



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**TECNOLOGIA E CONCEPÇÃO DE SISTEMAS
ESTRUTURAIS HÍBRIDOS DE CONCRETO PARA
EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS NO BRASIL**

Leandro Teixeira Takata

São Carlos

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**TECNOLOGIA E CONCEPÇÃO DE SISTEMAS
ESTRUTURAIS HÍBRIDOS DE CONCRETO PARA
EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS NO BRASIL**

Leandro Teixeira Takata

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Estruturas e Construção Civil

Área de Concentração: Sistemas Construtivos

Orientador: Prof. Titular Roberto Chust Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

São Carlos

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Leandro Teixeira Takata, realizada em 11/04/2017:

Prof. Dr. Roberto Chust Carvalho
UFSCar

Prof. Dr. Andre Luis Christoforo
UFSCar

Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho
UFSCar

Prof. Dr. Libânio Miranda Pinheiro
USP

Prof. Dr. João Paulo Pascon
EEL/USP

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo sacrifício e esforço que dedicaram a mim ao longo de todos esses anos para que eu pudesse ter oportunidades na vida. Sem esse apoio isso não seria possível.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Chust Carvalho pela oportunidade, por confiar no meu trabalho e na minha capacidade. Ao meu co-orientador Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho pelos conselhos dados ao longo dessa jornada, também por confiar no meu trabalho. Agradeço muito aos dois pelos dias dedicados em me ajudar, me aconselhar (seja relacionado ao trabalho ou outros assuntos), pela amizade que desenvolvemos e pela paciência e compreensão sobre todas as dificuldades que foram aparecendo durante essa jornada. Aprendi muito com essa convivência.

A Arlete pelo apoio, carinho, compreensão e paciência durante grande parte do desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Caio Petrucelli que dedicou várias horas e dias me ensinando a usar o software, e com outros assuntos utilizados na tese. Sem tal ajuda o trabalho não seria possível.

Ao Jeremias Júnior por disponibilizar informações importantes para melhorar o trabalho.

A pessoas como Kim Elliott, Charles Goodchild e Jan Vambersky que disponibilizaram gentilmente materiais fundamentais para a tese, além das conversas via e-mail para esclarecimento do assunto.

Ao Programa de Pós-Graduação da Engenharia Civil da UFSCar por mais uma oportunidade de crescimento profissional.

A Capes que financiou o projeto desenvolvido.

Luke: I don't believe it.

Yoda: That is why you fail.

(Star Wars – The Empire Strikes Back)

RESUMO

Considerado como um método moderno de construção (do inglês, Modern Methods of Construction, ou simplesmente MMC), o sistema construtivo híbrido apresenta diversas vantagens perante outros sistemas. Ele combina os benefícios da construção pré-fabricada com as vantagens da construção moldada no local com menores custos e maior qualidade dos elementos, além de oferecerem estruturas competitivas (comparadas às mais tradicionais) com boa qualidade e durabilidade. Há uma tendência grande na construção civil em se tentar utilizar as características de sistemas construtivos diferentes que possam trazer benefícios em edificações. Nos sistemas construtivos híbridos, a ideia é se usar as vantagens de mais de um sistema com características distintas. Neste trabalho, a proposta é buscar sistemas, a princípio, com as características do pré-fabricado e do moldado no local, para usá-los em uma mesma edificação. Algumas vantagens e desvantagens deste sistema são apresentadas, assim como o cenário nacional e internacional de sua utilização. Procura-se mostrar a partir da atual condição da construção civil, como já é possível aplicar a união dos dois sistemas: o concreto pré-moldado e o concreto moldado no local para a execução de edificações verticais. A ideia do trabalho elaborado é apresentar um estudo de como estruturas com sistema construtivo híbrido podem ser aplicadas nas edificações. São estudadas as interações dos sistemas escolhidos, como podem ser executados diante das diferentes necessidades e condições e quais custos implicam no início e no fim da obra. São apresentados alguns exemplos de cálculos para ilustrar as diferenças e similaridades com os moldados no local e pré-fabricados. Também é apresentado um exemplo do custo entre os sistemas construtivos para que possam servir como base para uma opção a mais na definição e escolha do sistema construtivo.

Palavras-chave: Sistema construtivo híbrido, moldado no local, pré-fabricados, viabilidade estrutural e financeira.

ABSTRACT

Considered as a modern method of construction (Modern Methods of Construction, or simply MMC), the hybrid construction system presents several advantages over other systems. It combines the benefits of precast construction with the advantages of cast in place with lower costs and higher quality of the elements, in addition to offer competitive (compared to more traditional) structures with good quality and durability. There is a great tendency in construction in trying to use characteristics of different constructive systems that can bring benefits in buildings. In hybrid construction systems, the idea is to use advantages of more than one system with different characteristics. In this work, the proposal is to look for systems, in principle, with characteristics of precast and cast in place, to use them in the same building. Some advantages and disadvantages of this system are presented, as well as the national and international scenario of their application. It is attempted to show from the current condition of civil construction, as it is already possible to apply the union of the two systems: the precast and cast in place concrete for making of vertical constructions. The idea of the work is to present a study of how structures with hybrid construction system can be applied in buildings. The interactions of the chosen systems are studied, how they can be executed in the face of different needs and conditions, and what costs entail the beginning and end of the work. Some examples of calculation are presented to illustrate the differences and similarities with cast in place and precast. An example of the cost between the constructive systems is also presented, so that they can serve as base for an additional option in the definition and choice of the constructive system.

Keywords: Hybrid construction systems, cast in place, precast, structural and financial feasibility.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1 - EDIFÍCIO EM CONSTRUÇÃO COM SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO, COM VIGAS E LAJES PRÉ-FABRICADAS E PILARES MOLDADOS NO LOCAL.....	32
FIGURA 2-1 - ESTRUTURA MISTA DE AÇO E CONCRETO.....	41
FIGURA 2-2 - PILAR MISTO DE AÇO E CONCRETO.....	43
FIGURA 2-3 - ESTRUTURA MISTA COM PERFIS DE AÇO (PILARES E VIGAS) PARA DEPOIS SEREM CONCRETADOS.....	44
FIGURA 2-4 - ESTRUTURA COM VIGAS E PILARES EM PERFIS DE AÇO ALÉM DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS.....	45
FIGURA 2-5 - LAJE MISTA (PERFIL DE AÇO).....	46
FIGURA 2-6 - ESTRUTURA EM CONCRETO PRÉ-FABRICADO.....	48
FIGURA 2-7 - ETAPAS DE PRODUÇÃO DOS ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS ONDE É O TEMPO DE ESPERA ENTRE UMA ETAPA E SUA POSTERIOR.....	55
FIGURA 2-8 - RELAÇÃO PROJETO X PRODUÇÃO DE UMA ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA.....	56
FIGURA 2-9 - IÇAMENTO DE UMA VIGA PRÉ-MOLDADA.....	58
FIGURA 2-10 - VISÃO DE UMA PISTA DE FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS EM FÁBRICA.....	60
FIGURA 2-11 - IÇAMENTO DO PILAR PRÉ-FABRICADO.....	61
FIGURA 2-12 - IÇAMENTO DE VIGA PRÉ-FABRICADA.....	62
FIGURA 2-13 - ESCORAMENTO DA VIGA PRÉ-FABRICADA.....	63
FIGURA 2-14 - IÇAMENTO DE LAJE ALVEOLAR.....	64
FIGURA 2-15 - IÇAMENTO DE LAJE PI.....	64
FIGURA 2-16 - ESQUEMA DE CAPEAMENTO DA LAJE ALVEOLAR.....	65
FIGURA 2-17 - LIGAÇÕES VIGA X PILAR ARTICULADAS.....	70
FIGURA 2-18 - DETALHE TÍPICO DE LIGAÇÃO DE UM ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA.....	71
FIGURA 2-19 - LIGAÇÃO VIGA X PILAR PRÉ-FABRICADO.....	71
FIGURA 2-20 - SISTEMA CONSTRUTIVO MOLDADO NO LOCAL NA ALEMANHA.....	74
FIGURA 2-21 - SISTEMA CONSTRUTIVO MOLDADO NO LOCAL NOS ESTADOS UNIDOS.....	74
FIGURA 2-22 - ELEVADO NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS NO CANTEIRO DE OBRAS NA CONCRETAGEM.....	78
FIGURA 2-23 - ARMADURA E ESCORAMENTOS EM CANTEIRO DO SISTEMA MOLDADO NO LOCAL.....	81
FIGURA 2-24 - QUANTIDADE ELEVADA DE ESCORAMENTO PROVISÓRIO NO SISTEMA CONSTRUTIVO MOLDADO NO LOCAL.....	84
FIGURA 2-25 - CICLO DE CONSTRUÇÃO - SISTEMA MOLDADO NO LOCAL.....	86
FIGURA 2-26 - POSICIONAMENTO DAS FÔRMAS DOS PILARES.....	87
FIGURA 2-27 - POSICIONAMENTO DAS ESCORAS DA VIGA.....	88
FIGURA 2-28 - POSICIONAMENTO DAS ESCORAS DA LAJE.....	89
FIGURA 2-29 - CONSTRUÇÃO DO BURJ KHALIFA EM DUBAI.....	91
FIGURA 2-30 - CONSTRUÇÃO DO BURJ KHALIFA NO SISTEMA CONSTRUTIVO MOLDADO NO LOCAL.....	91
FIGURA 2-31 - SISTEMA DE FÔRMAS DO BURJ KHALIFA.....	92
FIGURA 2-32 - SISTEMA DE FÔRMAS UTILIZADO NO BURJ KHALIFA.....	93
FIGURA 2-33 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UMA ESTRUTURA EM CONCRETO PROTENDIDO.....	95
FIGURA 2-34 - CONSTRUÇÃO DE UM PAVIMENTO EM CONCRETO PROTENDIDO.....	96
FIGURA 2-35 - PREPARAÇÃO DA PISTA DE PROTENSÃO.....	98
FIGURA 2-36 - POSICIONAMENTO DOS CABOS DE PROTENSÃO.....	99
FIGURA 2-37 - RECORTES DO ELEMENTO NA PRÓPRIA PISTA DE PROTENSÃO.....	99
FIGURA 2-38 - CORTE DAS LAJES NA PISTA DE PROTENSÃO.....	100

