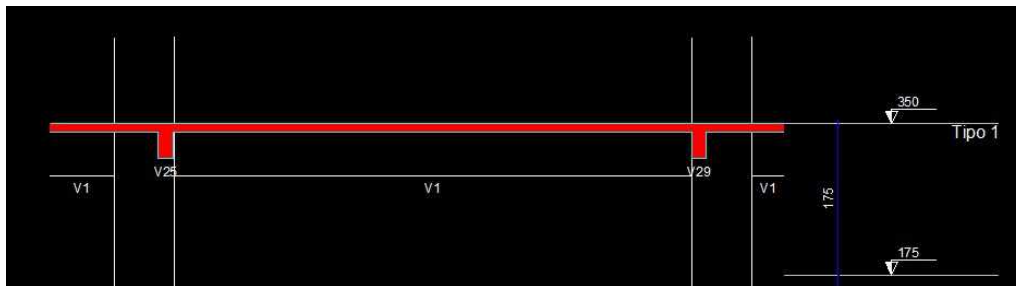
A partir da modelagem do pavimento tipo, foi dada sequência no lançamento das lajes maciças em todo o pavimento, recebendo as ações permanentes e variáveis previamente citadas. As figuras 9 e 10 representam a planta de uma laje maciça e um corte desta mesma laje, respectivamente.

Figura 9 – Planta de laje maciça



Fonte: Autor (2019)

Figura 10 – Corte de laje maciça



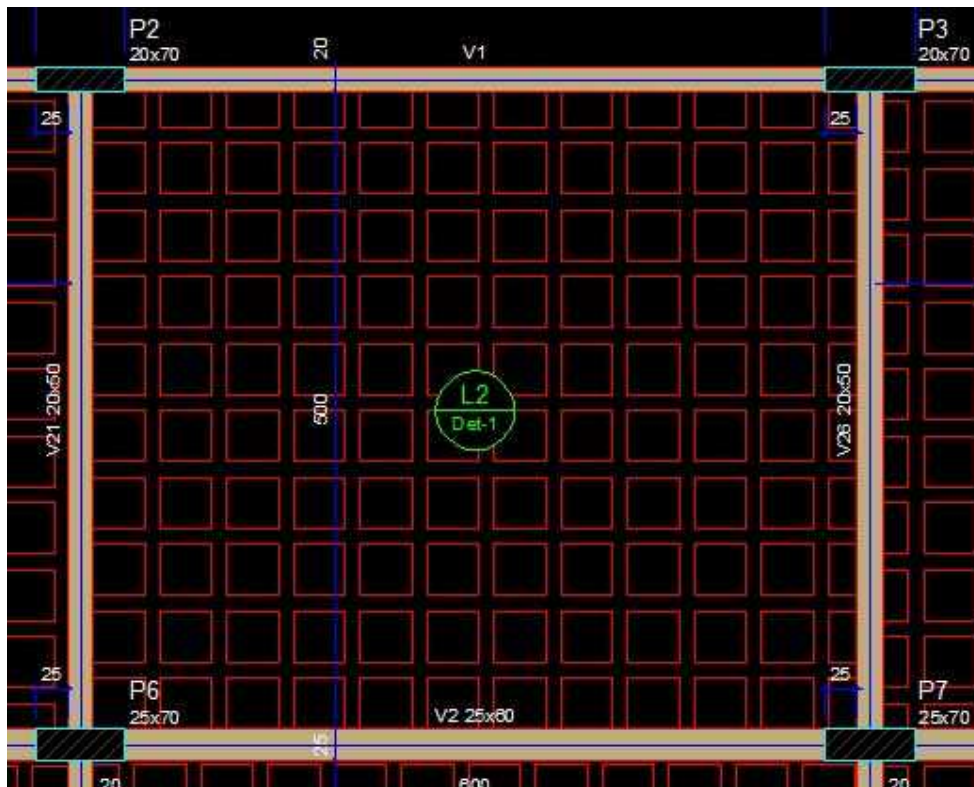
Fonte: Autor (2019)

6.2 MODELO 2 – LAJES NERVURADAS

Para o trabalho em questão, trataremos como modelo estrutural 2 o projeto estrutural com a escolha pela utilização de lajes nervuradas, onde seu sistema é constituído por um conjunto de vigas que se cruzam, solidarizadas pela mesa superior.

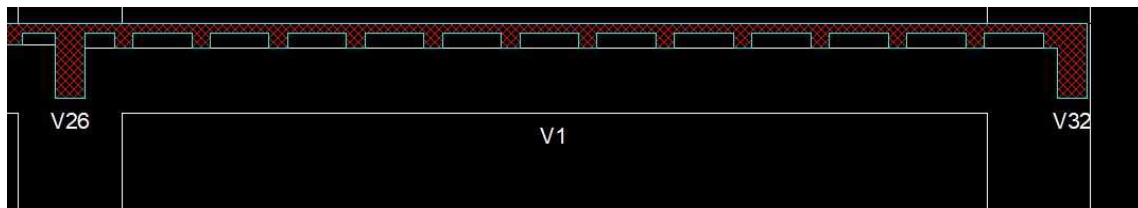
Por se tratarem de elementos com eliminação do concreto tracionado (região abaixo da linha neutra), as lajes nervuradas permitem uma boa redução no peso próprio de toda a estrutura, já que o concreto eliminado foi substituído por painéis de EPS, um fator importante no custo final da obra. As lajes nervuradas apoiam sobre as vigas de concreto armado, configurando o sistema mais tradicional de lajes nervuradas. As figuras 11 e 12 representam a planta de uma laje nervurada e um corte desta mesma laje, respectivamente.

Figura 11 – Planta de laje nervurada com viga



Fonte: Autor (2019)

Figura 12 – Corte de laje nervurada com viga



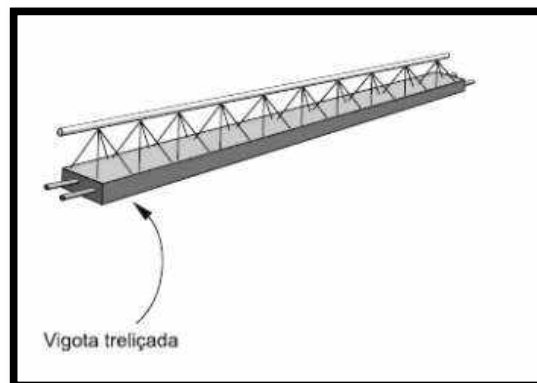
Fonte: Autor (2019)

6.3 MODELO 3 – LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS EM UMA DIREÇÃO

Para o trabalho em questão, trataremos como modelo estrutural 3 o projeto estrutural com a escolha pela utilização de lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção.

Este modelo é bem semelhante ao modelo de lajes nervuradas, onde há retirada de concreto tracionado (abaixo da linha neutra), a sua diferença se faz na configuração das nervuras, estas que são dispostas em apenas uma direção (direção de menor vão da laje), preenchidas com vigotas treliçadas pré-fabricadas (Figura 13) e intercaladas com material de preenchimento (EPS).

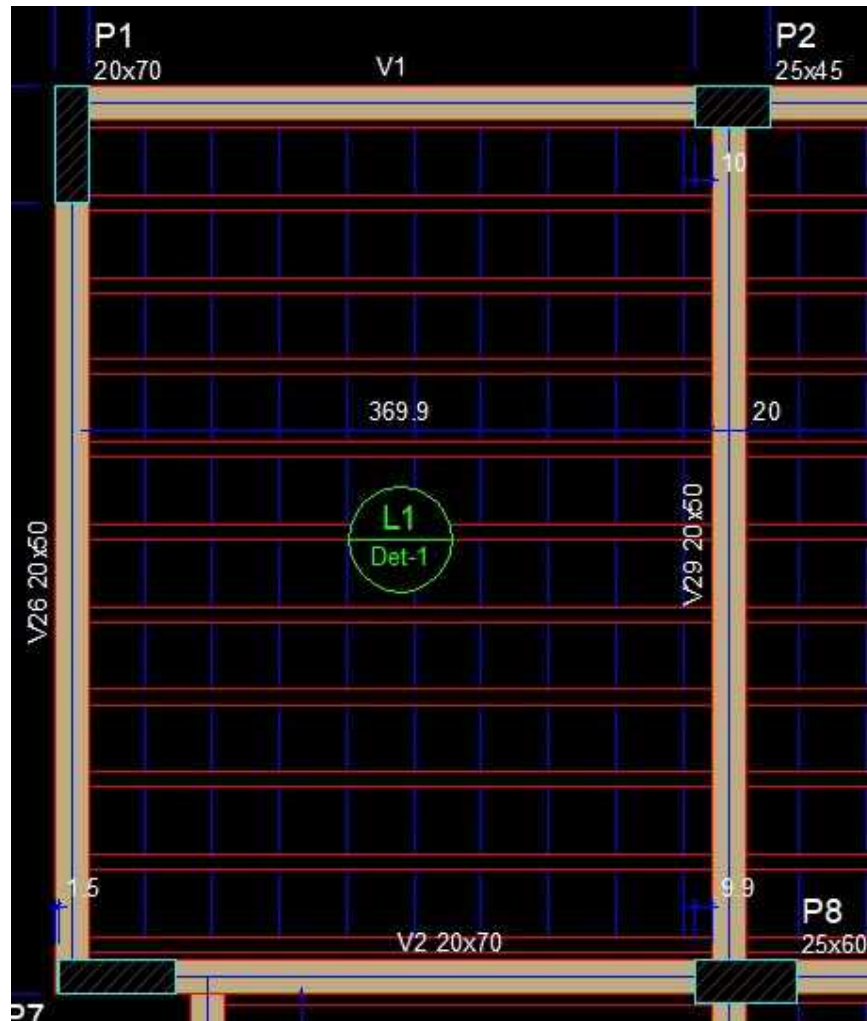
Figura 13 – Vigota treliçada



Fonte: AXION (2019)

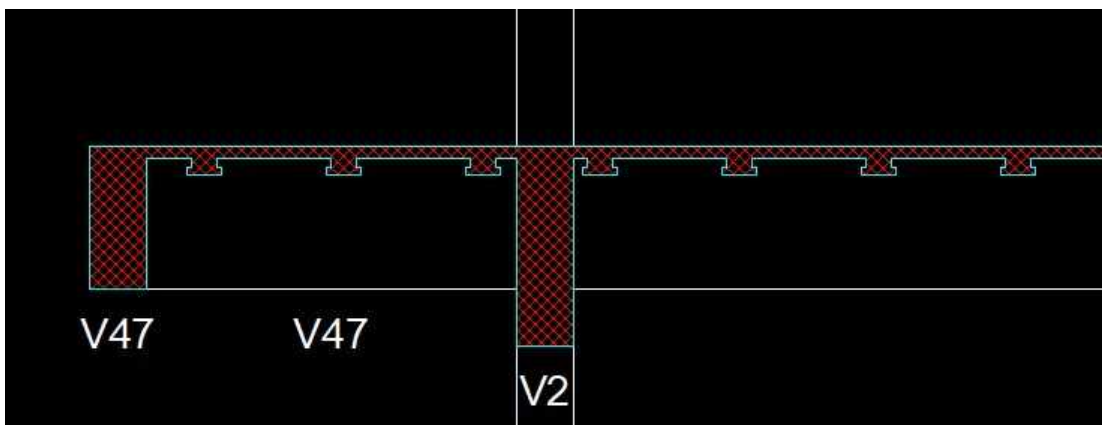
As figuras 14 e 15 representam a planta de uma laje nervurada pré-moldada treliçada em uma direção, lançadas no software, e um corte da mesma, respectivamente.

Figura 14 – Planta de laje nervurada pré-moldada treliçada em uma direção



Fonte: Autor (2019)

Figura 15 – Corte de laje nervurada pré-moldada treliçada em uma direção



Fonte: Autor (2019)

6.4 MODELO 4 – LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS EM DUAS DIREÇÕES

Para o trabalho em questão, trataremos como modelo estrutural 4 o projeto estrutural com a escolha pela utilização de lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções.

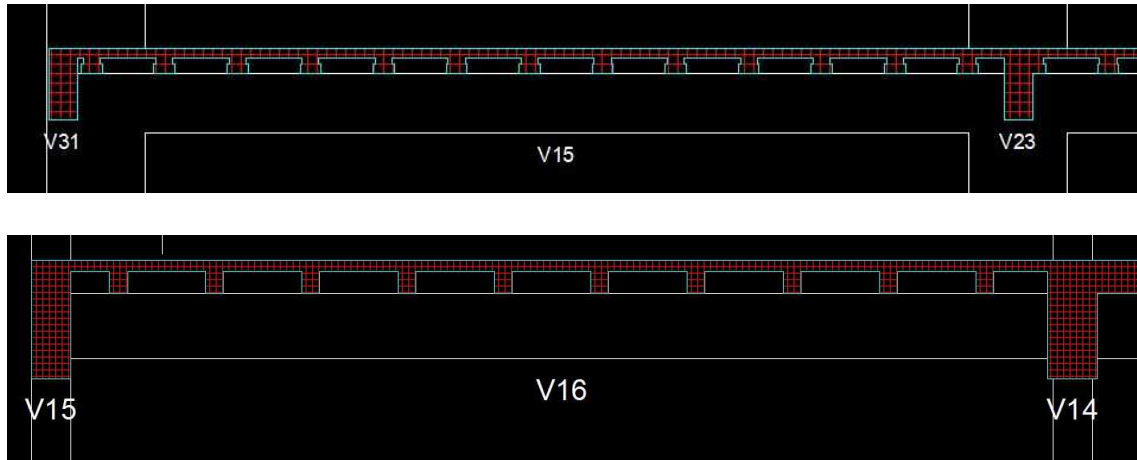
Bastante semelhante com o modelo de lajes nervuradas, este se diferencia somente pelo uso de lajotas pré-moldadas na direção de menor vão com nervuras em cruzamentos perpendiculares, que serão posteriormente armadas, de modo que o espaço entre as nervuras seja preenchido com painéis de EPS. As figuras 16 e 17 representam a planta do lançamento das lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções e seu corte, respectivamente.