FIGURA 2-39 - PEÇA SENDO LEVANTADA PARA POSTERIOR ARMAZENAMENTO	101
FIGURA 3-1 - ESTRUTURA EM SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO.....	105
FIGURA 3-2 - OBRA NO SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO COM PILARES MOLDADOS NO LOCAL	106
FIGURA 3-3 - EDIFÍCIO NO BRASIL COM SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO.....	111
FIGURA 3-4 - SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO COM NÚCLEO RÍGIDO MOLDADO NO LOCAL	112
FIGURA 3-5 - SITUAÇÃO DE PROJETO DE UMA ESTRUTURA EM SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO	114
FIGURA 3-6 - OPÇÃO CONSTRUTIVO ADOTADA PARA EDIFICAÇÃO NO SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO.....	115
FIGURA 3-7 - ESTRUTURA HÍBRIDA COM OPÇÃO DE ELEMENTOS MOLDADOS NO PRÓPRIO CANTEIRO	116
FIGURA 3-8 - SISTEMA COM PILARES MOLDADOS NO LOCAL E LAJES E VIGAS PRÉ-FABRICADAS	117
FIGURA 3-9 - SISTEMA COM PILARES MOLDADOS NO LOCAL E LAJES E VIGAS PRÉ-MOLDADAS NO CANTEIRO.....	117
FIGURA 3-10 - SISTEMA COM PILARES E VIGAS MOLDADOS NO LOCAL E LAJE PRÉ-FABRICADA	118
FIGURA 3-11 - SISTEMA COM PILARES E LAJES MOLDADOS NO LOCAL E VIGA PRÉ-MOLDADA	118
FIGURA 3-12 - PRÉ-MOLDAGEM NO CANTEIRO DE OBRAS.....	119
FIGURA 3-13 - ALTA QUANTIDADE DE ESCORAMENTOS IMPOSSIBILITANDO TRABALHOS NO PAVIMENTO	120
FIGURA 3-14 - CUSTO EM UM EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO	122
FIGURA 3-15 - EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO LÍQUIDA DE EMPREGO FORMAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL - ACUMULADO EM 12 MESES - 2008-2015	124
FIGURA 3-16 - EVOLUÇÃO DO CUSTO DA CONSTRUÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO - PADRÃO H8-2N - 2007-2016	125
FIGURA 3-17 - CUSTO UNITÁRIO BÁSICO NO ESTADO DE SÃO PAULO - EM REAIS POR METRO QUADRADO (DEZ/2003)	125
FIGURA 3-18 - CONCRETO AUTO ADENSÁVEL.....	128
FIGURA 3-19 - LANÇAMENTO DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL, NÃO HÁ A NECESSIDADE DO USO DE VIBRADORES DE IMERSÃO	129
FIGURA 3-20 - MONTAGEM DE PÓRTICO NO PRÓPRIO CANTEIRO.....	133
FIGURA 3-21 - MONTAGEM DAS FÔRMAS PARA PRÉ-MOLDAGEM NO CANTEIRO	134
FIGURA 3-22 - POSICIONAMENTO DA ARMADURA NAS FÔRMAS PARA PRÉ-MOLDAGEM DAS VIGAS	134
FIGURA 3-23 - IÇAMENTO DA VIGA PRÉ-MOLDADA.....	135
FIGURA 3-24 - POSICIONAMENTO DA VIGA NO LOCAL DEFINITIVO.....	135
FIGURA 3-25 - PRÉ-MOLDAGEM DAS LAJES NO CANTEIRO.....	136
FIGURA 3-26 - POSICIONAMENTO DAS LAJES NO LOCAL DEFINITIVO.....	137
FIGURA 3-27 - CAPEAMENTO DAS LAJES	137
FIGURA 3-28 - SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO COM PILARES MOLDADOS NO LOCAL E LAJES E VIGAS PRÉ-FABRICADAS	139
FIGURA 3-29 - SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO COM PILARES MOLDADOS NO LOCAL E VIGAS PRÉ-FABRICADAS	140
FIGURA 3-30 - CONCRETAGEM DA LIGAÇÃO VIGA PILAR	141
FIGURA 3-31 - IÇAMENTO E POSICIONAMENTO DAS LAJES ALVEOLARES PRÉ-FABRICADAS.....	142
FIGURA 3-32 - ESQUEMATIZAÇÃO COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS HÍBRIDOS.....	143
FIGURA 3-33 - EDIFÍCIO TURNING TORSO	152
FIGURA 3-34 - CONSTRUÇÃO DO TURNING TORSO.....	153
FIGURA 3-35 - VISÃO AÉREA DA CONSTRUÇÃO DO TURNING TORSO.....	153
FIGURA 3-36 - CONSTRUÇÃO DO TURNING TORSO	154
FIGURA 3-37 - EDIFÍCIO THE MALIETOREN.....	155
FIGURA 3-38 - CONFIGURAÇÃO DE VIGAS PRÉ-FABRICADAS COM PILAR MOLDADO NO LOCAL O THE MALIETOREN.....	155
FIGURA 3-39 - ESQUEMA ESTRUTURAL DO PAVIMENTO DO EDIFÍCIO, COM VIGAS PRÉ-FABRICADAS E LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS.....	156
FIGURA 3-40 - POSICIONAMENTO DAS VIGAS PRÉ-FABRICADAS DO EDIFÍCIO	157
FIGURA 3-41 - EDIFÍCIO KPN TOWER	158
FIGURA 3-42 - ESQUEMA ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO.....	159

FIGURA 3-43 - CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO	159
FIGURA 3-44 - SHOPPING EM FORTALEZA	160
FIGURA 3-45 - CONSTRUÇÃO DO SHOPPING	161
FIGURA 3-46 - PANORAMA DO CANTEIRO DE OBRAS	161
FIGURA 3-47 - PILARES MOLDADOS NO LOCAL COM VIGAS E LAJES PRÉ-FABRICADAS.....	162
FIGURA 4-1 - LIMITE PARA DESLOCAMENTO PELA NBR 6118.....	167
FIGURA 4-2 - DESLOCAMENTOS MÁXIMOS PELA NBR 9062.....	167
FIGURA 4-3 - ARQUITETURA GERAL DO MODELO 1.....	169
FIGURA 4-4 - ARQUITETURA DO MODELO 2	170
FIGURA 4-5 - VALORES DO COEFICIENTE DE VENTO UTILIZADO NO CÁLCULO DA ESTRUTURA PARA O DESLOCAMENTO LATERAL.....	172
FIGURA 4-6 - CONSIDERAÇÕES ADOTADAS NAS CARGAS DE VENTO	173
FIGURA 4-7 - COTAS DA ESTRUTURA DE 4 ANDARES	174
FIGURA 4-8 - COTAS DA ESTRUTURA DE 7 ANDARES	174
FIGURA 4-9 - CARREGAMENTOS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DA ESTRUTURA.....	175
FIGURA 4-10 - ARQUITETURA DO MODELO 1	176
FIGURA 4-11 - DIMENSÕES DE VIGAS, PILARES E LAJES.....	177
FIGURA 4-12 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA	178
FIGURA 4-13 - MODELO 3D DA ESTRUTURA	179
FIGURA 4-14 - DESLOCAMENTO LATERAL DA ESTRUTURA.....	180
FIGURA 4-15 - VALORES DO GAMA Z	181
FIGURA 4-16 - CARACTERÍSTICA DA LAJE ALVEOLAR UTILIZADA.....	181
FIGURA 4-17 - DIMENSÕES DAS VIGAS E PILARES DA ESTRUTURA.....	182
FIGURA 4-18 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA COM A DISPOSIÇÃO DA LAJE ALVEOLAR	183
FIGURA 4-19 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA.....	184
FIGURA 4-20 - DESLOCAMENTO LATERAL DA ESTRUTURA.....	185
FIGURA 4-21 - VALORES DO GAMA Z	186
FIGURA 4-22 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES.....	187
FIGURA 4-23 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA PARA REPRESENTAR A DISPOSIÇÃO DAS LAJES ALVEOLARES.....	188
FIGURA 4-24 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA.....	189
FIGURA 4-25 - DESLOCAMENTO LATERAL DA ESTRUTURA.....	190
FIGURA 4-26 - VALORES DO GAMA Z	191
FIGURA 4-27 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES.....	192
FIGURA 4-28 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA	193
FIGURA 4-29 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA.....	194
FIGURA 4-30 - DESLOCAMENTO LATERAL DA ESTRUTURA.....	195
FIGURA 4-31 - VALORES DO GAMA Z	196
FIGURA 4-32 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES.....	197
FIGURA 4-33 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA PARA REPRESENTAR A DISPOSIÇÃO DAS LAJES ALVEOLARES.....	198
FIGURA 4-34 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA.....	199
FIGURA 4-35 - DESLOCAMENTO LATERAL DA ESTRUTURA.....	200
FIGURA 4-36 - VALORES DO GAMA Z	201
FIGURA 4-37 - ERRO IDENTIFICADO AO SE CALCULAR A ESTRUTURA PELO CYPECAD	201
FIGURA 4-38 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES.....	202
FIGURA 4-39 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA.....	203
FIGURA 4-40 - DESLOCAMENTO LATERAL DA ESTRUTURA.....	204
FIGURA 4-41 - VALORES DO GAMA Z	205

FIGURA 4-42 - PILARES ESCOLHIDOS PARA ANÁLISE	206
FIGURA 4-43 - CONSIDERAÇÕES DE VENTO UTILIZADAS	209
FIGURA 4-44 - COTAS DA ESTRUTURA DE 4 ANDARES.....	210
FIGURA 4-45 - COTAS DA ESTRUTURA DE 7 ANDARES.....	210
FIGURA 4-46 - ARQUITETURA DA EDIFICAÇÃO.....	212
FIGURA 4-47 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES	214
FIGURA 4-48 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA.....	215
FIGURA 4-49 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA	216
FIGURA 4-50 - VALORES DO DESLOCAMENTO LATERAL.....	217
FIGURA 4-51 - VALORES DO GAMA Z.....	218
FIGURA 4-52 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES	219
FIGURA 4-53 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA PARA REPRESENTAR A DISPOSIÇÃO DAS LAJES ALVEOLARES	220
FIGURA 4-54 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA	221
FIGURA 4-55 - VALORES DO DESLOCAMENTO LATERAL.....	222
FIGURA 4-56 - VALORES DO GAMA Z.....	223
FIGURA 4-57 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES	224
FIGURA 4-58 - PLANTA DE FÔRMAS PARA REPRESENTAR A DISPOSIÇÃO DAS LAJES ALVEOLARES.....	225
FIGURA 4-59 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA	226
FIGURA 4-60 - VALORES DO DESLOCAMENTO LATERAL.....	227
FIGURA 4-61 - VALORES DO GAMA Z.....	228
FIGURA 4-62 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES	229
FIGURA 4-63 - PLANTA DE FÔRMAS DA ESTRUTURA.....	230
FIGURA 4-64 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA	231
FIGURA 4-65 - VALORES DO DESLOCAMENTO LATERAL.....	232
FIGURA 4-66 - VALORES DO GAMA Z.....	233
FIGURA 4-67 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES	234
FIGURA 4-68 - PLANTA DE FÔRMAS PARA REPRESENTAR A DISPOSIÇÃO DAS LAJES ALVEOLARES.....	235
FIGURA 4-69 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA	236
FIGURA 4-70 - VALORES DO DESLOCAMENTO LATERAL.....	237
FIGURA 4-71 - VALORES DO GAMA Z.....	238
FIGURA 4-72 - DIMENSÕES DE VIGAS E PILARES	239
FIGURA 4-73 - ESQUEMA 3D DA ESTRUTURA	240
FIGURA 4-74 - ERRO DE CÁLCULO DA ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA.....	240
FIGURA 4-75 - VALORES DO DESLOCAMENTO LATERAL.....	241
FIGURA 4-76 - VALORES DO GAMA Z.....	242
FIGURA 4-77 - PILARES ESCOLHIDOS PARA ANÁLISE	243

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARATIVO DAS DIMENSÕES DOS PILARES (EM CM) DA ESTRUTURA DE 4 ANDARES	206
TABELA 2 - COMPARATIVO DAS DIMENSÕES DOS PILARES (EM CM) DA ESTRUTURA DE 7 ANDARES	206
TABELA 3 - COMPARATIVO DAS DIMENSÕES DOS PILARES (EM CM) DA ESTRUTURA DE 4 ANDARES	243
TABELA 4 - COMPARATIVO DAS DIMENSÕES DOS PILARES (EM CM) DA ESTRUTURA DE 7 ANDARES	243
TABELA 5 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	247
TABELA 6 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	247
TABELA 7 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	248
TABELA 8 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	248
TABELA 9 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	249
TABELA 10 - CUSTOS DOS MATERIAIS DA ESTRUTURA.....	249
TABELA 11 - CUSTO TOTAL DA MÃO DE OBRA.....	250
TABELA 12 - CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA.....	250
TABELA 13 - CUSTO TOTAL DOS PILARES	251
TABELA 14 - CUSTO TOTAL DA MÃO DE OBRA.....	251
TABELA 15 - CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA.....	252
TABELA 16 - CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA.....	252
TABELA 17 - CUSTO DA ESTRUTURA.....	253

LISTA DE TABELAS DO ANEXO A

TABELA ANEXO A - 1 - VALORES QUANTITATIVOS DAS FÔRMAS	269
TABELA ANEXO A - 2 - VALORES QUANTITATIVOS DAS ARMADURAS	269
TABELA ANEXO A - 3 - VALOR QUANTITATIVO DO CONCRETO.....	269
TABELA ANEXO A - 4 - VALOR QUANTITATIVO DO ESCORAMENTO.....	269
TABELA ANEXO A - 5 - VALORES DO PISO 2 OBTIDOS PELO CYPECAD.....	270
TABELA ANEXO A - 6 - CUSTO OBTIDO DE FÔRMAS E CONCRETO.....	270
TABELA ANEXO A - 7 - DESCRIÇÃO DOS VALORES UTILIZADOS PARA SE CHEGAR AO VALOR DAS FÔRMAS.....	270
TABELA ANEXO A - 8 - QUANTITATIVO DE AÇO DAS VIGAS	271
TABELA ANEXO A - 9 - CUSTO DO AÇO	271
TABELA ANEXO A - 10 - DIMENSÕES E QUANTITATIVO DE AÇO DOS PILARES.....	272
TABELA ANEXO A - 11 - CUSTO DOS PILARES.....	272
TABELA ANEXO A - 12 - QUANTITATIVO DO AÇO DAS LAJES	272
TABELA ANEXO A - 13 - CUSTO DO AÇO DO PAVIMENTO.....	272
TABELA ANEXO A - 14 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	273
TABELA ANEXO A - 15 - VALORES QUANTITATIVOS OBTIDOS PELO CYPECAD.....	273
TABELA ANEXO A - 16 - CUSTOS DE FÔRMAS E CONCRETO	273
TABELA ANEXO A - 17 - DESCRIÇÃO DO CUSTO DAS FÔRMAS	274
TABELA ANEXO A - 18 - DIMENSÕES E CONSUMO DE AÇO DAS VIGAS.....	274
TABELA ANEXO A - 19 - CUSTO DE MATERIAL DAS VIGAS.....	275
TABELA ANEXO A - 20 - QUANTITATIVO DOS PILARES E CONSUMO DE AÇO	275
TABELA ANEXO A - 21 - CUSTO DE AÇO DOS PILARES.....	275
TABELA ANEXO A - 22 - QUANTITATIVO DE AÇO DA LAJE.....	276
TABELA ANEXO A - 23 - CUSTO DO MATERIAL AÇO DA LAJE	276
TABELA ANEXO A - 24 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	276
TABELA ANEXO A - 25 - QUANTITATIVO OBTIDO PELO CYPECAD.....	277
TABELA ANEXO A - 26 - CUSTO DO CONCRETO.....	277
TABELA ANEXO A - 27 - DIMENSÕES E CONSUMO DE AÇO DAS VIGAS.....	277
TABELA ANEXO A - 28 - CUSTO DAS VIGAS.....	278
TABELA ANEXO A - 29 - DIMENSÕES E CONSUMO DE AÇO DOS PILARES.....	278
TABELA ANEXO A - 30 - CUSTO DOS PILARES.....	278
TABELA ANEXO A - 31 - CONSUMO DE AÇO DAS LAJES.....	278
TABELA ANEXO A - 32 - CONSUMO DE AÇO DAS LAJES.....	279
TABELA ANEXO A - 33 - CONSUMO DE AÇO DAS LAJES.....	279
TABELA ANEXO A - 34 - QUANTITATIVO OBTIDO PELO CYPECAD.....	279
TABELA ANEXO A - 35 - CUSTO DO CONCRETO.....	279
TABELA ANEXO A - 36 - DIMENSÕES E CONSUMO DE AÇO DAS VIGAS.....	280
TABELA ANEXO A - 37 - CUSTO DAS VIGAS.....	280
TABELA ANEXO A - 38 - QUANTITATIVO E CONSUMO DE AÇO DOS PILARES	281
TABELA ANEXO A - 39 - CUSTO DOS PILARES.....	281
TABELA ANEXO A - 40 - CONSUMO DE AÇO DAS LAJES.....	281
TABELA ANEXO A - 41 - CUSTO DAS LAJES	281
TABELA ANEXO A - 42 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO	282
TABELA ANEXO A - 43 - QUANTITATIVO OBTIDO PELO CYPECAD.....	282

TABELA ANEXO A - 44 - CUSTO DO CONCRETO.....	282
TABELA ANEXO A - 45 - CONSUMO DE AÇO DAS VIGAS.....	283
TABELA ANEXO A - 46 - CUSTO DAS VIGAS	283
TABELA ANEXO A - 47 - CONSUMO DE AÇO DOS PILARES.....	284
TABELA ANEXO A - 48 - CUSTO DOS PILARES	284
TABELA ANEXO A - 49 - CONSUMO DE AÇO DAS LAJES	284
TABELA ANEXO A - 50 - CUSTO DAS LAJES.....	284
TABELA ANEXO A - 51 - VALORES DOS CONSUMOS TOTAIS OBTIDOS PELO CYPECAD.....	285
TABELA ANEXO A - 52 - RESUMO DOS PREÇOS DO PISO.....	285
TABELA ANEXO A - 53 - CUSTOS DOS MATERIAIS DA ESTRUTURA	285
TABELA ANEXO A - 54 - CUSTO TOTAL DA MÃO DE OBRA.....	286
TABELA ANEXO A - 55 - CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA	286

LISTA DE TABELAS DO ANEXO B

TABELA ANEXO B - 1 - QUANTITATIVO E CUSTOS DE FÔRMAS E CONCRETO.....	287
TABELA ANEXO B - 2 - DESCRIÇÃO DO QUANTITATIVO UTILIZADO NAS FÔRMAS.....	287
TABELA ANEXO B - 3 - DIMENSÕES E CONSUMO DE AÇO DOS PILARES	287
TABELA ANEXO B - 4 - CUSTO DOS PILARES	288
TABELA ANEXO B - 5 - CONSUMO E CUSTO DE FÔRMAS E CONCRETO	288
TABELA ANEXO B - 6 - COMPOSIÇÃO DISTINTA DOS MATERIAIS DAS FÔRMAS.....	288
TABELA ANEXO B - 7 - QUANTITATIVO E CONSUMO DE AÇO DOS PILARES.....	288
TABELA ANEXO B - 8 - CUSTO DE AÇO DO PILAR.....	289
TABELA ANEXO B - 9 - CUSTO DO CONCRETO UTILIZADO NOS PILARES	289
TABELA ANEXO B - 10 - QUANTITATIVO E CONSUMO DE AÇO DOS PILARES.....	289
TABELA ANEXO B - 11 - CUSTO DO AÇO DOS PILARES	289
TABELA ANEXO B - 12 - CONSUMO E CUSTO DE CONCRETO DOS PILARES	290
TABELA ANEXO B - 13 - QUANTITATIVO E CUSTO DO AÇO DOS PILARES.....	290
TABELA ANEXO B - 14 - CUSTO DO AÇO DOS PILARES	290
TABELA ANEXO B - 15 - CONSUMO E CUSTO DE CONCRETO DOS PILARES	290
TABELA ANEXO B - 16 - QUANTITATIVO E CONSUMO DE AÇO DOS PILARES.....	291
TABELA ANEXO B - 17 - CUSTO DE AÇO DOS PILARES.....	291
TABELA ANEXO B - 18 - QUANTITATIVO DOS PILARES OBTIDOS PELO CYPECAD	291
TABELA ANEXO B - 19 - CUSTO TOTAL DOS PILARES.....	292
TABELA ANEXO B - 20 - CUSTO TOTAL DA MÃO DE OBRA	292
TABELA ANEXO B - 21 - CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA.....	292
TABELA ANEXO B - 22 - APRESENTAÇÃO DOS PESOS E DAS VIGAS PRÉ-FABRICADAS A SEREM TRANSPORTADOS	293
TABELA ANEXO B - 23 - APRESENTAÇÃO DO QUANTITATIVO DAS LAJES ALVEOLARES PRÉ-FABRICADAS.....	293
TABELA ANEXO B - 24 - CUSTO DAS VIGAS PRÉ-FABRICADAS.....	294
TABELA ANEXO B - 25 - CUSTO DAS LAJES ALVEOLARES.....	294
TABELA ANEXO B - 26 - CONSUMO E CUSTO DO COMPLEMENTO DA LAJE ALVEOLAR	294
TABELA ANEXO B - 27 - CUSTO TOTAL DA ESTRUTURA.....	295

LISTA DE TABELAS DO ANEXO C

<i>TABELA ANEXO C - 1 - QUANTITATIVO DAS VIGAS PRÉ-FABRICADAS A SEREM TRANSPORTADAS PELA CARRETA COMUM</i>	<i>297</i>
<i>TABELA ANEXO C - 2 - QUANTITATIVO DE PILARES PRÉ-FABRICADOS A SEREM TRANSPORTADOS PELA CARRETA EXTENSIVA</i>	<i>297</i>
<i>TABELA ANEXO C - 3 - QUANTITATIVO DAS LAJES ALVEOLARES A SEREM TRANSPORTADAS PELA CARRETA SIMPLES</i>	<i>297</i>
<i>TABELA ANEXO C - 4 - QUANTITATIVO E CUSTOS DE VIGAS E PILARES PRÉ-FABRICADOS</i>	<i>298</i>
<i>TABELA ANEXO C - 5 - CUSTO DAS LAJES ALVEOLARES</i>	<i>298</i>
<i>TABELA ANEXO C - 6 - CUSTO DO COMPLEMENTO DA LAJE</i>	<i>298</i>
<i>TABELA ANEXO C - 7 - CUSTO DA ESTRUTURA</i>	<i>299</i>

LISTA DE GRÁFICOS

<i>GRÁFICO 1 - COMPARATIVO DOS DESLOCAMENTOS LATERAIS DOS MODELOS PROPOSTOS.....</i>	<i>207</i>
<i>GRÁFICO 2 - COMPARATIVO DO GAMA Z DOS MODELOS PROPOSTOS.....</i>	<i>208</i>
<i>GRÁFICO 3 - COMPARATIVO DOS DESLOCAMENTOS LATERAIS DAS SITUAÇÕES PROPOSTAS.....</i>	<i>244</i>
<i>GRÁFICO 4 - COMPARATIVO DO GAMA Z DAS SITUAÇÕES PROPOSTAS.....</i>	<i>245</i>
<i>GRÁFICO 5 - COMPARATIVO DE CUSTO ENTRE AS OPÇÕES CONSTRUTIVAS.....</i>	<i>254</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	Breve apresentação bibliográfica	31
1.2	Objetivos da pesquisa	34
1.3	Justificativas	35
1.4	Metodologia	36
1.5	Estrutura do trabalho	37
2	SISTEMAS CONSTRUTIVOS ENVOLVIDOS	39
2.1	Sistema Construtivo Misto	39
2.1.1	Definições	40
2.1.2	Características gerais	41
2.2	Estruturas Pré-Fabricadas de Concreto	47
2.2.1	Características gerais e definições	48
2.2.2	Características de projeto da estrutura pré-fabricada	52
2.2.3	Características da execução em fábrica	56
2.2.4	Características gerais do canteiro e da mão de obra	57
2.2.5	Ciclo de execução de uma estrutura pré-fabricada	59
2.2.6	Ligações nos pré-fabricados	66
2.3	Sistema Construtivo Moldado no Local	73
2.3.1	Características gerais e definições	73
2.3.2	Características de projeto	76
2.3.3	Características gerais do canteiro e da mão de obra	78
2.3.4	Etapas do processo de execução	79
2.3.5	Fôrmas e escoramentos	81
2.3.6	Ciclos de execução	84
2.3.7	Caso particular: Burj Khalifa	90
2.4	Estruturas em Concreto Protendido	93
2.4.1	Definições	94
2.4.2	Vantagens, desvantagens e aplicações	96
2.4.3	Uso da protensão em lajes alveolares	97
3	SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO	103
3.1	Apresentação Inicial do Sistema	103
3.2	O Sistema Construtivo Híbrido	104