Figura 16 – Planta de laje nervurada pré-moldada treliçada em duas direções



Fonte: Autor (2019)

Figura 17 – Corte de laje nervurada pré-moldada treliçada em duas direções (Acima: corte perpendicular à direção de menor vão; Abaixo: corte na direção de menor vão)



Fonte: Autor (2019)

7 PROCESSAMENTO

Após o lançamento de toda a estrutura dos quatro módulos em estudo, foram realizados os processamentos das mesmas. Nestes processamentos, o programa realiza a análise estrutural, o dimensionamento e detalhamento de todos os elementos estruturais, avaliando desta maneira, os efeitos de estabilidade global da edificação, os deslocamentos horizontais e verticais dos elementos estruturais, as cargas e esforços nas fundações, relação de carga vertical por área da estrutura e o quantitativo de material (aço, concreto e forma) gastos por elemento, por pavimento e total.

Após o processamento, o software gera um relatório de avisos e erros, este é de total responsabilidade do engenheiro responsável analisa-lo e corrigi-los, fazendo as devidas alterações caso necessárias. O processamento estrutural gera o relatório de esforços e estabilidade do sistema estrutural, o que permite a análise da edificação quanto aos critérios de desempenho nos estados limites últimos e de serviço, além do estudo para aplicação da fundação adequada para o empreendimento.

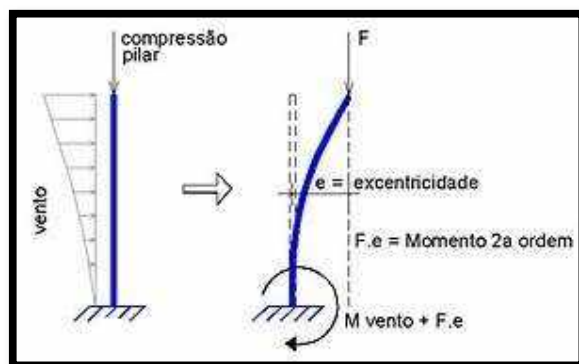
Com a locação da fundação, faz-se o processamento global da estrutura, de modo a gerar resultados para análise completa da infraestrutura e da superestrutura.

7.1 ESTABILIDADE GLOBAL

Toda e qualquer estrutura projetada deve ser construída de tal forma que garanta suas condições de durabilidade, conforto, segurança, estabilidade e desempenho. Em relação à estabilidade da estrutura, o estudo é realizado considerando a geometria inicial dos elementos, considerando-os indeslocáveis, com isso, são obtidos os esforços chamados de 1ª ordem.

A partir destes esforços, a estrutura sofre um deslocamento horizontal, resultando na excentricidade dos esforços em relação aos elementos estruturais. Os efeitos desta não-linearidade geométrica são determinados quando se analisa o equilíbrio da estrutura na posição já deformada. Porém, analisando a estrutura desta forma, percebemos um acréscimo no momento, esta parcela é chamada de momento de segunda ordem (Figura 18), resultando dos esforços verticais analisados na estrutura após o deslocamento horizontal dos elementos.

Figura 18 – Momento de segunda ordem



Fonte: Tal Haus (2018)

A avaliação da estabilidade global de uma edificação pode ser realizada mediante o cálculo dos chamados parâmetros de instabilidade, sendo possível estimar os efeitos de segunda ordem. De acordo com o item 15.2 da ABNT NBR 6118:2014, os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados quando não apresentam acréscimo superior a 10% nas reações e solicitações da estrutura, dando a estrutura a classificação de estrutura de nós fixos.

Com a utilização do software AutoQi Eberick 2020, é possível fazer o cálculo destes parâmetros, mais especificamente o cálculo do coeficiente Gama Z (γ_z) e o processo P-Delta ($P\Delta$).

O coeficiente Gama Z é um parâmetro que avalia a estabilidade global da estrutura de forma simples e de forma bastante eficaz, sendo possível de obter os esforços de segunda ordem pela majoração dos esforços de primeira ordem. Segundo a ABNT NBR 6118:2014, o valor de γ_z é obtido pela seguinte fórmula:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Delta M_{t o \text{td}}}{M_{1,t o \text{td}}} \right)}$$

Onde:

$\Delta M_{t o \text{td}}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem;

$M_{1,t o \text{td}}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

Estão presentes no ANEXO B os resultados do cálculo do coeficiente Gama Z dos quatro sistemas estruturais em estudo para este trabalho. A tabela 1 mostra um resumo sobre o coeficiente nos quatro modelos estudados.

Tabela 1 – Resumo do coeficiente Gama-Z nos modelos estruturais

	Coeficiente Gama-Z			
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Eixo X	1.07	1.09	1.11	1.11
Eixo Y	1.16	1.22	1.16	1.28

Fonte: Autor (2019)

7.2 DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 deslocamentos-limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura. Para este trabalho, foram analisados os deslocamentos horizontais resultantes de esforços horizontais, tendo como principal os esforços resultantes da ação do vento.

A análise do deslocamento torna-se fundamental, já que, excessivamente, pode impedir a utilização adequada da edificação. Para sua classificação, os deslocamentos-limites são classificados em quatro grupos básicos: aceitabilidade sensorial, efeitos específicos, efeitos em elementos não estruturais e efeitos em elementos estruturais.

Para um adequado comportamento da estrutura em serviço, deve-se analisar o movimento lateral da edificação provocada pela ação do vento em combinação frequente com um multiplicador (ABNT NBR 6118:2014; Tabela 11.2). Para esta verificação temos o deslocamento-limite entre valores de $\frac{H}{1700}$ a $\frac{H}{850}$

Para os modelos 1, 2, 3 e 4, foram analisados deslocamentos-limites em relação ao movimento lateral da edificação de acordo com as tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 2 – Deslocamento-limite horizontal devido à ação do vento do modelo 1

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	3655.00			
Deslocamento limite (cm)	2.15			
Deslocamento característico (cm)	1.43	-1.43	4.82	-4.82
$\gamma f2=\psi 1$	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento combinações frequentes (cm)	0.43	-0.43	1.45	-1.45

Fonte: Autor (2019)

Tabela 3 – Deslocamento-limite horizontal devido à ação do vento do modelo 2

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	3655			
Deslocamento limite (cm)	2.15			
Deslocamento característico (cm)	2.55	-2.55	4.99	-4.99
$\gamma f_2 = \psi_1$	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento combinações frequentes (cm)	0.77	-0.77	1.50	-1.50

Fonte: Autor (2019)

Tabela 4 – Deslocamento-limite horizontal devido à ação do vento do modelo 3

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	3655.00			
Deslocamento limite (cm)	2.15			
Deslocamento característico (cm)	2.09	-2.09	3.96	-3.96
$\gamma f_2 = \psi_1$	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento combinações frequentes (cm)	0.63	-0.63	1.19	-1.19

Fonte: Autor (2019)

Tabela 5 – Deslocamento-limite horizontal devido à ação do vento do modelo 4

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	3655			
Deslocamento limite (cm)	2.15			
Deslocamento característico (cm)	2.60	-2.60	4.83	-4.83
$\gamma f_2 = \psi_1$	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento combinações frequentes (cm)	0.78	-0.78	1.45	-1.45

Fonte: Autor (2019)

7.3 CARGAS NA FUNDAÇÃO

Simultaneamente com o processamento e análise da estabilidade global de cada modelo estrutural, foi possível determinar a carga resultando na base de cada pilar, ou seja, carga para dimensionamento da fundação. Para cada sistema estrutural, a composição dos elementos estruturais segue recomendações singulares, porém com certas semelhanças entre os modelos 1 e 3, e outras entre os modelos 2 e 4, de tal forma que as seções, as cargas de peso próprio, as cargas adicionais e cargas positivas e negativas máximas de cada pilar estão representadas no ANEXO C. O detalhamento de cargas resultantes de vento e desaprumo foram consideradas para os valores de carga máxima positiva e negativa.

Como dito em tópicos anteriores, com a análise sobre o estrato geológico juntamente com a análise de cargas sobre as fundações, foram adotadas fundações profundas de blocos sobre estacas, sendo as estacas selecionadas com determinados diâmetros, cargas geotécnicas admissíveis e cargas nominais para cada estaca de acordo com a tabela 6. O cálculo da carga geotécnica admissível para cada modelo considerou 100% de resistência de ponta e resistência lateral das estacas, fator de segurança igual a 2 e fuste da estaca com 14 metros de profundidade aproximadamente. Foi utilizado o método de Aoki-Velloso para todos os modelos e de acordo com os resultados, foram utilizados os menores valores para cálculo das estacas e, conseqüentemente, dos blocos de fundação.

Tabela 6 – Carga admissível geotécnica e nominal para cada diâmetro da estaca hélice contínua

Diâmetro (cm)	Carga geotécnica admissível (kN)	Carga nominal da estaca (kN)
50	1383	800
60	1900	1100
70	2513	1550
80	3202	2000
90	3973	2550
100	4827	3150

Fonte: Autor (2019)

A tabela 7 apresenta as cargas máximas de fundação para cada modelo estudado. A carga de fundação por pilar de todos os modelos esta detalhada no ANEXO C contido em CD (compact disc) junto ao trabalho.

Tabela 7 – Cargas totais máximas de fundação para cada modelo

	Carga total da fundação por modelo (tf)	Porcentagem em relação ao modelo 1	Redução
Modelo 1	3995,72	100,00%	0,00%
Modelo 2	3790,74	94,87%	5,13%
Modelo 3	3946,05	98,76%	1,24%
Modelo 4	3869,26	96,84%	3,16%

Fonte: Autor (2019)

As plantas de locações das estacas de cada modelo estão presentes no ANEXO D.

8 RESULTADOS: CONSUMO E CUSTO DE MATERIAIS

Após o lançamento da fundação as estruturas foram reprocessadas e passaram por análises críticas devido a erros e avisos gerados pelo software. Estes foram analisados e corrigidos, de tal forma que o sistema estrutural gerado oferecesse o desempenho esperado para sua função e garantisse os parâmetros de segurança para o uso da edificação.

Deste modo, foi possível gerar planilhas de consumo de matérias para cada sistema estrutural em estudo, de tal forma, que foram calculados materiais para cada elemento estrutural por pavimento, além do consumo total. Os materiais calculados em destaque, que representam o grande quantitativo de uma obra, foram: volume de concreto, peso e comprimento de aço, área de forma e quantidade de material de enchimento (EPS).

Foram representadas no ANEXO E uma planilha de resumo de material por elemento e por pavimento, uma planilha de resumo por material por pavimento e uma planilha de resumo de

custos por elemento e por pavimento, onde o somatório é o custo previsto de materiais para a execução da edificação do modelo estrutural 1.

Foram representadas no ANEXO F uma planilha de resumo de material por elemento e por pavimento, uma planilha de resumo por material por pavimento e uma planilha de resumo de custos por elemento e por pavimento, onde o somatório é o custo previsto de materiais para a execução da edificação do modelo estrutural 2.

Foram representadas no ANEXO G uma planilha de resumo de material por elemento e por pavimento, uma planilha de resumo por material por pavimento e uma planilha de resumo de custos por elemento e por pavimento, onde o somatório é o custo previsto de materiais para a execução da edificação do modelo estrutural 3.

Foram representadas no ANEXO H uma planilha de resumo de material por elemento e por pavimento, uma planilha de resumo por material por pavimento e uma planilha de resumo de custos por elemento e por pavimento, onde o somatório é o custo previsto de materiais para a execução da edificação do modelo estrutural 4.

O ANEXO I mostra um resumo detalhado do valor total dos materiais gastos para cada modelo estrutural estudado, enquanto a tabela 8 mostra um resumo geral sobre os mesmos itens, afim de proporcionar uma comparação mais ágil ao trabalho.

Tabela 8 – Resumo de gastos de materiais e custos dos modelos estruturais

Modelos	Peso aço (Kg + 10%)	Peso treliças (kg)	Volume concreto	Área de forma (m ²)	Consumo de aço (kg/m ³)	Quantidade blocos de enchimento	Custo Total
1	72693,90	0,00	1025,30	8573,10	70,90	0,00	R\$ 1.943.889,58
2	66281,70	0,00	905,30	8067,30	73,22	9800,00	R\$ 1.920.277,47
3	53364,70	4162,10	881,90	6012,20	60,51	11110,00	R\$ 1.496.721,91
4	64468,00	3683,00	900,50	5666,90	71,59	10568,00	R\$ 1.553.109,42

Fonte: Autor (2019)

9 CONCLUSÃO

Com o propósito de analisar os custos de diferentes sistemas estruturais e qual deles possui o melhor desempenho, mesmo aplicando várias condições semelhantes para os diferentes sistemas, foi possível identificar uma grande variação nos diversos tópicos de análise para cada modelo estrutural.

Analisando os resultados sobre a estabilidade global, percebemos que exceto os modelos de número 2 e 4 na direção do eixo y, todos os outros modelos possuem resultados positivos quanto a estabilidade do edifício, com Gama-Z variando de 7% a 16%, de forma a garantir a segurança do sistema estrutural em relação a este parâmetro. Portanto, o lançamento dos elementos estruturais foram devidamente dimensionados quanto a estabilidade global para os modelos estruturais 1 e 3. O valor do Gama-Z na direção y do modelo 2 foi analisado como aceitável, porém é aconselhável algumas alterações para diminuir o seu valor.

Em relação ao modelo 4, que possui Gama Z na direção y igual a 28%, perto do limite de 30%, o ideal seria modificar a estrutura para abaixar o coeficiente, porém algumas soluções, como acrescentar ou enrijecer pilares, podem trazer impactos significativos no preço final da edificação, assim como modificar elementos da fundação e/ou enrijecer vigas e lajes aumentando sua seção.

Analisando os valores limites para deslocamentos horizontais excessivos e os deslocamentos obtidos com a ação do vento e coeficientes de cálculo baseados na característica da edificação, sua localidade e seu sistema estrutural, foi possível averiguar que todos os modelos possuem resultados positivos, trazendo segurança para a edificação em seu estado de utilização, portanto o engenheiro calculista não deve basear-se somente neste parâmetro para excluir qualquer uma das opções.

Quando analisados os sistemas estruturais quanto as cargas de fundação, percebemos que os valores de carga máxima são bem próximos para os mesmos pilares (comparando o modelo 1 com o 3, e o modelo 2 com o 4). Com isso, concluímos que as fundações desenvolvidas para estes sistemas estruturais vão possuir dimensões totais e número de estacas bem próximos uns dos outros, refletindo em gastos de materiais semelhantes.