3.2.1	<i>Características do sistema</i>	107
3.2.2	<i>A concepção do sistema híbrido no Brasil</i>	110
3.2.3	<i>Opções construtivas</i>	113
3.2.4	<i>Fôrmas e escoramentos</i>	120
3.2.5	<i>Características gerais do custo da estrutura</i>	121
3.2.6	<i>Mão de obra</i>	123
3.2.7	<i>Concreto auto adensável</i>	127
3.2.8	<i>Considerações</i>	131
3.3	<i>Ciclo de Execução</i>	132
3.3.1	<i>Caso 1 – Pré-moldagem no canteiro de obras</i>	132
3.3.2	<i>Caso 2 – Pré-moldagem em fábrica</i>	138
3.3.3	<i>Conclusões dos dois casos</i>	142
3.4	<i>Opinião dos precursores e pesquisadores do sistema construtivo híbrido pelo mundo</i>	144
3.5	<i>Exemplos de Estruturas com Sistema Construtivo Híbrido pelo Mundo e no Brasil</i>	151
3.5.1	<i>Estrutura híbridas internacionais</i>	151
3.5.1.1	Turning Torso	152
3.5.1.2	The Malietoren	154
3.5.1.3	KPN Tower	157
3.5.2	<i>Estruturas híbridas no Brasil</i>	160
3.5.2.1	Pátio Dom Luis.....	160
4	<i>ESTUDO DE CASO EM MODELOS PARA BASE COMPARATIVA</i>	163
4.1	<i>Critérios considerados na avaliação dos sistemas estruturais</i>	164
4.2	<i>Estabilidade global, deslocabilidade lateral</i>	164
4.3	<i>Estudo Comparativo de Estabilidade Global e Deslocamento Lateral das Estruturas Moldadas no local, Híbridas e Pré-Fabricadas</i>	168
4.3.1	<i>Procedimento Geral</i>	171
4.3.2	<i>Modelo 1</i>	173
4.3.2.1	Situação 1 – Estrutura em concreto armado moldada no local – 4 andares	176
4.3.2.2	Situação 2 – Estrutura no sistema construtivo híbrido – 4 andares	181
4.3.2.3	Situação 3 – Estrutura pré-fabricada – 4 andares	186
4.3.2.4	Situação 4 – Estrutura moldada no local em concreto armado – 7 andares	191
4.3.2.5	Situação 5 – Estrutura híbrida – 7 andares.....	196
4.3.2.6	Situação 6 – Estrutura pré-fabricada – 7 andares	201
4.3.2.7	Análise dos dados da situação 1	205
4.3.3	<i>Modelo 2</i>	208

4.3.3.1	Situação 1 – Estrutura em concreto armado moldada no local – 4 andares	213
4.3.3.2	Situação 2 – Estrutura no sistema construtivo híbrido – 4 andares	218
4.3.3.3	Situação 3 – Estrutura pré-fabricada – 4 andares	223
4.3.3.4	Situação 4 – Estrutura em concreto armado moldada no local – 7 andares	228
4.3.3.5	Situação 5 – Estrutura no sistema construtivo híbrido – 7 andares	233
4.3.3.6	Situação 6 – Estrutura pré-fabricada – 7 andares	238
4.3.3.7	Análise dos dados da situação 2	242
4.3.4	<i>Análise do custo de uma situação apresentada para as situações dos sistemas moldados no local, híbrido e pré-fabricado</i>	<i>246</i>
4.3.4.1	Estrutura no sistema construtivo moldado no local	246
4.3.4.2	Estrutura no sistema construtivo híbrido	250
4.3.4.3	Estrutura no sistema construtivo pré-fabricado	253
4.3.4.4	Análise geral dos valores obtidos	254
5	CONCLUSÕES.....	257
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	259
	ANEXO A – Valores quantitativos dos elementos do sistema construtivo moldado no local	269
	ANEXO B – Valores quantitativos dos elementos do sistema construtivo híbrido.....	287
	ANEXO C – Valores quantitativos dos elementos do sistema construtivo pré-fabricado	297

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, os sistemas construtivos moldados no local e os sistemas pré-fabricados são os que se demonstram de maneira mais difundida nos canteiros de obra. Há diversos defensores de cada sistema desde sua concepção quanto à sua aplicação. Os sistemas construtivos híbridos têm surgido como uma opção intermediária para unir os dois conceitos e tirar o máximo de proveitos das características dos dois.

As diversas possibilidades e vantagens proporcionadas por essa combinação fazem com que novas opções de projetos e edificações sejam mais viáveis. Deve ser lembrado que, para a melhor combinação dos sistemas, os projetos devem estar de acordo e atuar em concordância para que imprevistos possam ser evitados.

Apesar de diversos estudos serem elaborados constantemente, o setor da construção civil possui um nicho muito heterogêneo e conservador na maneira de pensar e aplicar novas tecnologias a seus processos construtivos. Diversos fatores podem ser atribuídos a tal fato: necessidade de capacitação da mão de obra (elevando custos e salários da classe operária), necessidade de maior espaço no canteiro de obras e resistência e preconceito por parte dos profissionais por novas tecnologias.

1.1 Breve apresentação bibliográfica

A indústria da construção civil, assim como diversas outras, enfrenta desafios constantes para melhorar características como qualidade, tempo e custo baseando-se nas exigências dos clientes.

Ao longo dos anos isso tem se intensificado de maneira acentuada, o que têm obrigado a ser feita muitas vezes revisões nos processos, nas técnicas e nos sistemas construtivos.

O conceito de sistema construtivo híbrido é uma possibilidade para oferecer algumas características que possam ser interessantes às necessidades dos construtores e clientes, tendo em vista que a associação de conceitos diferentes pode ser benéfica. A combinação de um sistema moldado no local com um pré-fabricado (conforme ilustra a Figura 1-1) abre uma série de possibilidades que acabam por apresentar variadas situações que se encaixam nos perfis de diversos clientes. Por exemplo a flexibilidade na escolha dos elementos que estão presentes na estrutura, sejam eles moldados no local ou pré-fabricados.

Figura 1-1 - Edifício em construção com sistema construtivo híbrido, com vigas e lajes pré-fabricadas e pilares moldados no local



Fonte - Arquivo pessoal professor Dr. Marcelo de Araújo Ferreira¹

Isso permite um ganho na construtibilidade da estrutura assim como um aumento no desempenho construtivo. Tais fatos podem ser comprovados em estudos feitos por GLASS e BAICHE (2001) e MERT (2001). Há outro trabalho, o de OLOKE, OLOMOLAIYE e PROVERBS (2004), que possui uma proposta similar de demonstrar o desempenho de uma construção híbrida, mas através de uma simulação e um estudo de caso aproximado.

¹ Documento fotográfico cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araújo Ferreira via pen drive

Muitas vezes a ideia de se obter um novo método, novo material ou sistema construtivo vem associada de um custo inicial maior. O que nem sempre é verdade. Nas comparações feitas por AOUAD e BARRETT (1998) há diversas simulações que demonstram que muitas vezes o híbrido tem custo menor do que construções em aço ou moldadas no local.

Há outros autores, como HANEKON (2011), que pensam no termo construção de concreto híbrido como uma técnica de construção que utiliza pré-fabricado e moldado no local no mesmo projeto utilizando ao máximo as vantagens de ambos. Como maneira de apresentar isso, foi feita uma investigação sobre o uso do sistema construtivo híbrido, as regulamentações, bases comparativas dos preços, as estratégias, as estatísticas da mão de obra, a agressão ao meio ambiente, dentre outras variáveis utilizadas para a realidade local, a África do Sul.

Já outros autores como GOODCHILD e GLASS (2004) e WHITTLE e TAYLOR (2009) apresentam as características, os projetos, o potencial e exemplos de casos para o mercado britânico.

Também existem autores como PAMPANIM (2005) que idealizam o sistema construtivo híbrido como uma maneira de atingir um determinado comportamento para uma estrutura. É o caso de simulação de comportamento monolítico para as ligações de uma estrutura, por exemplo.

É possível ver que há uma grande variedade de utilização e concepção para o sistema, além do grande potencial envolvido. Tanto que GOODCHILD (1995) publicou um livro sobre o assunto e as possíveis variações envolvidas, além de apresentar diversos casos onde o sistema construtivo híbrido foi utilizado. Mais adiante WHITTLE e TAYLOR (2009) fizeram um manual onde apresentam situações de projeto, as variáveis possíveis e as vantagens e desvantagens de cada uma delas e como são desenvolvidas no Reino Unido. Já VAMBERSKY (2000) e VAN ACKER (2002) apresentam casos onde o sistema construtivo híbrido foi essencial para as edificações na Holanda e Bélgica e como se deu o desenvolvimento das ideias e dos motivos de se terem utilizado e da execução.

Apesar de haver grande número de publicações internacionais sobre o tema é possível constatar que o assunto sofre quando se fala em Brasil. Com o grande potencial que o tema possui, o sistema construtivo híbrido acaba passando despercebido como uma opção real e competitiva frente aos demais mais tradicionais. Além disso, não há nas normas brasileiras

citação sobre o tema. No exterior por exemplo, o Eurocode 2 e o Eurocode 4 também não fazem menção ao assunto.

1.2 Objetivos da pesquisa

A principal ideia com o trabalho é estudar a viabilidade e a aplicação dos sistemas construtivos híbridos no Brasil, além de apresentar uma análise do comportamento estrutural e econômica.

A proposta é fazer uma análise dos sistemas estruturais constituintes, as características gerais, as vantagens e desvantagens e o que se busca na elaboração de uma estrutura híbrida. Também como objetivo pode ser dito que é apresentado alguns casos de aplicação no Brasil, como são as características e outros casos internacionais que ilustram as diferenças das duas realidades. E como isso pode estar ligado diretamente na maneira de se construir e se comportar em termos de projeto e execução.

A ideia também é apresentar alguns modelos de cálculo de maneira simplificada para comparar os aspectos da estabilidade global, dos deslocamentos laterais e dos delimitadores do sistema nesses requisitos. A intenção é propor um conjunto de critérios que permita analisar e ajudar na escolha a fim de se estudar a influência de cada um dos sistemas construtivos moldados no local e pré-fabricados no híbrido.

E como complemento dos objetivos, fazer uma análise de custos dos sistemas construtivos moldados no local, híbrido e pré-fabricado para se ter uma referência financeira das características dos três sistemas.

Portanto, o objetivo com o trabalho é servir como uma base de referência para todas as análises apresentadas.

1.3 Justificativas

Sistema construtivo em concreto pré-moldado, concreto protendido ou concreto armado. Cada um deles tem suas vantagens e suas desvantagens quando atuam de maneira independente. A forma de fabricação, montagem, manutenção e reparos envolvidos são determinantes em muitas etapas ao longo da vida útil da edificação. O custo destas etapas, porém, são muito variáveis conforme o sistema escolhido. A escolha mais adequada depende de muitos fatores, como por exemplo o local a ser fabricado (influencia principalmente na escolha dos materiais e equipamentos disponíveis). Optando pela composição híbrida, as desvantagens dos sistemas envolvidos serão minimizadas desde que se consiga aproveitar a melhores características dos subsistemas empregados.

Atualmente, além da questão econômica, a grande discussão na engenharia civil está sendo focada na qualidade, na durabilidade das estruturas, além da redução do desperdício de materiais. Para atender esses requisitos, o sistema de desenvolvimento do edifício e todas suas etapas devem ser revistas, o que envolve projetos, execução e manutenção. Mas para que essas melhorias possam ser válidas, as especificações de projeto devem ser cuidadosamente elaboradas e seguidas.

Além desses pontos citados que são de extrema importância na qualidade das edificações, apresentar um maior número de opções para a mesma situação (como o uso de outro sistema construtivo, por exemplo) pode ser um fator determinante para aumentar a durabilidade e o desempenho das estruturas. Também são importantes reduzir os custos envolvidos com desperdícios de materiais, além de diminuir o grau de eliminação de detritos no meio ambiente.

A grande justificativa para o trabalho é a falta de pesquisas mais aprofundadas e detalhadas sobre o assunto. A maior quantidade das pesquisas existentes é relacionada às condições e ligações entre elementos pré-fabricados.

Outra questão que serve de suporte para a justificativa do trabalho é a falta de escolha deste sistema construtivo sendo que, principalmente na Europa e Ásia, ele é muito difundido.

O fato de existir edifícios já construídos neste sistema no Brasil significa que é possível ser feito. A questão é entender o porquê não é utilizado de maneira mais frequente. Seja por

falta de conhecimento técnico, recursos (financeiros, material, mão de obra qualificada) ou conservadorismo, a pesquisa pretende abordar esse tipo de discussão.

1.4 Metodologia

O trabalho é elaborado através de pesquisas bibliográficas em livros, revistas, artigos e manuais técnicos, além de visitas em campo com coleta de imagens para ilustrar os processos construtivos a serem estudados. As etapas previstas da construção do doutorado podem ser divididas em:

a) Pesquisa bibliográfica

A partir da pesquisa bibliográfica, pretendeu-se definir teoricamente os sistemas estruturais envolvidos para melhor apresentação e caracterização.

b) Prescrições normativas

Verificação do que prescreve as normas vigentes em cada sistema estrutural estudado, para melhor compreender a interação da ligação e dos elementos atuando em conjunto.

c) Análise de dados bibliográficos com dados obtidos no canteiro de obra

Através da pesquisa bibliográfica e com as definições e recomendações de como devem ser executadas as etapas envolvidas, comparar como é realizado no canteiro de obras, analisando cada situação, estudando possibilidades econômicas e opções diferentes e viáveis para o mesmo elemento a ser usado.

d) Entrevistas

Com a proposta do trabalho se idealizou algumas entrevistas para tentar compreender o porquê de o sistema ser pouco utilizado. Desta maneira tentar expor as dificuldades de se

implantar um sistema, adquirir insumos, transporte de elementos pré-fabricados, custo para as tarefas e adquirir mão de obra.

e) Análises e conclusões

Os dados e resultados obtidos são analisados e comparados visando à orientação na escolha do sistema estrutural, tendo como base critérios econômicos e desempenho estrutural.

É importante frisar que em todos os processos de análise aqui citados e que são desenvolvidos são sempre estabelecidos os pontos favoráveis e os desfavoráveis de cada sistema estudado. Usando justamente esta valoração para oferecer maiores critérios de avaliação e ajudar a escolher o sistema mais adequado.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho é constituído de um capítulo inicial para apresentar as ideias da pesquisa e a metodologia. No segundo capítulo apresenta os sistemas construtivos envolvidos mais utilizados para compor o híbrido, além de referenciar o misto para diferenciar os dois. O terceiro capítulo é o sistema construtivo híbrido em si, suas definições e características gerais no Brasil e no mundo.

No quarto capítulo são feitos alguns modelos elaborados para a comparação de alguns parâmetros como a estabilidade global e o deslocamento lateral para diferenciar os sistemas construtivos moldado no local, híbrido e pré-fabricado. Além disso é feito um estudo de custo de uma das situações apresentadas e comparadas nos três sistemas

Após isso é feito um quinto capítulo de conclusões para o trabalho e posteriormente apresentado as referências utilizadas na tese.

2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS ENVOLVIDOS

Para muitos profissionais as diferenças entre alguns sistemas construtivos se referem à maneira como ele e seus elementos são executados. Por exemplo, os sistemas mistos e híbridos passam por muitas definições que acabam, muitas vezes, sendo consideradas como uma só. O maior problema enfrentado está em uma classificação mais precisa do que seria um e outro. Outra confusão confirmada nas visitas em obras e literatura está na categoria em que se encaixa o sistema construtivo híbrido. As dúvidas são se é um sistema pré-fabricado ou moldado no local. Ou até mesmo qual dos dois ele veio para substituir.

Dessa maneira, é necessário apresentar as diferenças entre os sistemas construtivos que envolvem o híbrido, além de referenciar o misto.

2.1 Sistema Construtivo Misto

No dicionário Michaelis a definição de misto é: resultante da mistura de elementos de natureza diversa, conjunto constituído de elementos diferentes ou incompatíveis; composto, mistura. Para se entender melhor as características e diferenças do híbrido é necessário entender o que é o misto e as aplicações.

Para LIEW (2012), o uso de estruturas mistas e híbridas de concreto e aço e o incentivo no uso de componentes pré-fabricados e pré-moldados levou a melhoria global da produtividade na construção civil ao redor do mundo.

Com essa concepção é possível observar que a discussão construção mista, híbrida e pré-fabricados passam por barreiras culturais para que possam ser implementados de maneira mais efetiva.

As definições a serem introduzidas, apesar de não fazer parte do foco do trabalho (já que não é o tema a ser discutido) são de extrema importância para distinguir os sistemas mistos e híbridos entre si.

2.1.1 Definições

A definição encontrada em SOUZA (2014) sobre sistema misto é o sistema no qual um perfil de aço trabalha em conjunto com o concreto por meios mecânicos, por atrito ou por simples aderência e repartição de cargas, formando um elemento estrutural único.

Denomina-se sistema misto aço-concreto como aquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto (geralmente armado) formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista. A interação entre o concreto e o perfil de aço pode se dar por meios mecânicos (conectores, mossas, ressaltos etc.), por atrito (no caso de fôrmas de aço com cantos reentrantes) ou, em alguns casos, por simples aderência e repartição de cargas (como em pilares mistos sujeitos apenas a força normal de compressão).

(Queiroz, 2012a, p.10)

Um exemplo disso é a Figura 2-1 que apresenta pilares e vigas metálicas que para muitos configuram um sistema misto/híbrido sem distinção entre eles.

Figura 2-1 - Estrutura mista de aço e concreto

Fonte - <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1194867&page=5&langid=5>

Para muitos profissionais o termo híbrido e misto se apresenta como uma mesma situação. Existem até mesmo determinadas referências que no mesmo texto define de mesma maneira cada um deles. Há outros que apenas apresentam de forma ilustrativa os dois sem apontar o que é ou como diferenciá-los.

2.1.2 Características gerais

A construção em sistema misto é competitiva para estruturas de vãos médios a elevados, grandes balanços, locais de difícil acesso e solos de baixa capacidade resistente, caracterizando-se pela rapidez de execução e pela significativa redução do peso total da estrutura quando comparado aos sistemas convencionais de concreto armado.

(METÁLICA, 2015a)

Ainda em METÁLICA cita-se que as combinações mais usuais nesse tipo de sistema misto são:

- Elementos de laje pré-fabricadas (em concreto armado ou protendido) apoiados em vigas de aço;
 - Vigas pré-moldadas apoiando pavimentos mistos com forma incorporada do tipo “*steel deck*”;
 - Paredes pré-moldadas usadas para contraventar estruturas metálicas reticuladas;
 - Perfis pré-moldados estabilizados por diagonais de contraventamento metálicas em estruturas pré-moldadas reticuladas;
 - Pilares pré-moldados apoiando coberturas metálicas;
 - Painéis de fachada em concreto pré-moldado para fechamento de estruturas metálicas para galpões e edifícios.
- (METÁLICA, 2015a)

As opções disponíveis e possibilidade de obtenção de benefícios arquitetônicos e econômicos em relação as estruturas em concreto armado e de aço são:

- Com relação às contrapartidas em concreto armado:
 - Possibilidade de dispensa de fôrmas e escoramentos;
 - Redução do prazo de execução da obra;
 - Redução do peso próprio e do volume da estrutura, com consequente redução dos custos de fundação;
 - Aumento da precisão dimensional da construção.
- Com relação às contrapartidas em aço:
 - Redução considerável do consumo de aço estrutural;
 - Redução das proteções contra incêndio e corrosão;
 - Aumento da rigidez da estrutura.

(QUEIROZ, 2012a, p.10)

Há outras características e vantagens que podem ser descritas, quando comparadas a outros sistemas estruturais, como o moldado no local por exemplo.

As estruturas mistas apresentam algumas vantagens em relação às estruturas de concreto armado e às estruturas de aço. Os benefícios do sistema são, entre outros, a dispensa de fôrmas e escoramentos para as lajes, economia no consumo de aço estrutural em relação aos pilares e vigas de aço e, no caso dos pilares, a redução das proteções contra incêndio e corrosão. São competitivas para estruturas de vãos médios a elevados, caracterizando-se pela rapidez de execução, pela precisão dimensional e pela significativa redução do peso total da estrutura.

(DIAS, 2014, p.9)

Na Figura 2-2 é possível ver a necessidade de fôrmas na confecção dos pilares para retenção do concreto, além de alguns escoramentos.

Figura 2-2 - Pilar misto de aço e concreto



Fonte - SOUZA (2014)

Já a Figura 2-3 ilustra um exemplo de uma estrutura mista com escoramento. Na situação apresentada eles servem para a concretagem das vigas.

Figura 2-3 - Estrutura mista com perfis de aço (pilares e vigas) para depois serem concretados



Fonte - <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1194867&page=5>

As vigas mistas resultam da associação de vigas de aço com a laje de concreto ou mista, cuja ligação é feita por meio dos conectores de cisalhamento, geralmente soldados à mesa superior do perfil. Em edifícios, o perfil mais utilizado como viga de aço é do tipo "I". As lajes de concreto podem ser moldadas in loco, com face inferior plana ou com forma de aço incorporada, ou ainda, podem ser formadas de elementos pré-fabricados. Os pilares mistos, de maneira geral, são constituídos por um ou mais perfis de aço, preenchidos ou revestidos de concreto.

(METALICA, 2015a)

A figura 2-4 apresenta a combinação de elementos pré-fabricados (lajes alveolares) com mistos (perfis metálicos de vigas e pilares posteriormente concretados).

Figura 2-4 - Estrutura com vigas e pilares em perfis de aço além de elementos pré-fabricados

Fonte - SOUZA (2014)

Já o sistema de laje, muitas vezes nos sistemas mistos, é incorporado à estrutura e a própria base serve como fôrma. Nada impede de ser utilizar outro tipo de laje, como a alveolar por exemplo, mas considerações devem ser feitas antes de se pensar neste tipo de solução por exemplo o custo envolvido.

As características são apresentadas:

O sistema de lajes mistas consiste na utilização de uma forma permanente, nervurada, de aço estrutural, como suporte para o concreto antes da cura e da atuação das ações de utilização. Após a cura do concreto, os dois materiais solidarizam-se estruturalmente, formando o sistema misto. Assim, o comportamento misto é alcançado após a cura do concreto da laje, quando a forma de aço transmite as tensões cisalhantes horizontais na interface com o concreto através de ligações mecânicas.

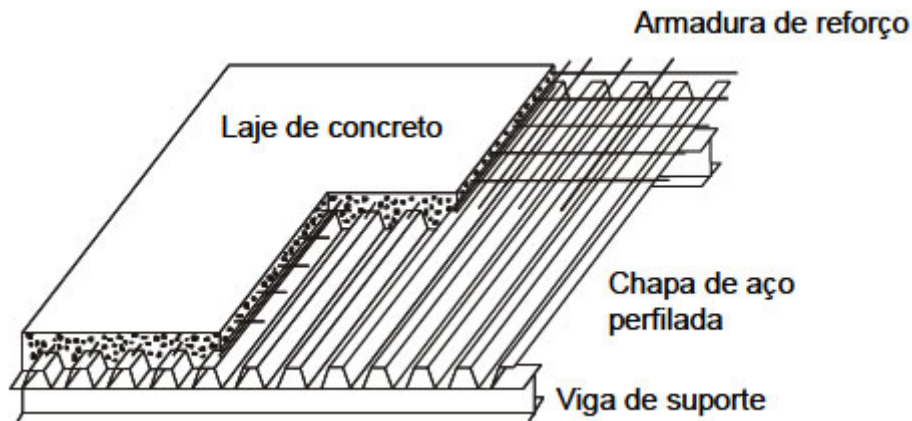
(METALICA, 2015a)

Uma laje mista é constituída por uma chapa de aço perfilada, sobre a qual é concretado “in situ” o concreto armado, que contém uma armadura superior destinada a controlar a fissuração do concreto, comportando-se como uma laje unidirecional. Após o endurecimento do concreto, a estrutura aço-concreto constitui um elemento estrutural único.

(METALICA, 2015b)

A Figura 2-5 ilustra o esquema estrutural de uma laje mista.