Porém, podemos perceber que os modelos 1 e 3 possuem maiores quantidade de pilares, resultantes das indicações de pré-lançamento dos pilares e da concepção estrutural adotada, onde estão espaçados de no máximo seis metros um do outro. Desta forma, o peso-próprio da estrutura atinge valores maiores, tendo como consequência, fundações mais robustas.

Analisando o consumo de materiais para execução dos quatro sistemas estruturais percebemos que o primeiro modelo possui um custo maior. Este detalhe é reflexo da maior área de concreto na seção transversal das lajes do sistema estrutural, conseqüentemente maior peso transmitidos as vigas e pilares. Nos outros três modelos estudados temos volume total de concreto bem próximos devida eliminação de área de concreto tracionada nas lajes. Portanto o volume do gasto de concreto torna-se um diferencial negativo de escolha para o primeiro sistema.

Em relação ao consumo de aço por volume de concreto, percebemos o grande ponto positivo do modelo estrutural 3, que por consequência, acaba tendo um preço menor no quantitativo de materiais. Também possuindo o segundo menor gasto de fôrmas, apenas atrás do modelo 4 que deve ser remodelado pelo alto valor do coeficiente Gama-Z, este modelo se destaca no custo final da edificação por estas características.

Portanto, diante dos estudos realizados e considerando que todos os sistemas estruturais executados seguem os padrões necessários e especificados nas normas para dimensionamento dos elementos, pode-se concluir que o sistema estrutural mais eficiente economicamente foi o modelo 3, que se trata da utilização de lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção para esse edifício.

Sendo interessante, em estudos futuros, a análise de edificações maiores e uso de diferentes sistemas estruturais como lajes sem vigas ou uso de “steel deck”, por exemplo. Sendo de absoluta responsabilidade a escolha do sistema estrutural pelos engenheiros, arquitetos e contratantes do empreendimento.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.T. de. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. São Carlos, 1999.

ALVA, G. M. S. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Santa Maria, 2007.

ALVA, G. M. S. **Pré dimensionamento da estrutura**. Santa Maria, 2014. Notas de aula. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br>>. Acesso em Nov. 2019.

ANTONIAZZI, J. P. **Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais**. Santa Maria, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_. NBR 6120 – **Ações para o cálculo de estruturas de edificações – revisão 9**. Rio de Janeiro, 2017.

_. NBR 6122 – **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

_. NBR 6123 – **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

_. NBR 8681 – **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2002.

_. NBR 9050 – **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 2015.

_. NBR 14860-1 – **Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.

_. NBR 14860-2 – **Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 2: Lajes bidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.

_. NBR 14931 – **Execução de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

BASTOS, P. S. D. S. **Estruturas de concreto armado**. Bauru, 2014. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br>>. Acesso em Out, 2019.

FIGUEIREDO FILHO, J. R. de; CARVALHO, R. C. **Pilarnovíssimo – estabilidade global**. Maringá, 2008. Disponível em: <<http://www.gdace.uem.br>>. Acesso em Out, 2019.

GIONGO, J. S. **Concreto armado: Projeto estrutural de edifícios**. São Carlos, 2007.

LIBÂNIO M; PINHEIRO, C. D; MUZARDO, S. P. S. **Estruturas de concreto**. Campinas, 2003. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br> >. Acesso em Out, 2019.

MELO, P. R. de. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. Uberlândia, 2013.

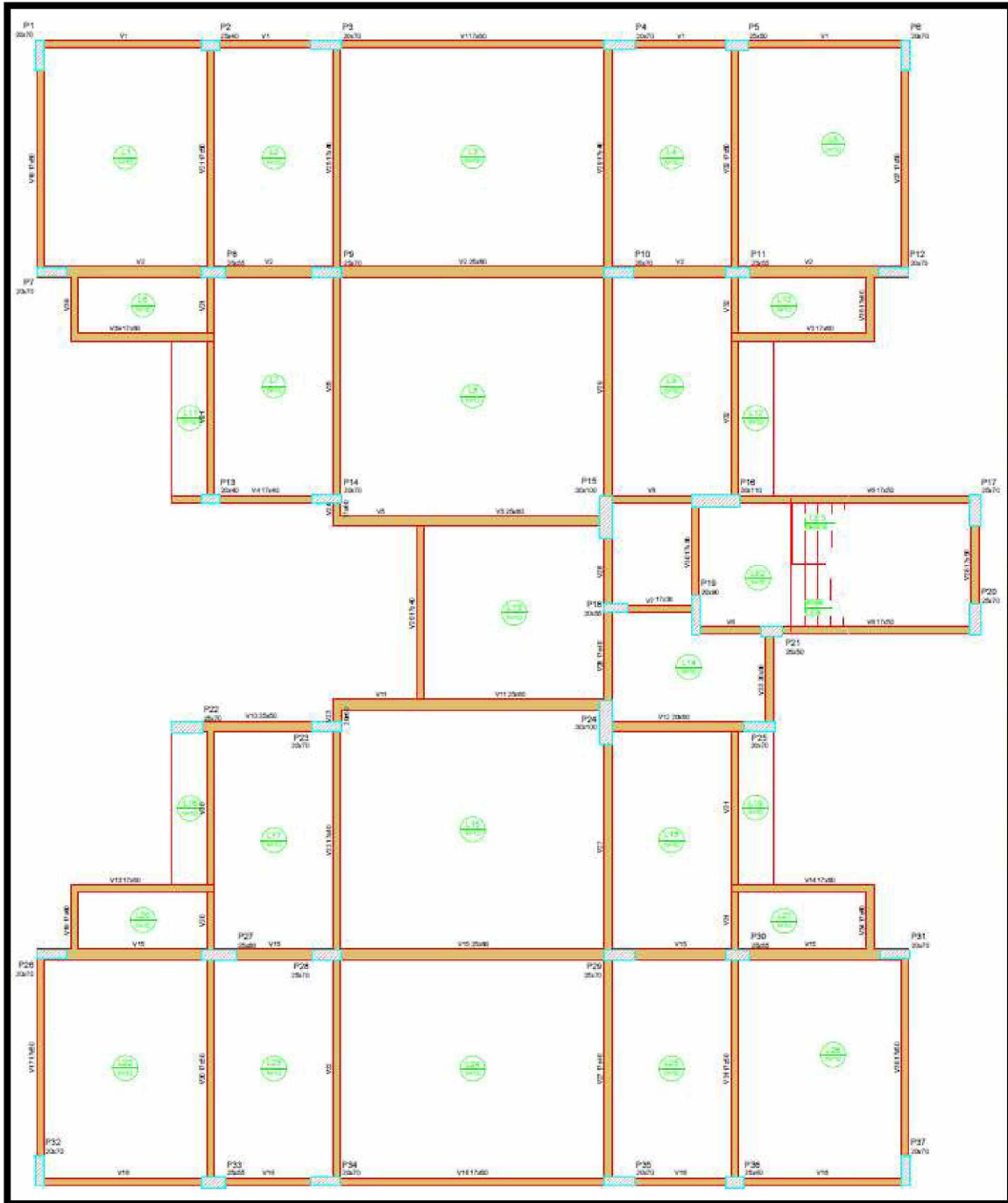
SANTOS, A. C. dos. **Lançamento estrutural**. 10 out. 2019, 30 nov. 2019. Notas de Aula.

SPOHR, V. H. **Análise comparativa: Sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. Santa Maria, 2008.

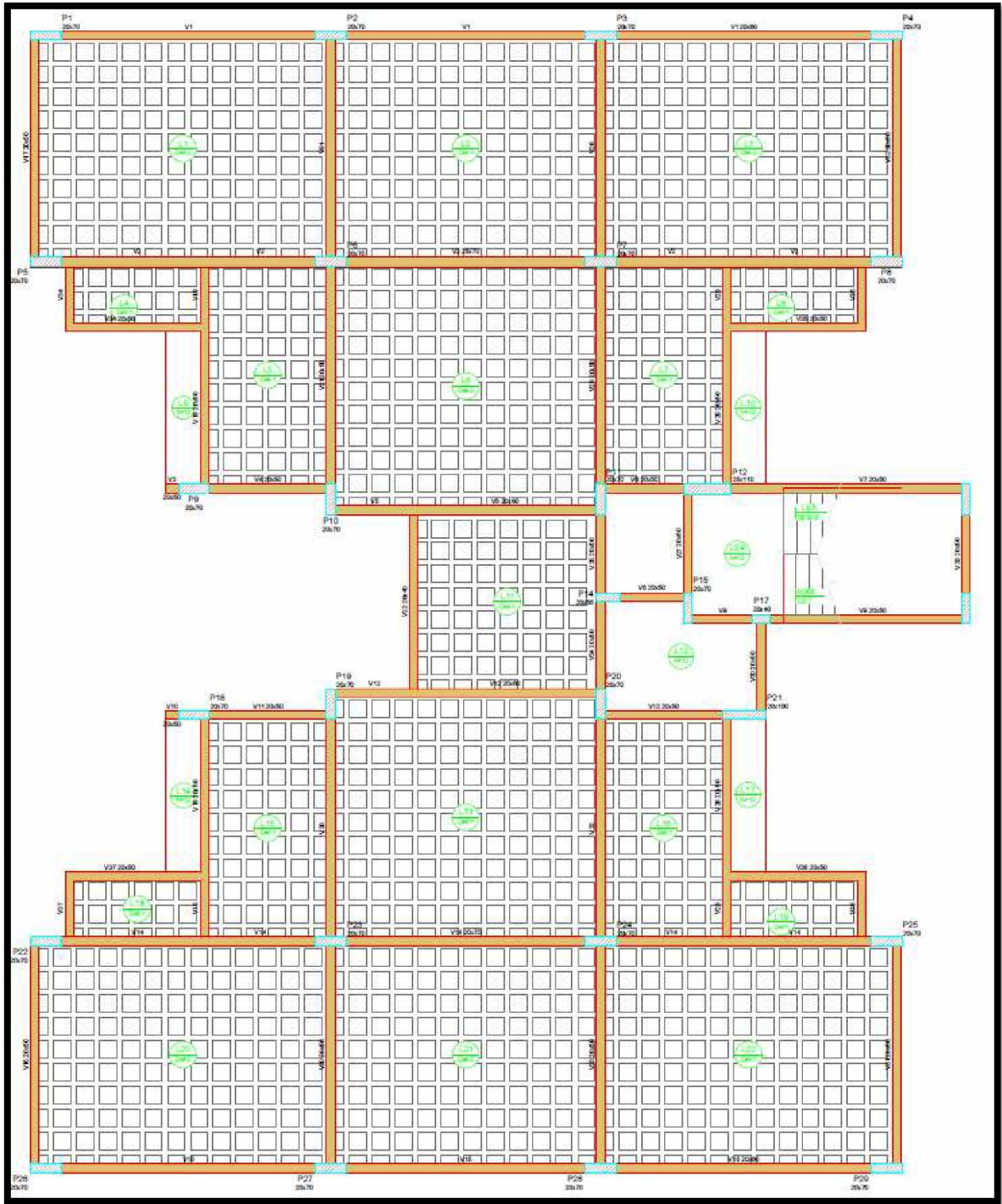
TAL HAUS. **Efeitos de 1ª e 2ª ordem e estabilidade global**. Novo Hamburgo, 2019. Disponível em < <https://www.talhaus.com.br/efeitos-de-primeira-e-segunda-ordem-e-estabilidade-global/> >. Acesso em Out, 2019.

ANEXO A – Disposição dos elementos representados em planta do pavimento tipo de cada modelo estrutural. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.)
junto ao trabalho.