Figura 2-5 - Laje mista (perfil de aço)



Fonte - <http://wwwo.metallica.com.br/lajes-mistas>

As vantagens do uso de lajes mistas são:

- Ideais para edifícios altos em estrutura de aço, dada a sua rapidez de execução;
- As chapas são transportadas facilmente pois são leves, sendo fixadas no local por dois ou três trabalhadores;
- A qualidade das chapas e dos elementos de fixação é controlada em fábrica, com tolerâncias rígidas e procedimentos de qualidade estabelecidos;
- As chapas de aço depois de montadas, constituem uma excelente plataforma segura de trabalho, que permite a movimentação de pessoas e apoio para materiais;
- Como não necessita da aplicação de formas, para suportar a fase de endurecimento do concreto, simplifica em muito a execução da obra, permitindo velocidades de construção mais rápidas;
- Menor quantidade de armazenamento de material no canteiro de obra.

(METALLICA, 2015b)

Como desvantagens:

- É necessário maior nível de especialização do pessoal e devem existir planos de montagem;
- Detalhamento de aspectos construtivos;
- A menor resistência do aço sob ação do fogo quando comparado aos elementos de concreto.

(METALLICA, 2015b)

Além disso, o elemento resistente, a chapa de aço, fica exposta a deposição e ação de gases que podem causar sua corrosão.

É possível perceber que as estruturas de aço e de concreto estão cada vez mais inter-relacionadas entre si e as vantagens e desvantagens entre elas são contornadas para que possam constituir uma nova opção. A melhor saída muitas vezes é a combinação dessas características que podem fazer a diferença dependendo do tipo de obra e empreendimento a ser elaborado.

Os exemplos e conceitos apresentados neste item demonstram que o sistema construtivo misto é baseado em perfis metálicos que são concretados posteriormente, diferentemente do híbrido que, utiliza barras de aço (os maiores detalhes do sistema híbrido são apresentados no Capítulo 3).

2.2 Estruturas Pré-Fabricadas de Concreto

Um dos sistemas construtivos que envolvem o tema do trabalho são os pré-fabricados. É importante que se tenha conhecimento das características para melhor entendimento na caracterização do sistema híbrido. E para isso é necessário que a concepção seja apresentada.

Elementos pré-moldados e fabricados são:

- Elemento pré-moldado: elemento que é executado fora do local de utilização definitiva da estrutura, com controle de qualidade;
- Elemento pré-fabricado: elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

(NBR 9062:2006, p.2)

Os pré-fabricados comparados aos sistemas tradicionais de construção têm como principal característica a produção do trabalho que seria feito no canteiro de obras para uma fábrica, propiciando processos de produção mais eficiente, racional e com controle de qualidade alto. A Figura 2-6 mostra a construção de uma estrutura em concreto pré-moldado.

Figura 2-6 - Estrutura em concreto pré-fabricado



Fonte - <http://reforma facil.com.br/produtos/concreto-produtos/tipos-de-concreto-conheca-as-suas-caracteristicas-e-diferencas-parte-1/>

Para VAN ACKER (2002) o uso de concreto pré-moldado em edificações está amplamente relacionado à uma forma de construir econômica, durável, estruturalmente segura e com versatilidade arquitetônica.

2.2.1 Características gerais e definições

EL DEBS (2000) cita como as vantagens técnicas do sistema de pré-fabricação a facilidade na elaboração de projeto (em especial na resolução de detalhes), melhoria da qualidade dos trabalhos realizados mecanicamente, melhor aproveitamento das seções resistentes, facilidade para realizar o controle de qualidade, possibilidade de evitar as interrupções da concretagem e desaparecimento quase total do cimbramento e das fôrmas. Cita também outras características como diminuição do número de acidentes de trabalho, economia de tempo e evita a improvisação.

Um ponto que faz o sistema ser mais vantajoso frente aos sistemas convencionais é a velocidade e a qualidade com que a edificação pode ser executada. VAMBERSKY (2000) afirma

que a tecnologia do concreto pré-fabricado é sinônimo de construção rápida. Ela diminui o tempo de construção e reduz o risco financeiro do contratante (pelo fator tempo).

A execução dos elementos em instalação específica (fábrica) com o controle climatológico controlado, também é ponto chave, tendo em vista que em situações adversas de temperatura e clima muitas vezes a obra deve ser parada, o que não acontece facilmente nos pré-fabricados, pois o clima só afeta a montagem que é relativamente rápida. Outra característica interessante do pré-fabricada é reduzir ou mesmo eliminar o escoramento permitindo o trabalho abaixo de pavimento recém construído.

Para VAN ACKER (2002) comparado aos métodos de construção tradicionais e outros materiais de construção, os sistemas pré-fabricados, como método construtivo, e o concreto, como material, têm muitas características positivas sendo forma industrializada com muitas vantagens, dentre elas:

- Produtos feitos na fábrica – a forma mais efetiva de industrializar o setor da construção civil é transferir o trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas. A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficiente e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas, controle de qualidade, etc. A competitividade e a sociedade estão forçando a indústria da construção a se atualizar constantemente, melhorando a sua eficiência e as condições de trabalho através do desenvolvimento e inovação tecnológica, de novos sistemas e processos construtivos. Desta forma, a automação vem sendo gradativamente implementada. Existem exemplos bem-sucedidos de automação no preparo de armadura, execução e montagem de formas, preparo e lançamento do concreto, acabamentos do concreto arquitetônico, entre outros. Outras operações na pré-fabricação também são passíveis da implementação da automação.
- Uso otimizado de materiais – a pré-fabricação possui um maior potencial econômico, desempenho estrutural e durabilidade do que as construções moldadas no local, por causa do uso altamente potencializado e otimizado dos materiais. Isso é obtido por meio do uso de equipamentos modernos e de procedimentos de fabricação cuidadosamente elaborados.

VAN ACKER (2002, p.2)

Há muitas situações em que há atrasos em obras de estruturas moldadas no local. Eles são mais tolerados muitas vezes pelo longo cronograma do empreendimento. Outras vezes as condições climáticas podem não ser favoráveis e a necessidade de se parar os processos por tempo determinado seja obrigatório. Quando se opta por estruturas pré-fabricadas estas duas situações são diferentes. Em obras de rápido retorno do capital investido, como por exemplo shopping center, a velocidade de execução é fundamental e o moldado no local não consegue

atender a demanda. Há muitas situações em que é necessário parar a obra no moldado no local (chuva intensa, por exemplo), o que não ocorre no pré-fabricado devido à muitas etapas serem feitas em fábricas.

As melhores características para o sistema pré-moldado são:

- Menor tempo de construção – menos da metade do tempo necessário para construção convencional moldada no local;
- Qualidade – baseada no sistema de controle de produção da fábrica consistindo em procedimentos, instruções, inspeções regulares, testes e utilização dos resultados dos equipamentos de controle, matéria-prima, outros insumos, processos de produção e produtos. Muitas empresas de pré-fabricação possuem certificado ISO 9000. A garantia da qualidade se baseia em: mão de obra, instalações e equipamentos na fábrica, matéria-prima e processos operacionais e controle de qualidade na execução;
- Oportunidade para boa arquitetura – dentro do contexto da pré-fabricação aberta, o projeto do edifício não está restrito aos elementos de concreto produzidos em série e quase todo tipo de edificação pode ser adaptada aos requisitos dos fabricantes ou do arquiteto;
- Flexibilidade no uso – certos tipos de construções devem ser adaptáveis para satisfazer as necessidades dos usuários, como é o caso de escritórios, onde a solução mais apropriada é criar um grande espaço interno livre sem nenhuma restrição para possibilitar a adaptação de possíveis subdivisões com divisórias;

(VAN ACKER, 2002, p.4-5)

Apesar de ser uma característica marcante, a possibilidade de uma arquitetura ampla tem alguns princípios que devem ser lembrados. Os dois principais são a repetição e a dificuldade de adaptações. Por ser um sistema industrializado, a repetição na fabricação de elementos faz com que a obra tenha menor custo se comparado a quantidade menor de peças. Além disso, a dificuldade de futuras adaptações e mudanças fazem com que muitos fatores sejam pensados previamente para evitar gastos desnecessários.

Outras características são apresentadas:

- Eficiência estrutural – o concreto pré-moldado oferece recursos consideráveis para melhorar a eficiência estrutural. Vãos grandes e redução da altura efetiva podem ser obtidos usando concreto protendido para elementos de vigas e de lajes;
 - Material resistente ao fogo – normalmente as estruturas em concreto armado e protendido apresentam resistência ao fogo de 60 a 120 minutos ou mais. Para edificações comerciais, todos os tipos de componentes pré-moldados sem nenhuma medida especial de proteção atingem a exigência de resistência ao fogo de 60
-

minutos. Para outros tipos de edificações, a resistência ao fogo de 90 a 120 minutos, pode ser conseguida aumentando o cobrimento da armadura, ou efetuando verificações mais precisas;

- Construção menos agressiva ao meio ambiente – no contexto de uma relação mais amigável ao meio ambiente, a indústria do concreto pré-moldado apresenta-se como uma alternativa viável: com uso reduzido de materiais até 45%; redução do consumo de energia de até 30%; diminuição do desperdício com demolição de até 40%. Muitas fábricas estão reciclando o desperdício do concreto, tanto o endurecido quanto o fresco, e futuramente as indústrias de pré-fabricados funcionarão como um sistema de produção fechado, onde todo material gasto é processado e utilizado novamente;
- A fabricação pode continuar mesmo no inverno rigoroso, com temperatura de -20°C;

(VAN ACKER, 2002, p.4-5)

E como observação, a Norma 14931:2003 ainda afirma que salvo condições específicas de projeto, ou influência de condições climáticas ou de composição do concreto, recomenda-se que o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que a água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem não ultrapasse a 2 h 30 min. Este é um dos maiores problemas de obras moldadas no local em que o fornecimento é feito por caminhões betoneira. Dependendo da localização da obra da concreteira, com o adicional do tráfego urbano, isso pode ser um complicador.

Quando a temperatura ambiente for elevada, ou sob condições que contribuam para acelerar a pega do concreto, esse intervalo de tempo deve ser reduzido, a menos que sejam adotadas medidas especiais, como o uso de aditivos retardadores, que aumentem o tempo de pega sem prejudicar a qualidade do concreto.

Algumas de desvantagens dos pré-fabricados são:

- Falta de monolitismo da construção (geralmente as ligações não são totalmente contínuas ou rígidas);
 - Problemas na resolução das juntas;
 - Equipamentos necessários para levantamento dos elementos;
 - Carga, descarga e movimentação das peças (que se não projetado adequadamente ou a falta de cuidados podem ocasionar fissuras não previstas);
 - Necessidade de uma fábrica para confecção;
 - Diminuição de postos de trabalho (se comparados ao moldado no local);
 - Transporte;
-

- Impostos extras (ICMS e IPI);
- Custo de produção com automatização de execução.

O sistema é extremamente flexível, quando comparado aos convencionais executados em concreto armado, permitindo soluções com grandes espaços internos livres, sem infringir restrições em uma adaptação com divisórias, por exemplo.

2.2.2 Características de projeto da estrutura pré-fabricada

Para INFORSATO (2016) o projeto não deve se restringir apenas as características do produto, mas envolver também as características do processo de produção, dando suporte tecnológico aos envolvidos com a construção do edifício.

No concreto pré-fabricado, as características de projeto se tornam muito mais fundamentais desde a concepção até a montagem por diversos fatores a serem vistos. Erros tendem a deixar a estrutura com custo muito mais elevado, além de, serem difíceis de executar os reparos e em diversas situações peças devem ser refeitas, como no caso de não ser possível o encaixe na obra, por exemplo.

Nos princípios básicos de projeto segundo VAN ACKER (2002) os projetistas devem considerar as possibilidades, as restrições e vantagens da utilização do concreto pré-moldado, seus detalhes, produção, transporte, montagem e estados de serviço antes de completar o projeto da estrutura pré-moldada.

A dificuldade de adaptação durante a execução pode ser um obstáculo que venha a implicar em um custo financeiro maior além de, certas vezes, não ser possível a alteração do ambiente construído. Novamente, a precisão dimensional e de locação no canteiro deve ser grande, tendo em vista que erros podem acarretar no não encaixe da peça (seja ele maior ou menor), ocasionando prejuízo financeiro. A organização das pessoas envolvidas no projeto é essencial durante todo o processo tendo em vista.