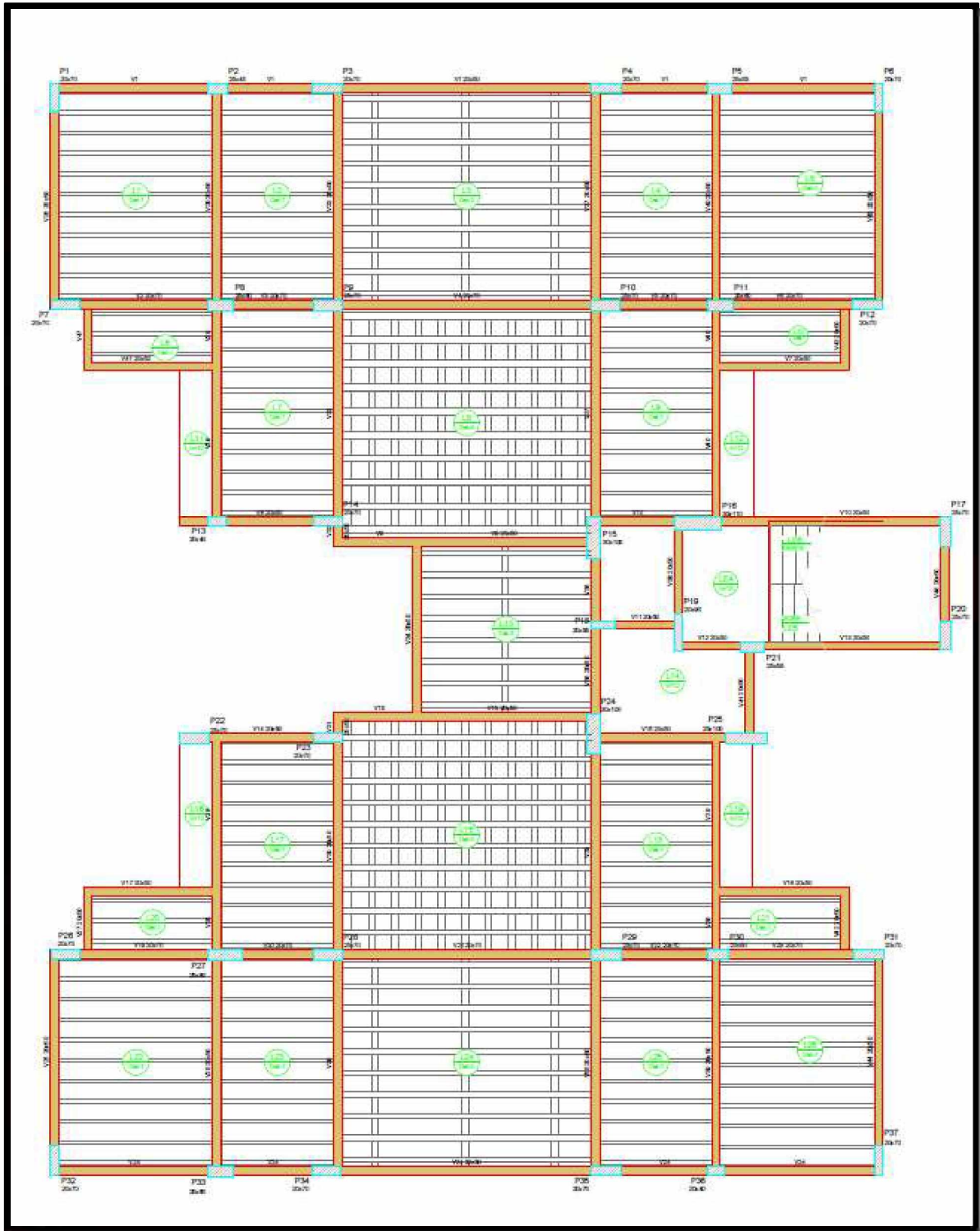
Modelo 1 – Lajes maciças



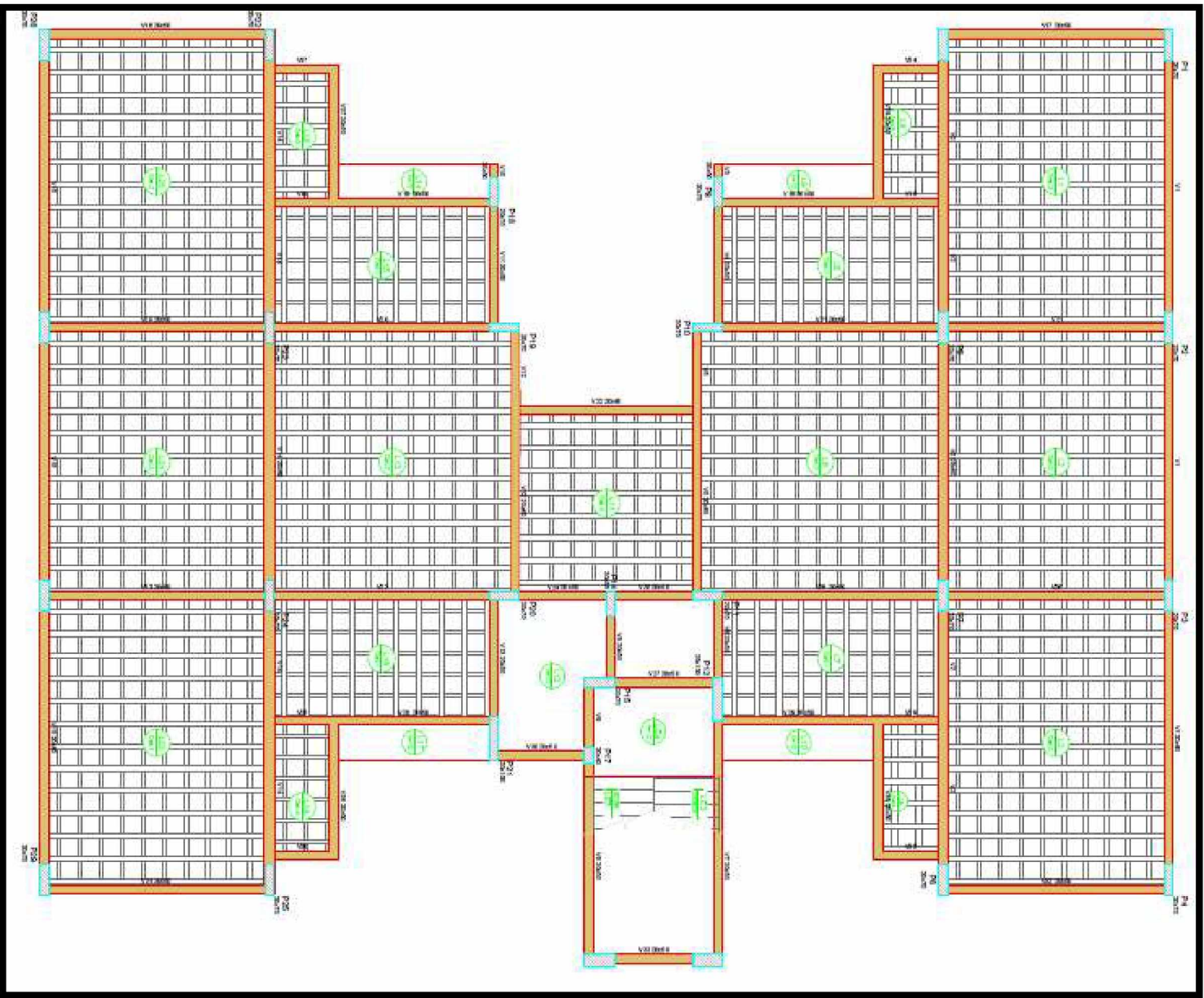
Modelo 2 – Lajes nervuradas



Modelo 3 – Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção



Modelo 4 – Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções



ANEXO B – Resultados dos cálculos de coeficiente Gama Z (γ_z) dos modelos 1, 2, 3 e 4.

Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

MODELO 1 - LAJES MACIÇAS

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	756.62	807.70
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	51.02	109.03
Gama-Z	1.07	1.16

MODELO 3 - LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS EM UMA DIREÇÃO

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	747.90	836.49
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	76.20	118.21
Gama-Z	1.11	1.16

MODELO 2 - LAJES NERVURADAS

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	832.13	725.95
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	69.23	129.24
Gama-Z	1.09	1.22

MODELO 4 - LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS EM DUAS DIREÇÕES

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	832.13	725.95
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	79.26	160.34
Gama-Z	1.11	1.28

ANEXO C – Carga de fundação para cada pilar de acordo com cada modelo estrutural. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

Modelo 1 - Lajes maciças					
Fundação		Carga (tf)		Carga máxima (tf)	
Nome	Seção (cm)	Peso próprio	Adicional	Positiva	Negativa
P1	20x70	30,51	24,48	70,55	0,00
P2	25x50	35,38	32,41	82,91	0,00
P3	20x70	43,54	39,82	101,10	0,00
P4	20x70	44,72	40,57	105,39	0,00
P5	25x60	36,99	32,74	85,50	0,00
P6	20x70	28,99	22,87	66,43	0,00
P7	20x70	43,58	38,18	102,40	0,00
P8	25x70	62,89	57,18	145,40	0,00
P9	25x80	79,65	69,24	188,73	0,00
P10	25x80	83,62	72,40	196,82	0,00
P11	25x70	58,84	53,17	134,18	0,00
P12	20x70	40,77	35,37	96,59	0,00
P13	20x50	26,32	26,63	64,80	0,00
P14	25x70	53,82	49,18	125,26	0,00
P22	25x70	37,99	28,70	86,84	0,00
P23	25x70	52,66	46,19	123,87	0,00
P26	20x70	44,54	37,54	103,30	0,00
P27	25x80	75,04	64,24	169,84	0,00
P28	25x80	74,65	63,90	178,72	0,00
P29	30x80	84,65	73,35	198,45	0,00
P30	25x70	59,35	54,34	135,74	0,00
P31	20x70	40,59	35,48	95,18	0,00
P32	20x70	31,25	23,69	70,16	0,00
P33	25x70	42,19	35,49	95,91	0,00
P34	20x70	39,91	35,86	95,33	0,00
P35	20x70	46,33	42,19	106,26	0,00
P36	25x50	31,75	29,35	75,93	0,00
P37	20x70	29,28	23,29	67,42	0,00
P15	50x120	112,03	75,91	248,33	0,00
P16	50x130	132,05	86,22	281,12	0,00
P17	25x75	36,17	20,82	69,30	0,00
P20	25x75	38,08	22,68	73,87	0,00
P24	40x100	90,15	64,72	214,17	0,00
P25	40x100	93,34	66,94	219,21	0,00

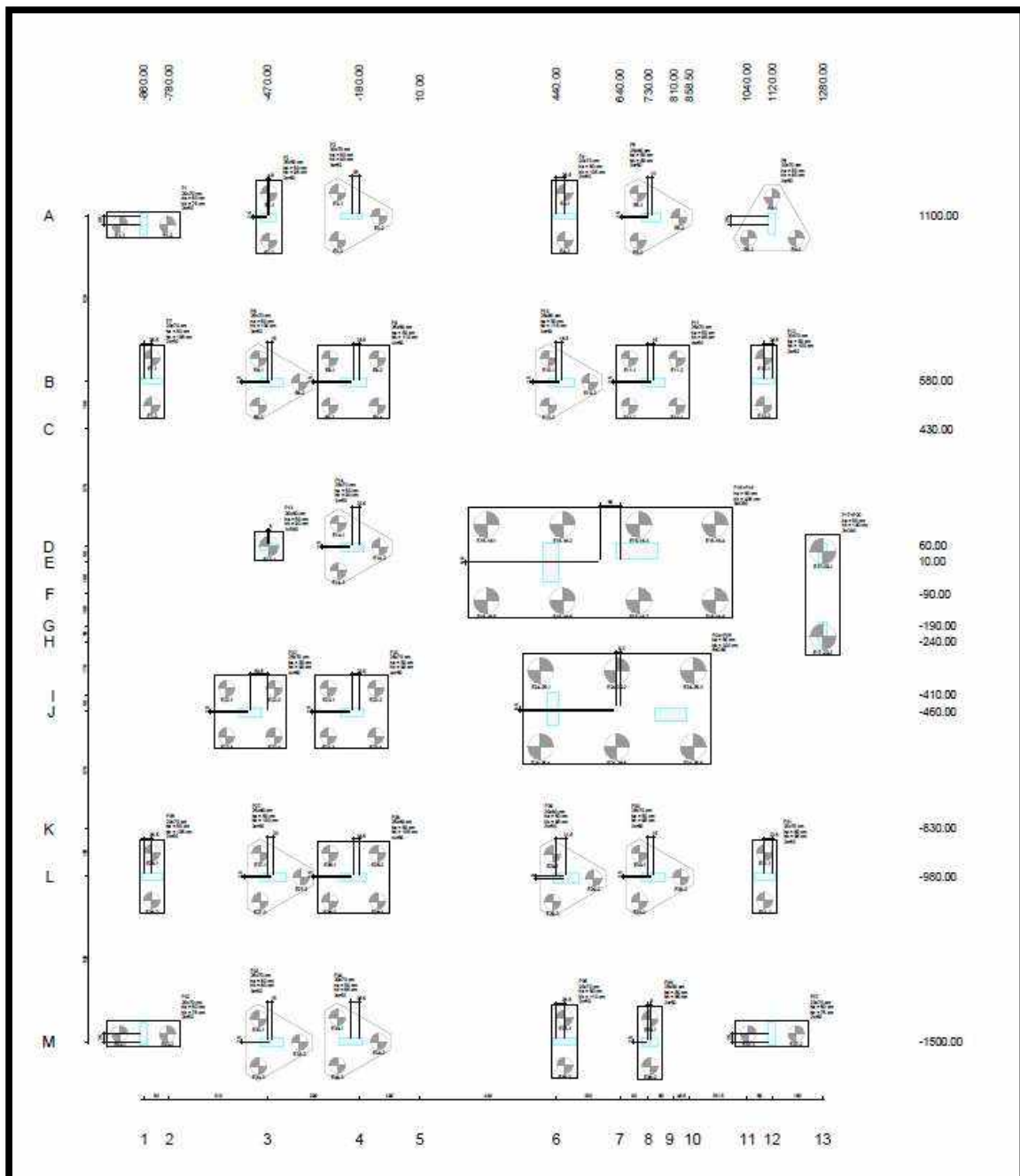
Modelo 3 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção					
Fundação		Carga (tf)		Carga máxima (tf)	
Nome	Seção (cm)	Peso próprio	Adicional	Positiva	Negativa
P1	20x70	28,29	26,26	69,93	0,00
P2	25x50	32,10	33,29	82,89	0,00
P3	20x70	44,22	39,75	105,58	0,00
P4	20x70	46,76	41,67	112,06	0,00
P5	25x55	32,06	32,54	81,86	0,00
P6	20x70	26,14	23,93	64,47	0,00
P7	20x70	37,92	40,64	104,33	0,00
P8	25x70	50,33	58,68	132,39	0,00
P9	25x70	82,69	68,25	185,48	0,00
P10	25x70	85,32	70,13	190,20	0,00
P11	25x60	49,26	56,81	129,83	0,00
P12	20x70	33,45	36,07	95,12	0,00
P13	20x40	28,68	32,98	81,78	0,00
P14	25x70	55,54	49,56	131,61	0,00
P22	25x70	36,71	34,05	94,31	0,00
P23	25x70	53,05	46,56	127,41	0,00
P26	20x70	38,07	40,74	106,50	0,00
P27	25x80	57,12	63,24	145,74	0,00
P28	25x70	80,57	67,16	183,07	0,00
P29	25x75	84,14	69,71	188,51	0,00
P30	25x60	46,66	58,94	128,42	0,00
P31	20x70	37,26	41,29	101,61	0,00
P32	20x70	27,14	24,72	66,66	0,00
P33	25x60	35,71	34,53	91,19	0,00
P34	20x70	40,84	35,67	100,89	0,00
P35	20x70	48,00	43,59	111,63	0,00
P36	20x50	23,60	26,16	63,26	0,00
P37	20x70	26,24	24,30	65,06	0,00
P15	40x100	116,22	80,47	252,25	0,00
P16	40x110	134,84	93,65	291,93	0,00
P17	25x70	39,32	23,36	77,31	0,00
P20	25x70	39,85	23,67	78,41	0,00
P24	40x110	99,21	68,54	223,23	0,00
P25	40x110	101,10	69,96	228,90	0,00

Modelo 2 - Lajes nervuradas					
Fundação		Carga (tf)		Carga máxima (tf)	
Nome	Seção (cm)	Peso próprio	Adicional	Positiva	Negativa
P1	20x70	38,68	34,71	89,42	0,00
P2	25x70	59,20	54,82	136,93	0,00
P3	25x70	58,26	54,23	134,48	0,00
P4	20x70	39,67	34,86	90,39	0,00
P5	25x70	58,31	59,81	141,12	0,00
P6	30x90	102,38	97,59	244,22	0,00
P7	30x80	99,46	94,64	237,87	0,00
P8	25x80	59,31	59,38	142,42	0,00
P9	20x70	33,39	35,80	85,85	0,00
P10	20x80	60,03	59,57	148,60	0,00
P18	20x70	33,36	35,76	86,41	0,00
P19	25x80	61,66	61,81	152,05	0,00
P22	25x80	59,73	60,25	142,90	0,00
P23	25x100	101,60	97,08	243,00	0,00
P24	25x100	98,36	94,77	236,44	0,00
P25	25x80	58,86	59,05	141,10	0,00
P26	20x70	39,12	34,36	89,29	0,00
P27	20x80	59,14	54,12	135,72	0,00
P28	20x80	57,32	53,47	132,27	0,00
P29	20x70	39,09	34,37	89,16	0,00
P11	40x110	101,87	77,84	239,59	0,00
P12	40x120	128,82	94,99	292,29	0,00
P13	20x70	36,75	25,26	77,90	0,00
P16	20x70	37,56	25,80	79,63	0,00
P20	40x70	82,86	67,25	210,34	0,00
P21	30x100	93,84	74,81	228,62	0,00

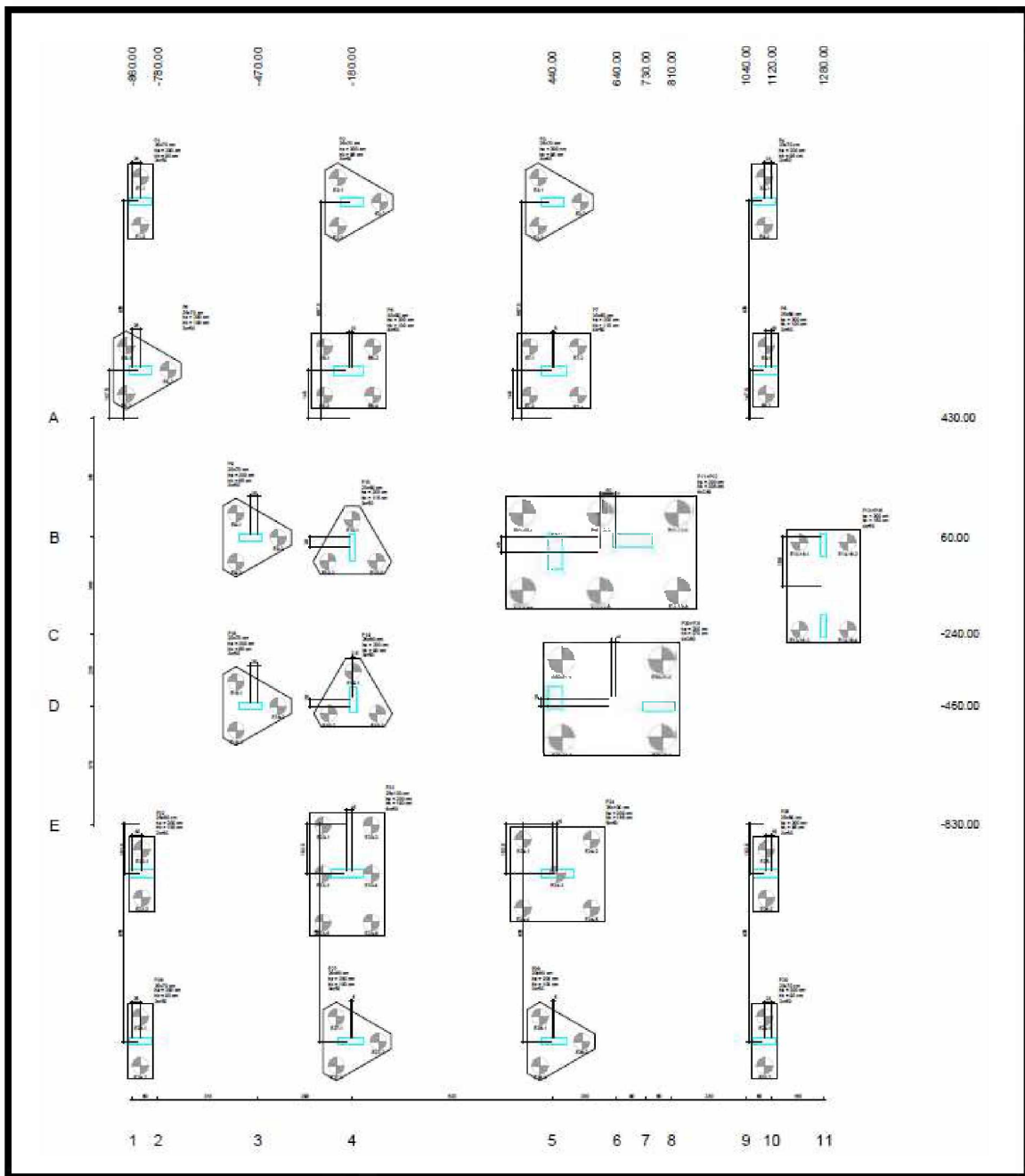
Modelo 4 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções					
Fundação		Carga (tf)		Carga máxima (tf)	
Nome	Seção (cm)	Peso próprio	Adicional	Positiva	Negativa
P1	20x70	40,43	34,73	90,63	0,00
P2	25x70	61,01	53,81	136,62	0,00
P3	25x70	60,21	53,39	134,48	0,00
P4	20x70	40,77	34,43	90,69	0,00
P5	25x70	62,92	60,89	147,00	0,00
P6	30x90	112,95	100,15	259,30	0,00
P7	30x80	110,15	97,69	253,86	0,00
P8	25x80	63,06	59,85	146,48	0,00
P9	20x70	33,68	35,06	85,66	0,00
P10	20x80	60,92	58,23	146,82	0,00
P18	20x70	33,97	35,38	86,83	0,00
P19	25x80	64,38	60,76	153,43	0,00
P22	25x80	63,44	61,84	148,72	0,00
P23	30x100	109,60	98,08	252,75	0,00
P24	25x100	106,73	95,36	246,61	0,00
P25	25x80	62,89	60,17	146,49	0,00
P26	20x70	39,07	33,51	87,50	0,00
P27	20x80	59,71	52,66	133,52	0,00
P28	20x80	59,15	52,43	132,01	0,00
P29	20x70	39,74	33,42	88,25	0,00
P11	40x110	94,69	73,36	228,63	0,00
P12	40x120	120,54	90,42	278,11	0,00
P13	30x90	44,82	26,35	88,71	0,00
P16	30x90	47,03	27,79	93,31	0,00
P20	40x100	89,00	69,01	221,29	0,00
P21	40x110	98,59	75,37	234,91	0,00

ANEXO D – Plantas de localização das estacas da fundação de cada modelo estrutural. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