INFORSATO (2016) apresenta algumas características para serem levadas em consideração na etapa de projeto como: formas dos elementos pré-moldados, modulação e padronização, tolerâncias e folgas e particularidades do projeto estrutural.

Já VAN ACKER (2002) cita que as maiores vantagens em soluções pré-moldadas serão obtidas quando na etapa do projeto forem considerados os seguintes pontos:

- Respeito à filosofia específica de projeto;
- Utilizar um sistema de contraventamento próprio;
- Utilizar grandes vãos;
- Assegurar a integridade estrutural.
- Utilizar soluções padronizadas sempre que possível: a padronização é um fator importante no processo de pré-fabricação. Isso possibilita repetição e experiência, portanto, custos mais baixos, melhor qualidade e confiabilidade, assim como uma execução mais rápida. A padronização é aplicável nas seguintes áreas:
 - Modulação de projeto;
 - Padronização de produtos entre fabricantes;
 - Padronização interna para detalhes construtivos e padronização de procedimentos para produção e/ou montagem;
 - A padronização de componentes e de detalhes típicos garante a padronização do processo.

(VAN ACKER, 2002, p.6-7)

Caso não seja seguido uma padronização, os elementos podem ter problemas na montagem. Isso pode ocasionar improvisos na obra que deixam a estrutura com valor mais alto, chegando a casos que é necessário fazer cortes e até mesmo em casos mais graves, os elementos serem refeitos em fábrica.

Nesta situação, uma das vantagens do pré-fabricado, a qualidade industrial é afetada.

Além disso, outros pontos devem ser levados em consideração na concepção de uma estrutura pré-fabricada. INFORSATO (2016) cita algumas delas: estudo preliminar, proposta da tipologia arquitetônica, integração dos subsistemas, plano de fabricação e de montagem. Tudo isso visa diminuir os possíveis erros que possam a ser cometidos que comprometam a estrutura e sua viabilidade econômica.

Há outras características técnicas a serem comentadas para a fase de concepção do projeto:

- Os detalhes devem ser simples: um bom projeto em concreto pré-moldado deve envolver detalhes o mais simples possível. Devem ser evitados detalhes muito complicados ou vulneráveis;
- Considerar as tolerâncias dimensionais: produtos de concreto pré-moldados apresentam inevitavelmente diferenças entre as dimensões especificadas e as executadas. Essas variações devem ser admitidas e previstas no projeto desde o início, por exemplo:
 - Possibilidade de tolerâncias de absorção nas ligações (entre dois elementos pré-moldados, e entre os elementos pré-moldados e as partes moldadas no local);
 - Obter vantagem do processo de industrialização: a produção de concreto pré-moldado deve se basear na industrialização. Isso é parcialmente influenciada pelo projeto, por exemplo:
 - A pré-tração permite a produção de elementos em longas pistas de protensão;
 - A posição adequada dos detalhes, por exemplo barras de espera, diminui o tempo dos serviços;
 - Modificações imprevistas no projeto prejudicam o planejamento da produção, etc.;
 - Modulação –a modulação é um fator econômico muito importante no projeto e construção de edifícios, tanto para o trabalho estrutural como para o acabamento. Em pré-fabricação, isso é ainda mais marcante, especialmente em relação à padronização e economia na produção e execução. Modulação é geralmente bem estabelecida para componentes estruturais em construções pré-moldadas.

(VAN ACKER, 2002, p.6-7)

Ou seja, para se obter as vantagens da indústria dos pré-fabricados o projeto deve estar bem detalhado e organizado e a logística de execução, transporte e montagem ser seguida em um cronograma rigoroso (lembrando sempre que atrasos e necessidade de adaptações causam prejuízos financeiros, e neste caso muito elevados). O mais importante de tudo, é que o projetista deve conceber o projeto, pensando em todas as fases da construção. Diferentemente, do moldado no local, o projetista deve verificar todas as fases transitórias (Norma NBR 9062:2006), conhecer os conjuntos de formas do fabricante e as possibilidades de distribuição de armadura de protensão. Costuma-se então, considerar que o projetista e a empresa de pré-fabricados são parceiros. É remota a possibilidade de um cálculo estrutural pré-fabricado ser feito sem a definição da empresa que fabricará.

E isso gera maior segurança e organização para a obra. Como as peças são produzidas em fábricas, há um rígido controle tecnológico da produção, que é executada conforme as normas ABNT. Isto também faz com que a empresa esteja dentro das regulamentações impostas pelo Ministério do Trabalho.

E a previsibilidade de custo como o preço das estruturas pré-moldadas é sempre conhecido de antemão, não há imprevistos de ordem financeira com relação às estas estruturas ao longo da obra.

E como desvantagem em relação à um sistema construtivo moldado no local, por exemplo, são os processos e custos de produção com automatização de execução, uso de concreto de alto desempenho, controle de qualidade severo, maior custo com mão de obra, impostos sobre as peças e alto custo inicial com locais para a execução dos elementos pré-fabricados.

A introdução de um sistema pré-fabricado oferece novas opções interessantes de diversos pontos de vista: racionalização do processo de construção, fator tempo e evita desperdícios desnecessários. Um sistema exemplo é o de pré-lajes. Diversas vantagens podem ser citadas: eliminação de fôrmas, redução do número de cimbramentos, melhor acabamento e nivelamento da laje, dentre outros.

As etapas de produção dos elementos pré-fabricados em indústria dividem-se de maneira geral nas seguintes etapas segundo MUNTE (Figura 2-7):

Figura 2-7 - Etapas de produção dos elementos pré-fabricados onde E é o tempo de espera entre uma etapa e sua posterior



Fonte - MUNTE (2007)

É necessário que haja uma coordenação muito boa para que todas as etapas sejam feitas de maneira a se reduzir os custos ao máximo. Uma das grandes características do projeto estrutural pré-fabricado no Brasil é que muitas vezes ele é detalhado depois de acertado o contrato da obra e, na sua maioria, baseado em volume final estimado de concreto. A figura 2-8 apresenta uma relação entre o projeto e a produção da cadeia envolvida na pré-fabricação.

- Queima e acabamento: consiste em passar a colher de pedreiro, para a retirada das marcas deixadas pelo socador, e executar novamente o desempenho manual com a desempenadeira de madeira. Após o início de pega do concreto, efetuar o desempenho manual com desempenadeira de aço. Este procedimento é denominado 'queimar' a superfície da peça, e é repetido até se obter a rugosidade desejada para a superfície.

(MUNTE, 2007, p.514)

Muitas vezes em estruturas pré-moldadas há o uso de protensão. As estruturas de concreto protendido, em diversas situações, são mais econômicas que as executadas com outros materiais. Em relação às estruturas de madeira e aço, apresentam sempre a vantagem de necessitarem, usualmente, de manutenção mais simples e mais barata. Em relação às de concreto armado, as protendidas têm a fissuração impedida ou mais controlada na região tracionada dos trechos fletidos.

O custo da aplicação de protensão leva a um custo inicial maior também devido à necessidade de pistas para a aplicação nas peças e conseqüentemente mão de obra melhor qualificada (desvantagem com relação à utilizada em sistemas convencionais moldados no local).

A Norma NBR 6118:2014 define elementos de concreto protendido como aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último (ELU).

No concreto protendido a ideia básica é aplicar tensões prévias nas regiões da peça que serão tracionadas pela ação do carregamento aplicado. Assim, as tensões de tração são diminuídas pelas tensões de compressão pré-existentes.

2.2.4 Características gerais do canteiro e da mão de obra

É o local onde há o trabalho da construção civil que pode ser modificado ao longo do tempo conforme necessidade e avanço da obra e serviços em execução ou futuros.

Segundo a NR 18 (2013) canteiro de obras é área de trabalho fixa e temporária onde se desenvolvem as operações de apoio e execução de uma obra.

Há estudos sobre canteiros de obra que envolvem questões de organização, alocação e gestão de processos como é possível ser visto em SAURIN e FORMOSO (2006).

A principal característica do sistema pré-fabricado é levar grande parte dos serviços para a fábrica. Os pilares, as vigas e as lajes são executados em um ambiente com maior controle tecnológico, além dos serviços não cessarem durante intempéries.

No canteiro de obras, a mão de obra para a execução dos serviços é consideravelmente menor que o sistema moldado no local. Porém, há a necessidade de equipamentos capazes de içar as peças e posicioná-las no local definitivo.

Um exemplo geral disso é o que apresenta a figura 2-9 que mostra um serviço em estrutura pré-fabricada sendo executado, a mão de obra e o equipamento utilizado.

Figura 2-9 - Içamento de uma viga pré-moldada



Fonte - <http://www.encorp.com.br/sistemas/sistemas.asp>

As características do canteiro influenciam diretamente na escolha do sistema pré-fabricado. As dimensões, a localização e o tipo de terreno são alguns dos fatores que podem

até mesmo inviabilizar tal escolha por não possibilitarem acesso de determinados equipamentos, por exemplo.

Em alguns grandes centros urbanos, há a restrição de horários com relação ao tamanho do transporte que é permitido, sendo possível apenas em determinados horários por causa do tráfego local. Para complicar, há a restrição de ruídos a partir de certa hora da noite, o que limita o tempo de execução e transporte, podendo elevar o preço final da edificação. E caso não haja um planejamento adequado, há a possibilidade de tempo ocioso em obra de uma grua, por exemplo.

Além do transporte é necessário levar em conta que há a necessidade de equipamento de grande porte para os serviços. Dependendo das dimensões e dos arredores do canteiro, o maquinário idealizado para as tarefas não tem capacidade suficiente, obrigando assim a ser substituído, o que pode influenciar também na escolha do sistema.

Mesmo contando que, o equipamento fique alocado dentro da obra, há situações que a escolha do mais adequado acabe gerando custos maiores do que o planejado. Então a grande diferença, por exemplo em estruturas em concreto armado e pré-fabricadas, é que são usados equipamentos de maior porte, cujo estacionamento, operação e acesso devem ser muito bem planejados.

Há estudos sobre como otimizar os processos envolvendo os equipamentos, custos inerentes diretos e indiretos, como pode ser visto em KERN (2005). A proposta aqui é apresentar alguns pontos que são relevantes na escolha de um sistema estrutural.

2.2.5 Ciclo de execução de uma estrutura pré-fabricada

Considerando os pilares, as vigas e as lajes totalmente industrializadas, o ciclo de uma execução é descrito ao longo deste tópico.

Os elementos são feitos em fábricas e posteriormente transportados ao canteiro de obras, diferentemente do moldado no local que são feitos no local com auxílio de fôrmas e escoramentos (considerando apenas os pilares, vigas e lajes).

A Figura 2-10 apresenta uma fábrica com as os elementos em produção.

Figura 2-10 - Visão de uma pista de fabricação de elementos em fábrica



Fonte - LEONARDI

Após a fabricação, os elementos são enviados para a obra onde se começa a etapa de montagem. Um planejamento sobre a sequência deve ser previsto em projeto. Além disso, há a necessidade de ser verificado os acessos ao canteiro para os equipamentos que farão o içamento das peças e também os escoramentos provisórios em todas as etapas necessárias.

O planejamento da montagem de uma obra pré-fabricada é uma atividade essencial. A montagem deve ser pensada no início da elaboração do projeto, para que se possa levar em conta os fatores que poderão afetar a composição do sistema estrutural (tipos de elementos e de ligações), escolha de equipamentos, visando a racionalização do projeto e da produção (fabricação e montagem).

INFORSATO (2016)

As etapas são descritas a seguir.

a) Posicionamento dos pilares

É o elemento que mais se deve ter cuidado na montagem por causa de algumas situações: geralmente é o maior em comprimento, portanto o equipamento de transporte e montagem são de grande porte e há o problema de fissuração que deve ser bem resolvido no projeto.

Com o auxílio de um guindaste o pilar é içado e posicionado (Figura 2-11).