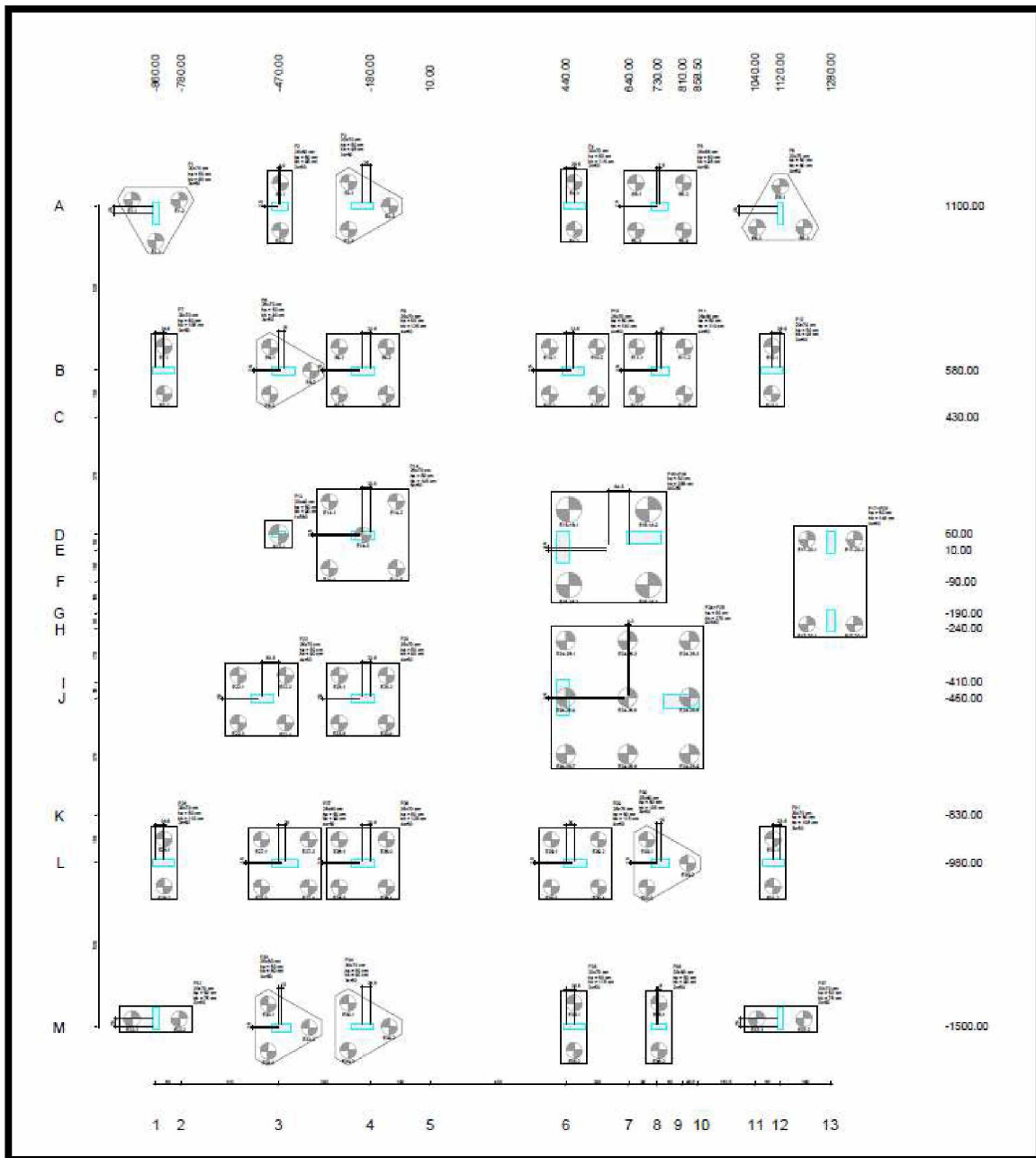
Modelo 1 – Lajes maciças



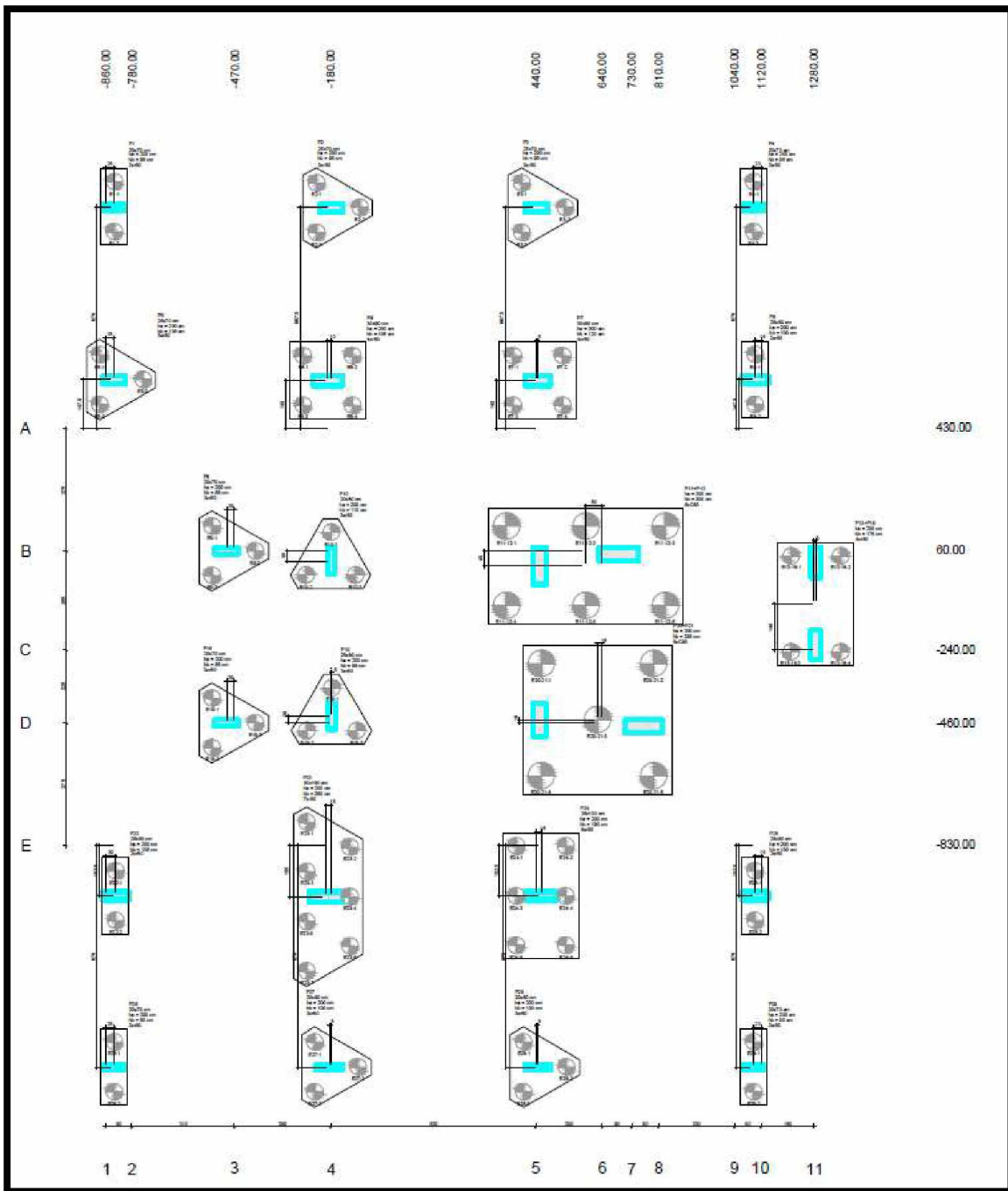
Modelo 2 – Lajes nervuradas



Modelo 3 – Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção



Modelo 4 – Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções



ANEXO E – Modelo 1 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

Resumo por elemento e por pavimento						
Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Laje imp final	Vigas	123,4	2,3	27,0	53,7	0,0
	Pilares	216,5	2,9	29,9	74,7	0,0
	Lajes	69,0	1,7	17,4	40,6	0,0
	Total	408,9	6,9	74,3	59,3	0,0
Reservatorio	Vigas	522,1	7,4	88,3	70,6	0,0
	Pilares	602,6	6,6	67,9	91,3	0,0
	Lajes	696,8	6,5	54,7	107,2	0,0
	Total	1.821,5	20,5	210,9	88,9	0,0
Transicao	Vigas	1.292,7	22,0	255,6	58,8	0,0
	Pilares	543,9	6,8	79,4	80,0	0,0
	Total	1.836,6	28,8	335,0	63,8	0,0
Cobertura	Vigas	2.256,9	26,7	332,7	84,5	0,0
	Pilares	1.592,7	20,4	235,6	78,1	0,0
	Lajes	3.055,7	39,0	363,5	78,4	0,0
	Escadas	297,8	3,4	29,6	87,6	0,0
	Total	7.203,1	89,5	961,4	80,5	0,0
Tipo 6	Vigas	2.342,7	26,7	332,4	87,7	0,0
	Pilares	1.386,4	20,4	235,6	68,0	0,0
	Lajes	3.034,8	37,9	363,4	80,1	0,0
	Escadas	332,7	3,4	29,6	97,9	0,0
	Total	7.096,6	88,4	961,0	80,3	0,0
Tipo 5	Vigas	2.500,9	26,8	332,9	93,3	0,0
	Pilares	1.357,1	20,4	235,6	66,5	0,0
	Lajes	3.034,6	37,9	363,4	80,1	0,0
	Escadas	322,9	3,4	29,6	95,0	0,0
	Total	7.215,5	88,5	961,5	81,5	0,0
Tipo 4	Vigas	2.588,5	27,4	335,0	94,5	0,0
	Pilares	1.393,2	20,4	235,6	68,3	0,0
	Lajes	3.035,2	37,9	363,1	80,1	0,0
	Escadas	326,6	3,4	29,5	96,1	0,0
	Total	7.343,5	89,1	963,2	82,4	0,0

Tipo 3	Vigas	2.710,4	27,2	334,7	99,6	0,0
	Pilares	1.467,5	20,6	236,3	71,2	0,0
	Lajes	3.043,0	37,9	363,1	80,3	0,0
	Escadas	316,3	3,4	29,6	93,0	0,0
	Total	7.537,2	89,1	963,7	84,6	0,0
Tipo 2	Vigas	2.795,8	27,7	337,2	100,9	0,0
	Pilares	1.528,3	20,8	237,0	73,5	0,0
	Lajes	3.042,7	37,9	363,1	80,3	0,0
	Escadas	301,9	3,4	29,5	88,8	0,0
	Total	7.668,7	89,8	966,8	85,4	0,0
Tipo 1	Vigas	3.069,7	27,2	336,5	112,9	0,0
	Pilares	1.820,9	21,1	239,4	86,3	0,0
	Lajes	3.021,8	37,5	363,6	80,6	0,0
	Escadas	230,5	3,5	29,6	65,9	0,0
	Total	8.142,9	89,3	969,1	91,2	0,0
Terreo	Vigas	2.067,4	22,6	302,7	91,5	0,0
	Pilares	1.228,7	9,7	107,0	126,7	0,0
	Lajes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Escadas	47,1	0,9	6,5	52,3	0,0
	Total	3.343,2	33,2	416,2	100,7	0,0
Fundacao	Vigas	2.211,5	23,4	303,7	94,5	0,0
	Pilares	1.247,6	15,1	125,8	82,6	0,0
	Fundações	9.616,9	273,6	360,9	35,1	0,0
	Total	13.076,0	312,1	790,4	41,9	0,0

Resumo por material e por elemento							
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	21.839,9	10.479,4	18.380,9	2.143,0	8.282,6	61.125,8
	CA60	2.642,2	3.906,1	3.652,7	32,8	1.334,3	11.568,1
	Total	24.482,1	14.385,5	22.033,6	2.175,8	9.616,9	72.693,9
Volume concreto (m³)	C-25	0,0	0,0	0,0	0,0	273,6	273,6
	C-30	267,4	185,2	274,1	25,0	0,0	751,7
	Total	267,4	185,2	274,1	25,0	273,6	1.025,3
Área de forma (m²)		3.318,8	2.064,8	2.615,2	213,4	360,9	8.573,1
Consumo de aço (kg/m³)		91,6	77,7	80,4	87,0	35,1	70,9

Resumo por elemento e por pavimento					
Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Total
Laje imp final	Vigas	1.142,27	907,68	2.768,03	4.817,98
	Pilares	1.687,67	1.148,05	3.899,17	6.734,89
	Lajes	656,60	684,41	2.053,43	3.394,44
	Total	3.486,54	2.740,14	8.720,63	14.947,31
Reservatorio	Vigas	4.174,85	2.912,14	9.063,87	16.150,86
	Pilares	4.380,67	2.593,91	8.847,42	15.822,00
	Lajes	6.052,04	2.556,31	6.441,83	15.050,18
	Total	14.607,56	8.062,36	24.353,12	47.023,04
Transicao	Vigas	11.587,50	8.624,51	26.227,10	46.439,11
	Pilares	3.975,80	2.664,98	10.340,89	16.981,67
	Total	15.563,30	11.289,49	36.567,99	63.420,78
Cobertura	Vigas	16.937,28	10.472,11	34.146,06	61.555,45
	Pilares	11.545,81	8.004,74	30.696,88	50.247,43
	Lajes	27.111,33	15.318,11	42.815,45	85.244,89
	Escadas	2.222,87	1.349,54	3.485,43	7.057,84
	Total	57.817,29	35.144,50	111.143,82	204.105,61
Tipo 6	Vigas	17.211,45	10.488,15	34.115,42	61.815,02
	Pilares	10.309,57	8.004,74	30.696,88	49.011,19
	Lajes	27.332,84	14.873,05	42.804,69	85.010,58
	Escadas	2.545,42	1.349,97	3.486,28	7.381,67
	Total	57.399,28	34.715,91	111.103,27	203.218,46
Tipo 5	Vigas	17.784,90	10.506,99	34.164,69	62.456,58
	Pilares	10.144,71	8.004,74	30.696,88	48.846,33
	Lajes	27.331,13	14.872,89	42.804,22	85.008,24
	Escadas	2.484,08	1.349,97	3.486,28	7.320,33
	Total	57.744,82	34.734,59	111.152,07	203.631,48
Tipo 4	Vigas	18.148,79	10.739,85	34.384,31	63.272,95
	Pilares	10.394,27	8.004,74	30.696,88	49.095,89
	Lajes	27.336,57	14.862,79	42.773,92	84.973,28
	Escadas	2.546,55	1.345,95	3.478,24	7.370,74
	Total	58.426,18	34.953,33	111.333,35	204.712,86
Tipo 3	Vigas	19.321,81	10.680,83	34.354,78	64.357,42
	Pilares	10.864,03	8.080,33	30.788,10	49.732,46
	Lajes	27.335,50	14.864,47	42.779,05	84.979,02
	Escadas	2.385,64	1.348,44	3.483,22	7.217,30
	Total	59.906,98	34.974,07	111.405,15	206.286,20

Tipo 2	Vigas	19.529,81	10.866,22	34.607,41	65.003,44
	Pilares	11.277,72	8.176,52	30.879,32	50.333,56
	Lajes	27.334,75	14.862,13	42.771,44	84.968,32
	Escadas	2.400,12	1.343,11	3.473,45	7.216,68
	Total	60.542,40	35.247,98	111.731,62	207.522,00
Tipo 1	Vigas	21.536,90	10.692,79	34.536,67	66.766,36
	Pilares	13.058,55	8.296,76	31.198,61	52.553,92
	Lajes	27.194,45	14.735,94	42.827,23	84.757,62
	Escadas	1.946,14	1.384,39	3.481,77	6.812,30
	Total	63.736,04	35.109,88	112.044,28	210.890,20
Terreo	Vigas	14.957,07	8.890,45	31.069,04	54.916,56
	Pilares	8.672,32	3.810,47	13.937,72	26.420,51
	Escadas	387,83	357,70	768,47	1.514,00
	Total	24.017,22	13.058,62	45.775,23	82.851,07
Fundacao	Vigas	16.394,80	9.202,02	31.171,60	56.768,42
	Pilares	9.391,44	5.917,92	16.399,47	31.708,83
	Fundações	62.304,62	92.865,43	51.633,27	206.803,32
	Total	88.090,86	107.985,37	99.204,34	295.280,57
Custo total do projeto					1.943.889,58

ANEXO F – Modelo 2 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

Resumo por elemento e por pavimento						
Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Laje imp final	Vigas	79,8	1,9	23,2	42,0	0,0
	Pilares	202,2	2,6	31,6	77,8	0,0
	Lajes	62,4	2,1	17,6	29,7	0,0
	Total	344,4	6,6	72,4	52,2	0,0
Base Reservatório	Vigas	411,8	7,2	86,4	57,2	0,0
	Pilares	624,8	5,0	61,3	125,0	0,0
	Lajes	645,2	7,2	54,6	89,6	0,0
	Total	1.681,8	19,4	202,3	86,7	0,0
Transição	Vigas	731,4	16,4	194,1	44,6	0,0
	Pilares	632,9	6,2	79,2	102,1	0,0
	Total	1.364,3	22,6	273,3	60,4	0,0
Cobertura	Vigas	2.138,8	27,8	328,7	76,9	0,0
	Pilares	1.322,3	14,6	184,8	90,6	0,0
	Lajes	2.235,0	34,8	352,7	64,2	0,0
	Escadas	259,3	3,7	29,6	70,1	0,0
	Total	5.955,4	80,9	895,8	73,6	0,0
Tipo 6	Vigas	2.385,0	28,5	329,9	83,7	0,0
	Pilares	1.155,0	14,6	184,8	79,1	0,0
	Lajes	2.440,0	35,9	365,0	68,0	0,0
	Escadas	247,8	3,6	30,8	68,8	0,0
	Total	6.227,8	82,6	910,5	75,4	0,0
Tipo 5	Vigas	2.482,8	28,5	330,0	87,1	0,0
	Pilares	1.106,5	14,6	185,5	75,8	0,0
	Lajes	2.443,1	35,9	365,0	68,1	0,0
	Escadas	304,4	3,7	31,4	82,3	0,0
	Total	6.336,8	82,7	911,9	76,6	0,0
Tipo 4	Vigas	2.602,4	29,3	331,4	88,8	0,0
	Pilares	1.231,1	14,9	186,2	82,6	0,0
	Lajes	2.467,4	35,8	364,1	68,9	0,0
	Escadas	316,8	3,7	31,4	85,6	0,0
	Total	6.617,7	83,7	913,1	79,1	0,0

Tipo 3	Vigas	2.782,5	29,3	331,3	95,0	0,0
	Pilares	1.680,6	15,2	187,3	110,6	0,0
	Lajes	2.468,8	35,8	364,1	69,0	0,0
	Escadas	313,4	3,7	31,4	84,7	0,0
	Total	7.245,3	84,0	914,1	86,3	0,0
Tipo 2	Vigas	2.945,7	29,3	331,3	100,5	0,0
	Pilares	1.844,7	16,0	189,4	115,3	0,0
	Lajes	2.437,4	35,8	364,1	68,1	0,0
	Escadas	249,8	3,7	31,4	67,5	0,0
	Total	7.477,6	84,8	916,2	88,2	0,0
Tipo 1	Vigas	3.192,4	28,3	323,5	112,8	0,0
	Pilares	2.242,7	16,2	190,1	138,4	0,0
	Lajes	2.627,0	35,2	364,1	74,6	0,0
	Escadas	193,3	3,7	31,4	52,2	0,0
	Total	8.255,4	83,4	909,1	99,0	0,0
Térreo	Vigas	1.888,5	24,7	290,2	76,5	0,0
	Pilares	1.145,9	8,0	86,1	143,2	0,0
	Lajes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Escadas	40,4	1,0	6,5	40,4	0,0
	Total	3.074,8	33,7	382,8	91,2	0,0
Fundacao	Vigas	2.265,1	26,3	297,5	86,1	0,0
	Pilares	1.837,5	18,8	182,5	97,7	0,0
	Lajes	12,5	0,6	3,8	20,8	0,0
	Escadas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Fundações	7.585,0	195,1	282,4	38,9	0,0
	Total	11.700,1	240,8	766,2	48,6	0,0

Resumo por material e por elemento							
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	21.113,8	11.727,4	15.540,1	1.920,5	6.523,9	56.825,7
	CA60	2.792,3	3.298,9	2.298,9	4,8	1.061,1	9.456,0
	Total	23.906,1	15.026,3	17.839,0	1.925,3	7.585,0	66.281,7
Volume concreto (m³)	C-25	0,0	0,0	0,0	0,0	195,1	195,1
	C-30	277,7	146,8	259,0	26,7	0,0	710,2
	Total	277,7	146,8	259,0	26,7	195,1	905,3
Área de forma (m²)		3.197,4	1.748,7	2.615,1	223,7	282,4	8.067,3
Consumo de aço (kg/m³)		86,1	102,4	68,9	72,1	38,9	73,2

Resumo por elemento e por pavimento							
Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Laje pré-fabricada	Bloco de enchimento	Total
Laje imp final	Vigas	632,60	757,78	2.376,91	0,00	0,00	3.767,29
	Pilares	1.528,40	1.034,58	4.120,72	0,00	0,00	6.683,70
	Lajes	604,91	829,82	2.074,75	0,00	0,00	3.509,48
	Total	2.765,91	2.622,18	8.572,38	0,00	0,00	13.960,47
Base Reservatório	Vigas	3.084,50	2.826,94	8.867,23	0,00	0,00	14.778,67
	Pilares	4.369,26	1.956,18	7.991,22	0,00	0,00	14.316,66
	Lajes	5.286,86	2.846,11	6.437,65	0,00	0,00	14.570,62
	Total	12.740,62	7.629,23	23.296,10	0,00	0,00	43.665,95
Transição	Vigas	6.295,64	6.451,78	19.919,15	0,00	0,00	32.666,57
	Pilares	4.784,18	2.452,96	10.321,34	0,00	0,00	17.558,48
	Total	11.079,82	8.904,74	30.240,49	0,00	0,00	50.225,05
Cobertura	Vigas	16.012,12	10.924,14	33.738,07	0,00	0,00	60.674,33
	Pilares	9.469,75	5.723,56	24.083,14	0,00	0,00	39.276,45
	Lajes	17.815,21	13.654,32	41.544,20	16.487,28	5.005,88	94.506,89
	Escadas	2.014,67	1.440,48	3.482,47	0,00	0,00	6.937,62
	Total	45.311,75	31.742,50	102.847,88	16.487,28	5.005,88	201.395,29
Tipo 6	Vigas	18.018,67	11.203,19	33.853,12	0,00	0,00	63.074,98
	Pilares	8.566,04	5.723,56	24.083,14	0,00	0,00	38.372,74
	Lajes	20.547,25	14.077,95	42.992,91	16.443,60	4.903,18	98.964,89
	Escadas	1.952,56	1.411,08	3.633,84	0,00	0,00	6.997,48
	Total	49.084,52	32.415,78	104.563,01	16.443,60	4.903,18	207.410,09
Tipo 5	Vigas	18.612,57	11.207,11	33.865,44	0,00	0,00	63.685,12
	Pilares	8.348,93	5.751,05	24.174,36	0,00	0,00	38.274,34
	Lajes	20.572,02	14.078,32	42.994,09	16.443,60	4.903,18	98.991,21
	Escadas	2.413,59	1.442,47	3.694,42	0,00	0,00	7.550,48
	Total	49.947,11	32.478,95	104.728,31	16.443,60	4.903,18	208.501,15
Tipo 4	Vigas	19.101,99	11.514,42	34.007,17	0,00	0,00	64.623,58
	Pilares	8.835,55	5.860,98	24.265,58	0,00	0,00	38.962,11
	Lajes	21.023,71	14.043,95	42.888,60	16.399,92	4.903,18	99.259,36
	Escadas	2.484,79	1.442,47	3.694,42	0,00	0,00	7.621,68
	Total	51.446,04	32.861,82	104.855,77	16.399,92	4.903,18	210.466,73

Tipo 3	Vigas	20.484,22	11.512,85	34.002,04	0,00	0,00	65.999,11
	Pilares	11.560,75	5.950,31	24.402,42	0,00	0,00	41.913,48
	Lajes	21.036,89	14.044,34	42.889,78	16.399,92	4.903,18	99.274,11
	Escadas	2.245,67	1.442,47	3.694,42	0,00	0,00	7.382,56
	Total	55.327,53	32.949,97	104.988,66	16.399,92	4.903,18	214.569,26
Tipo 2	Vigas	20.825,25	11.493,25	34.002,11	0,00	0,00	66.320,61
	Pilares	13.430,48	6.286,99	24.676,09	0,00	0,00	44.393,56
	Lajes	20.695,10	14.044,82	42.892,35	16.399,92	4.903,18	98.935,37
	Escadas	1.983,98	1.442,58	3.694,72	0,00	0,00	7.121,28
	Total	56.934,81	33.267,64	105.265,27	16.399,92	4.903,18	216.770,82
Tipo 1	Vigas	22.292,49	11.131,02	33.202,24	0,00	0,00	66.625,75
	Pilares	15.132,60	6.362,57	24.767,32	0,00	0,00	46.262,49
	Lajes	20.754,63	13.836,96	42.889,42	16.398,60	4.705,68	98.585,29
	Escadas	1.635,25	1.442,58	3.694,72	0,00	0,00	6.772,55
	Total	59.814,97	32.773,13	104.553,70	16.398,60	4.705,68	218.246,08
Térreo	Vigas	14.302,60	9.690,79	29.782,46	0,00	0,00	53.775,85
	Pilares	7.515,42	3.130,24	11.220,55	0,00	0,00	21.866,21
	Escadas	329,77	411,85	767,94	0,00	0,00	1.509,56
	Total	22.147,79	13.232,88	41.770,95	0,00	0,00	77.151,62
Fundacao	Vigas	16.413,75	10.339,17	30.534,13	0,00	0,00	57.287,05
	Pilares	14.256,01	7.385,66	23.787,96	0,00	0,00	45.429,63
	Lajes	121,62	225,68	451,39	0,00	0,00	798,69
	Fundações	47.762,72	66.234,30	40.402,54	0,00	0,00	154.399,56
	Total	78.554,10	84.184,81	95.176,02	0,00	0,00	257.914,93
Custo total do projeto							1.920.277,44

ANEXO G – Modelo 3 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

Resumo por elemento e por pavimento						
Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Laje imp final	Vigas	122.3	2.3	26.9	53.2	0.0
	Pilares	174.4	2.9	29.9	60.1	0.0
	Lajes	69.0	1.7	17.4	40.6	0.0
	Total	365.7	6.9	74.2	53.0	0.0
Reservatorio	Vigas	480.2	7.4	88.4	64.9	0.0
	Pilares	509.8	7.1	71.5	71.8	0.0
	Lajes	689.2	6.5	54.7	106.0	0.0
	Total	1,679.2	21.0	214.6	80.0	0.0
Transicao	Vigas	1,266.3	21.9	256.1	57.8	0.0
	Pilares	508.9	7.0	81.0	72.7	0.0
	Total	1,775.2	28.9	337.1	61.4	0.0
Cobertura	Vigas	1,828.2	26.7	318.4	68.5	0.0
	Pilares	1,542.7	20.8	239.1	74.2	0.0
	Lajes PM	720.5	0.0	0.0	0.0	616.6
	Lajes	666.6	30.0	21.1	22.2	0.0
	Escadas	322.1	3.5	29.5	92.0	0.0
	Total	5,080.1	81.0	608.1	62.7	616.6
Tipo 6	Vigas	1,819.6	26.7	318.4	68.1	0.0
	Pilares	1,401.6	20.8	239.1	67.4	0.0
	Lajes PM	635.8	0.0	0.0	0.0	598.9
	Lajes	928.7	26.5	21.1	35.0	0.0
	Escadas	268.7	3.5	29.5	76.8	0.0
	Total	5,054.4	77.5	608.1	65.2	598.9
Tipo 5	Vigas	1,941.5	26.7	318.4	72.7	0.0
	Pilares	1,364.7	20.8	239.1	65.6	0.0
	Lajes PM	638.0	0.0	0.0	0.0	582.3
	Lajes	823.0	28.8	21.1	28.6	0.0
	Escadas	280.5	3.5	29.5	80.1	0.0
	Total	5,047.7	79.8	608.1	63.3	582.3
Tipo 4	Vigas	2,041.9	26.7	318.4	76.5	0.0
	Pilares	1,402.8	20.8	239.1	67.4	0.0
	Lajes PM	638.0	0.0	0.0	0.0	582.3
	Lajes	793.3	28.8	21.1	27.5	0.0
	Escadas	278.1	3.5	29.5	79.5	0.0
	Total	5,154.1	79.8	608.1	64.6	582.3

Tipo 3	Vigas	2,160.3	26.7	318.4	80.9	0.0
	Pilares	1,422.2	20.8	239.1	68.4	0.0
	Lajes PM	638.0	0.0	0.0	0.0	582.3
	Lajes	793.3	28.8	21.1	27.5	0.0
	Escadas	280.9	3.5	29.5	80.3	0.0
	Total	5,294.7	79.8	608.1	66.3	582.3
Tipo 2	Vigas	2,270.0	26.7	318.4	85.0	0.0
	Pilares	1,533.0	20.8	239.1	73.7	0.0
	Lajes PM	638.0	0.0	0.0	0.0	582.3
	Lajes	793.3	28.8	21.1	27.5	0.0
	Escadas	283.2	3.5	29.5	80.9	0.0
	Total	5,517.5	79.8	608.1	69.1	582.3
Tipo 1	Vigas	2,313.8	26.7	318.4	86.7	0.0
	Pilares	1,837.1	20.8	239.1	88.3	0.0
	Lajes PM	633.5	0.0	0.0	0.0	617.3
	Lajes	747.6	28.8	21.1	26.0	0.0
	Escadas	261.2	3.6	30.0	72.6	0.0
	Total	5,793.2	79.9	608.6	72.5	617.3
Terreo	Vigas	1,792.4	25.2	301.7	71.1	0.0
	Pilares	1,019.2	9.1	103.1	112.0	0.0
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Escadas	44.5	0.9	6.3	49.4	0.0
	Total	2,856.1	35.2	411.1	81.1	0.0
Fundacao	Vigas	1,891.0	25.0	300.1	75.6	0.0
	Pilares	1,056.6	11.0	106.6	96.1	0.0
	Fundações	6,799.1	196.0	311.6	34.7	0.0
	Total	9,746.7	232.0	718.3	42.0	0.0

Resumo por material e por elemento								
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Lajes PM	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	16,849.2	9,797.7	5,722.6	2,006.6	5,658.9	4,304.8	44,339.8
	CA60	3,078.3	3,975.4	581.5	12.7	1,140.2	236.8	9,024.9
	Total	19,927.5	13,773.1	6,304.1	2,019.3	6,799.1	4,541.6	53,364.7
Peso treliças (kg)	CA60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4,162.1	4,162.1
Volume concreto (m³)	C-25	0.0	0.0	0.0	0.0	196.0	0.0	196.0
	C-30	268.6	183.0	208.7	25.6	0.0	0.0	685.9
	Total	268.6	183.0	208.7	25.6	196.0	0.0	881.9
Área de forma (m²)		3,202.1	2,065.5	219.6	213.4	311.6	0.0	6,012.2
Consumo de aço (kg/m³)		74.2	75.3	30.2	78.9	34.7	0.0	60.5

Resumo por elemento e por pavimento							
Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Laje pré-fabricada	Bloco de enchimento	Total
Laje imp final	Vigas	1,124.09	906.27	2,763.72	0.00	0.00	4,794.08
	Pilares	1,305.06	1,148.05	3,899.17	0.00	0.00	6,352.28
	Lajes	656.60	684.53	2,053.78	0.00	0.00	3,394.91
	Total	3,085.75	2,738.85	8,716.67	0.00	0.00	14,541.27
Reservatorio	Vigas	3,937.56	2,892.11	9,072.49	0.00	0.00	15,902.16
	Pilares	3,771.20	2,805.29	9,323.09	0.00	0.00	15,899.58
	Lajes	6,023.83	2,559.26	6,449.22	0.00	0.00	15,032.31
	Total	13,732.59	8,256.66	24,844.80	0.00	0.00	46,834.05
Transicao	Vigas	11,370.38	8,617.44	26,279.44	0.00	0.00	46,267.26
	Pilares	3,812.58	2,751.85	10,555.92	0.00	0.00	17,120.35
	Total	15,182.96	11,369.29	36,835.36	0.00	0.00	63,387.61
Cobertura	Vigas	13,608.18	10,476.15	32,680.68	0.00	0.00	56,765.01
	Pilares	11,410.76	8,179.96	31,153.00	0.00	0.00	50,743.72
	Lajes	4,940.62	11,768.40	2,480.34	10,143.66	4,881.64	34,214.66
	Escadas	2,231.73	1,382.65	3,478.39	0.00	0.00	7,092.77
	Total	32,191.29	31,807.16	69,792.41	10,143.66	4,881.64	148,816.16
Tipo 6	Vigas	13,693.01	10,476.15	32,680.68	0.00	0.00	56,849.84
	Pilares	10,494.23	8,179.96	31,153.00	0.00	0.00	49,827.19
	Lajes	7,991.93	10,396.10	2,480.34	10,143.66	4,986.32	35,998.35
	Escadas	2,166.52	1,382.65	3,478.39	0.00	0.00	7,027.56
	Total	34,345.69	30,434.86	69,792.41	10,143.66	4,986.32	149,702.94
Tipo 5	Vigas	13,968.09	10,476.15	32,680.68	0.00	0.00	57,124.92
	Pilares	10,213.13	8,179.96	31,153.00	0.00	0.00	49,546.09
	Lajes	6,534.18	11,303.51	2,480.34	10,143.66	5,051.20	35,512.89
	Escadas	2,356.24	1,382.65	3,478.39	0.00	0.00	7,217.28
	Total	33,071.64	31,342.27	69,792.41	10,143.66	5,051.20	149,401.18

Tipo 4	Vigas	14,756.73	10,476.15	32,680.68	0.00	0.00	57,913.56
	Pilares	10,544.26	8,179.96	31,153.00	0.00	0.00	49,877.22
	Lajes	6,147.40	11,303.51	2,480.34	10,143.66	5,051.20	35,126.11
	Escadas	2,362.98	1,382.65	3,478.39	0.00	0.00	7,224.02
	Total	33,811.37	31,342.27	69,792.41	10,143.66	5,051.20	150,140.91
Tipo 3	Vigas	15,439.20	10,476.15	32,680.68	0.00	0.00	58,596.03
	Pilares	10,705.38	8,179.96	31,153.00	0.00	0.00	50,038.34
	Lajes	6,147.40	11,303.51	2,480.34	10,143.66	5,051.20	35,126.11
	Escadas	2,485.67	1,382.65	3,478.39	0.00	0.00	7,346.71
	Total	34,777.65	31,342.27	69,792.41	10,143.66	5,051.20	151,107.19
Tipo 2	Vigas	16,005.11	10,476.15	32,680.68	0.00	0.00	59,161.94
	Pilares	11,391.19	8,179.96	31,153.00	0.00	0.00	50,724.15
	Lajes	6,147.40	11,303.51	2,480.34	10,143.66	5,051.20	35,126.11
	Escadas	2,155.97	1,382.65	3,478.39	0.00	0.00	7,017.01
	Total	35,699.67	31,342.27	69,792.41	10,143.66	5,051.20	152,029.21
Tipo 1	Vigas	16,561.87	10,476.15	32,680.68	0.00	0.00	59,718.70
	Pilares	13,320.97	8,179.96	31,153.00	0.00	0.00	52,653.93
	Lajes	5,469.20	11,303.51	2,480.34	10,143.66	5,051.20	34,447.91
	Escadas	2,072.08	1,409.24	3,534.22	0.00	0.00	7,015.54
	Total	37,424.12	31,368.86	69,848.24	10,143.66	5,051.20	153,836.08
Terreo	Vigas	12,238.06	9,875.55	30,959.67	0.00	0.00	53,073.28
	Pilares	7,491.71	3,570.48	13,429.48	0.00	0.00	24,491.67
	Escadas	364.95	342.68	736.40	0.00	0.00	1,444.03
	Total	20,094.72	13,788.71	45,125.55	0.00	0.00	79,008.98
Fundacao	Vigas	13,218.71	9,817.71	30,795.16	0.00	0.00	53,831.58
	Pilares	8,129.11	4,331.30	13,892.76	0.00	0.00	26,353.17
	Fundações	46,596.83	66,550.22	44,584.53	0.00	0.00	157,731.58
	Total	67,944.65	80,699.23	89,272.45	0.00	0.00	237,916.33
Custo total do projeto							1,496,721.91

ANEXO H – Modelo 4 - Planilhas resumo de consumo de materiais por elemento por pavimento, resumo geral por material por elemento e resumo de custos por elemento e por pavimento. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

Resumo por elemento e por pavimento						
Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Laje imp final	Vigas	89,5	2,0	23,5	44,8	0,0
	Pilares	197,2	3,0	32,3	65,7	0,0
	Lajes	62,4	2,1	17,6	29,7	0,0
	Total	349,1	7,1	73,4	49,2	0,0
Base Reservatório	Vigas	414,0	7,3	87,1	56,7	0,0
	Pilares	546,2	5,4	62,1	101,1	0,0
	Lajes	647,3	7,2	54,6	89,9	0,0
	Total	1.607,5	19,9	203,8	80,8	0,0
Transição	Vigas	751,0	16,4	194,1	45,8	0,0
	Pilares	646,3	6,4	79,5	101,0	0,0
	Total	1.397,3	22,8	273,6	61,3	0,0
Cobertura	Vigas	2.139,7	28,3	323,3	75,6	0,0
	Pilares	1.389,1	15,0	185,5	92,6	0,0
	Lajes PM	454,0	0,0	0,0	0,0	525,7
	Lajes	1.593,4	29,8	8,1	53,5	0,0
	Escadas	295,3	3,5	29,5	84,4	0,0
	Total	5.871,5	76,6	546,4	76,7	525,7
Tipo 6	Vigas	2.357,9	28,3	323,3	83,3	0,0
	Pilares	1.170,1	15,0	185,5	78,0	0,0
	Lajes PM	344,0	0,0	0,0	0,0	526,6
	Lajes	1.630,8	31,0	21,2	52,6	0,0
	Escadas	266,2	3,7	31,4	71,9	0,0
	Total	5.769,0	78,0	561,4	74,0	526,6
Tipo 5	Vigas	2.448,8	28,3	323,3	86,5	0,0
	Pilares	1.137,0	15,0	185,5	75,8	0,0
	Lajes PM	348,6	0,0	0,0	0,0	524,6
	Lajes	1.639,1	31,1	21,2	52,7	0,0
	Escadas	304,2	3,7	31,4	82,2	0,0
	Total	5.877,7	78,1	561,4	75,3	524,6
Tipo 4	Vigas	2.601,7	28,3	323,3	91,9	0,0
	Pilares	1.330,3	15,0	185,5	88,7	0,0
	Lajes PM	344,0	0,0	0,0	0,0	526,6
	Lajes	1.630,8	31,0	21,2	52,6	0,0
	Escadas	316,3	3,7	31,4	85,5	0,0

Tipo 3	Vigas	2.733,4	28,3	323,6	96,6	0,0
	Pilares	1.800,7	15,0	186,2	120,0	0,0
	Lajes PM	348,6	0,0	0,0	0,0	524,6
	Lajes	1.640,1	31,1	21,2	52,7	0,0
	Escadas	281,6	3,7	31,4	76,1	0,0
	Total	6.804,4	78,1	562,4	87,1	524,6
Tipo 2	Vigas	3.009,4	28,5	324,7	105,6	0,0
	Pilares	2.215,1	15,6	188,3	142,0	0,0
	Lajes PM	357,1	0,0	0,0	0,0	526,3
	Lajes	1.654,0	31,1	21,1	53,2	0,0
	Escadas	261,8	3,7	31,4	70,8	0,0
	Total	7.497,4	78,9	565,5	95,0	526,3
Tipo 1	Vigas	3.070,5	28,7	325,7	107,0	0,0
	Pilares	2.517,9	16,6	192,5	151,7	0,0
	Lajes PM	357,7	0,0	0,0	0,0	528,7
	Lajes	1.645,4	31,1	21,1	52,9	0,0
	Escadas	230,7	3,7	31,4	62,4	0,0
	Total	7.822,2	80,1	570,7	97,7	528,7
Térreo	Vigas	1.985,4	24,8	294,0	80,1	0,0
	Pilares	1.281,6	8,2	87,3	156,3	0,0
	Lajes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Escadas	41,6	1,1	6,6	37,8	0,0
	Total	3.308,6	34,1	387,9	97,0	0,0
Fundacao	Vigas	2.404,8	26,5	294,1	90,7	0,0
	Pilares	1.812,3	21,4	194,6	84,7	0,0
	Lajes	11,8	0,5	3,6	23,6	0,0
	Fundações	7.711,2	220,5	306,7	35,0	0,0
	Total	11.940,1	268,9	799,0	44,4	0,0

Resumo por material e por elemento									
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Lajes PM	Muros	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	21.202,4	12.543,0	9.988,2	1.991,5	6.630,7	2.377,2	0,0	54.733,0
	CA60	2.803,8	3.500,9	2.167,0	6,2	1.080,4	176,7	0,0	9.735,0
	Total	24.006,2	16.043,9	12.155,2	1.997,7	7.711,1	2.553,9	0,0	64.468,0
Peso treliças (kg)	CA60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3.683,0	0,0	3.683,0
Volume concreto (m³)	C-25	0,0	0,0	0,0	0,0	220,5	0,0	0,0	220,5
	C-30	275,7	151,6	226,1	26,6	0,0	0,0	0,0	680,0
	Total	275,7	151,6	226,1	26,6	220,5	0,0	0,0	900,5
Área de forma (m²)		3.160,1	1.764,7	211,1	224,3	306,7	0,0	0,0	5.666,9
Consumo de aço (kg/m³)		87,1	105,8	53,8	75,1	35,0	0,0	0,0	71,6

Resumo por elemento e por pavimento							
Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Laje pré-fabricada	Bloco de enchimento	Total
Laje imp final	Vigas	682,28	769,55	2.413,86	0,00	0,00	3.865,69
	Pilares	1.493,23	1.188,10	4.209,34	0,00	0,00	6.890,67
	Lajes	604,91	828,88	2.072,40	0,00	0,00	3.506,19
	Total	2.780,42	2.786,53	8.695,60	0,00	0,00	14.262,55
Base Reservatório	Vigas	3.088,13	2.850,49	8.941,13	0,00	0,00	14.879,75
	Pilares	3.914,32	2.120,99	8.086,36	0,00	0,00	14.121,67
	Lajes	5.011,16	2.843,99	6.432,94	0,00	0,00	14.288,09
	Total	12.013,61	7.815,47	23.460,43	0,00	0,00	43.289,51
Transição	Vigas	6.457,03	6.451,78	19.919,15	0,00	0,00	32.827,96
	Pilares	4.807,62	2.520,68	10.360,44	0,00	0,00	17.688,74
	Total	11.264,65	8.972,46	30.279,59	0,00	0,00	50.516,70
Cobertura	Vigas	15.768,73	11.100,99	33.183,26	0,00	0,00	60.052,98
	Pilares	10.355,28	5.881,60	24.174,36	0,00	0,00	40.411,24
	Lajes	12.961,88	11.690,48	955,95	10.208,95	4.735,12	40.552,38
	Escadas	2.099,34	1.380,58	3.474,22	0,00	0,00	6.954,14
	Total	41.185,23	30.053,65	61.787,79	10.208,95	4.735,12	147.970,74

Tipo 6	Vigas	17.287,04	11.100,99	33.183,26	0,00	0,00	61.571,29
	Pilares	8.720,44	5.881,60	24.174,36	0,00	0,00	38.776,40
	Lajes	13.646,46	12.152,39	2.502,48	10.254,87	4.786,93	43.343,13
	Escadas	2.232,07	1.441,99	3.694,66	0,00	0,00	7.368,72
	Total	41.886,01	30.576,97	63.554,76	10.254,87	4.786,93	151.059,54
Tipo 5	Vigas	17.682,15	11.100,99	33.183,26	0,00	0,00	61.966,40
	Pilares	8.673,24	5.881,60	24.174,36	0,00	0,00	38.729,20
	Lajes	13.756,53	12.225,36	2.502,48	10.208,95	4.735,12	43.428,44
	Escadas	2.429,58	1.441,99	3.694,66	0,00	0,00	7.566,23
	Total	42.541,50	30.649,94	63.554,76	10.208,95	4.735,12	151.690,27
Tipo 4	Vigas	18.905,55	11.100,99	33.183,26	0,00	0,00	63.189,80
	Pilares	10.096,40	5.881,60	24.174,36	0,00	0,00	40.152,36
	Lajes	13.646,46	12.152,39	2.502,48	10.254,87	4.786,93	43.343,13
	Escadas	2.455,11	1.441,99	3.694,66	0,00	0,00	7.591,76
	Total	45.103,52	30.576,97	63.554,76	10.254,87	4.786,93	154.277,05
Tipo 3	Vigas	19.639,95	11.128,47	33.207,89	0,00	0,00	63.976,31
	Pilares	12.202,77	5.909,08	24.265,58	0,00	0,00	42.377,43
	Lajes	13.766,13	12.223,66	2.496,59	10.208,95	4.735,12	43.430,45
	Escadas	2.308,68	1.441,99	3.694,66	0,00	0,00	7.445,33
	Total	47.917,53	30.703,20	63.664,72	10.208,95	4.735,12	157.229,52
Tipo 2	Vigas	21.292,83	11.207,02	33.321,86	0,00	0,00	65.821,71
	Pilares	16.189,75	6.135,83	24.539,26	0,00	0,00	46.864,84
	Lajes	13.632,75	12.218,03	2.491,29	10.208,13	4.735,12	43.285,32
	Escadas	2.097,02	1.442,47	3.695,84	0,00	0,00	7.235,33
	Total	53.212,35	31.003,35	64.048,25	10.208,13	4.735,12	163.207,20
Tipo 1	Vigas	21.547,44	11.272,17	33.431,62	0,00	0,00	66.251,23
	Pilares	17.492,45	6.534,34	25.086,60	0,00	0,00	49.113,39
	Lajes	13.782,03	12.215,93	2.479,69	10.208,13	4.735,12	43.420,90
	Escadas	1.844,55	1.443,41	3.698,19	0,00	0,00	6.986,15
	Total	54.666,47	31.465,85	64.696,10	10.208,13	4.735,12	165.771,67
Térreo	Vigas	14.860,85	9.742,42	30.170,89	0,00	0,00	54.774,16
	Pilares	8.222,77	3.221,53	11.376,94	0,00	0,00	22.821,24
	Escadas	340,51	415,18	773,65	0,00	0,00	1.529,34
	Total	23.424,13	13.379,13	42.321,48	0,00	0,00	79.124,74
Fundacao	Vigas	16.817,38	10.422,32	30.186,02	0,00	0,00	57.425,72
	Pilares	13.443,94	8.383,04	25.357,01	0,00	0,00	47.183,99
	Lajes	114,26	214,85	429,74	0,00	0,00	758,85
	Fundações	50.603,36	74.850,31	43.887,70	0,00	0,00	169.341,37
	Total	80.978,94	93.870,52	99.860,47	0,00	0,00	274.709,93
Custo total do projeto							1.553.109,42

ANEXO I – Tabela de comparação de custos totais e por pavimento de cada modelo estrutural. Este anexo está contido de forma mais detalhada no CD (compact disc.) junto ao trabalho.

Custos por pavimento					
Modelos	Fundação	Térreo	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1 - Lajes maciças	R\$ 295.280,57	R\$ 82.851,07	R\$ 210.890,20	R\$ 207.522,00	R\$ 206.286,20
2 - Lajes nervuradas	R\$ 257.914,93	R\$ 77.151,62	R\$ 218.246,08	R\$ 216.770,82	R\$ 214.569,29
3 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção	R\$ 237.916,33	R\$ 79.008,98	R\$ 153.836,08	R\$ 152.029,21	R\$ 151.107,19
4 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções	R\$ 274.709,93	R\$ 79.124,74	R\$ 165.771,67	R\$ 163.207,20	R\$ 157.229,52

Custos por pavimento					
Modelos	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Cobertura	Transição
1 - Lajes maciças	R\$ 204.712,86	R\$ 203.631,48	R\$ 203.218,46	R\$ 204.105,61	R\$ 63.420,78
2 - Lajes nervuradas	R\$ 210.466,73	R\$ 208.501,15	R\$ 207.410,09	R\$ 201.395,29	R\$ 50.225,05
3 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção	R\$ 150.140,91	R\$ 149.401,18	R\$ 149.702,94	R\$ 148.816,16	R\$ 63.387,61
4 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções	R\$ 154.277,05	R\$ 151.690,27	R\$ 151.059,54	R\$ 147.970,74	R\$ 50.516,70

Modelos	Custo por pavimento		Custo Total
	Reservatório	Laje imp final	Custo Total
1 - Lajes maciças	R\$ 47.023,04	R\$ 14.947,31	R\$ 1.943.889,58
2 - Lajes nervuradas	R\$ 43.665,95	R\$ 13.960,47	R\$ 1.920.277,47
3 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em uma direção	R\$ 46.834,05	R\$ 14.541,27	R\$ 1.496.721,91
4 - Lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas em duas direções	R\$ 43.289,51	R\$ 14.262,55	R\$ 1.553.109,42