Figura 2-11 - Içamento do pilar pré-fabricado



Fonte - <http://www.construcone.com.br/imagens/obras/moldado4.jpg>

São feitos os travamentos necessários para garantir a estabilidade do elemento posicionado.

b) Posicionamento das vigas

Após a etapa de pilares, as vigas são posicionadas. Com o auxílio de um guindaste os elementos são içados para o local definitivo (Figura 2-12).

Figura 2-12 - Içamento de viga pré-fabricada



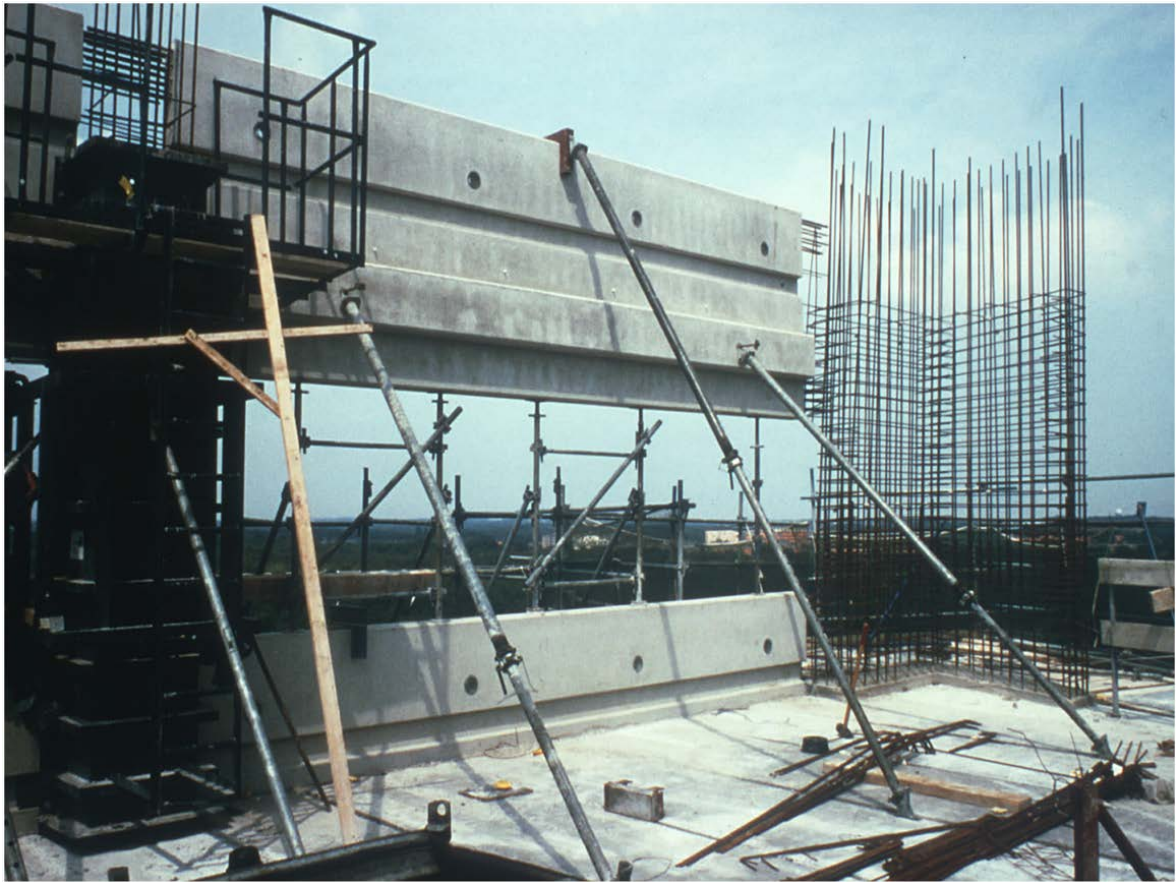
Fonte - <http://www.cpi.eng.br/obras-industriais.html>

A fixação depende do tipo de solução escolhida. O tipo de ligação interfere na questão.

Uma observação é necessária nesta etapa. A montagem das vigas tem suas diferenças na escolha da ligação envolvida. No trabalho é apresentado uma sequência de posicionamento do elemento de uma maneira geral.

Após o posicionamento é feito o escoramento das peças conforme mostra a Figura 2-13. Há a necessidade do procedimento a por questões estruturais e executivas, mas principalmente por questões de segurança para evitar que a peça venha a tombar e cair na obra.

Figura 2-13 - Escoramento da viga pré-fabricada



Fonte - Arquivo pessoal professor Dr. Kim Elliott¹

c) Posicionamento das lajes

Após o posicionamento das vigas, o próximo elemento é a laje. Independentemente do tipo escolhido, seja alveolar ou pi, o processo de içamento é o mesmo conforme mostram as Figuras 2-14 e 2-15.

¹ Documento fotográfico cedido gentilmente pelo Professor Dr. Kim Elliott via email

Figura 2-14 - Içamento de laje alveolar



Fonte - http://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/lajes-alveolares-protendidas-garantem-versatilidade-e-racionalizacao-da-obra_410_3322

Figura 2-15 - Içamento de laje Pi

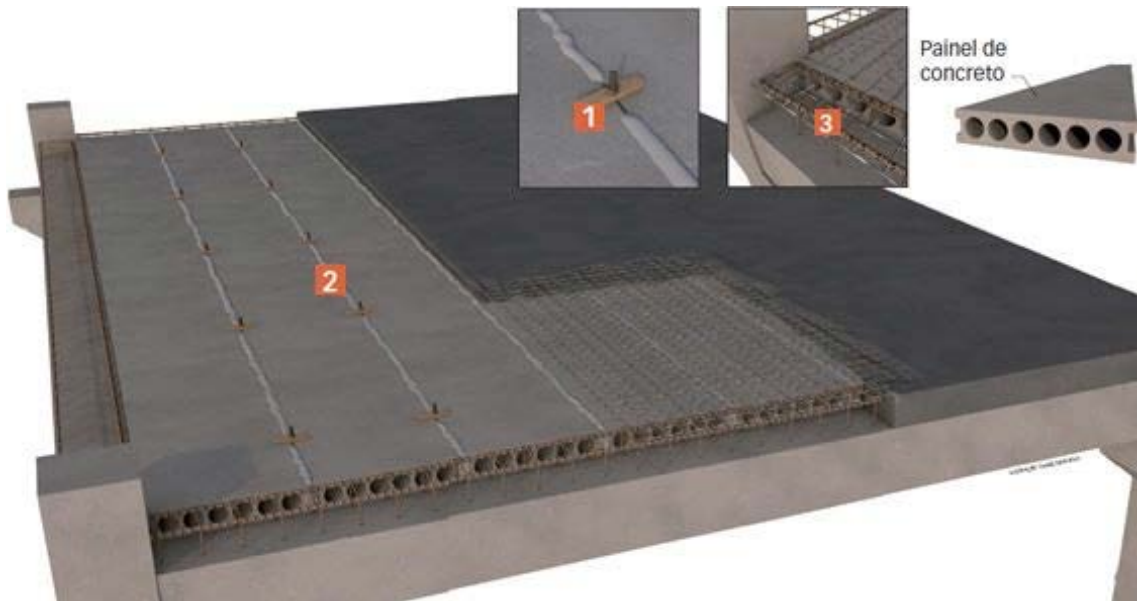


Fonte - <http://lajespatoonia.com/v1/lajes>

d) Capeamento e próximas etapas

Após essas etapas é feito o capeamento das lajes para o travamento e acabamento estrutural previsto em projeto (Figura 2-16). A função principal da capa de concreto é aumentar a resistência à flexão.

Figura 2-16 - Esquema de capeamento da laje alveolar



Fonte - <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/149/artigo301958-1.aspx>

Onde:

1. Torniquetes – necessários para nivelamento da laje para impedir grandes variações nas contraflechas;
2. Juntas – é feito o preenchimento de todo o comprimento das juntas longitudinais das lajes com concreto, graute ou argamassa compatível com o material das peças pré-moldadas;
3. Estribos – a solidarização das vigas de apoio à armadura do capeamento garante mais estabilidade à estrutura. No detalhamento em projeto, o principal cuidado é garantir que os estribos fiquem na mesma altura da armadura da capa de concreto.

(Fonte: CONSTRUÇÃO E MERCADO)

Há a necessidade de se assegurar as juntas entre as lajes para garantir o funcionamento e fazer a distribuição de cargas entre elas.

Os ciclos de execução estão relacionados a edifícios de múltiplos pavimentos e são tratados de tal maneira. Há outros tipos de estruturas pré-fabricadas que não são apresentadas no trabalho.

Após as tarefas descritas há a possibilidade do ciclo se repetir da mesma maneira, ou na maioria dos casos, a repetição começa a partir da etapa das vigas. Isso se dá porque as empresas trabalham com pilares feitos para mais de um pavimento pela modulação que acaba gerando economia e facilidades construtivas e de equipamentos. Dessa forma a repetição se dá posteriormente, quando há a necessidade de se fazer emenda de pilares, repetindo o ciclo desde o início.

A mão de obra é constituída por profissionais melhores capacitados com relação ao sistema moldado no local por ser necessário especializações na montagem, como soldadores, operadores de guindastes e gruas, por exemplo.

No moldado no local, grande parte dos trabalhadores não tem capacitação profissional adequada, grande parte tem seu aprendizado no cotidiano da obra. É possível encontrar estudos sobre a mão de obra na construção civil em trabalhos de gestão e capacitação. O enfoque do trabalho é apresentar algumas diferenças que serão utilizadas na descrição e definição do sistema construtivo híbrido.

2.2.6 Ligações nos pré-fabricados

A grande concentração dos estudos, e até mesmo o entrave, para muitos profissionais e empresas que trabalham no setor é a viabilidade estrutural e do custo das ligações.

Para ELLIOTT (2013) projeto e a construção de juntas e conexões são as considerações mais importantes em estruturas de concreto pré-fabricado. Seu propósito é transmitir esforços entre os elementos estruturais e/ou providenciar estabilidade e rigidez.

Para VAN ACKER (2002) grande parte dos estudos desenvolvidos em estruturas pré-fabricadas são voltados para as ligações. As principais características destes elementos são

pontos fundamentais para garantir melhor estabilidade, ligação e transferência de cargas das estruturas.

FERREIRA (1999) diz que no que se refere ao projeto estrutural das ligações, o desenvolvimento de critérios de dimensionamento e de detalhamento da ligação dependem do conhecimento dos fatores que interferem no comportamento desta ligação.

Por envolver grande parte de elementos pré-fabricados, há a necessidade de se apresentar alguns modelos existentes, mesmo que, muitos deles não sejam utilizados no sistema construtivo híbrido para servir como base e característica do sistema construtivo em estudo.

As ligações podem ser consideradas como dispositivos utilizados para compor um conjunto estrutural, sendo destinadas a transmitir os esforços solicitantes nas várias fases de utilização, considerando as condições de projeto e preservando as condições de durabilidade em toda a vida útil da estrutura.

(NBR 9062:2006, p.4)

São regiões particulares na estrutura pré-moldada, onde ocorrem concentrações das tensões e que também se apresentam como regiões de descontinuidade que podem ou não mobilizar deslocamentos e esforços decorrentes dos elementos ligados por elas ligados, fazendo com que haja uma redistribuição desses esforços ao longo da estrutura interferindo no comportamento da mesma.

(FERREIRA, 1999, p.2)

Em estruturas de concreto armado monolíticas, as ligações entre vigas e pilares são rígidas e permitem, portanto, a transferência integral dos esforços solicitantes. No entanto, essa característica nem sempre é verificada nas estruturas pré-moldadas, por algumas razões. Uma delas é que as ligações rígidas em pré-moldados são difíceis de executar e, por isto, são mais caras que as ligações articuladas e semirrígidas. Em outros casos, ligações semirrígidas são mais convenientes que ligações rígidas por questões construtivas.

(OLIVEIRA JÚNIOR, 2012, p. 81).

As estruturas de concreto moldadas no local, os pilares e vigas, se comportam como pórticos tridimensionais e com diafragmas rígidos (as lajes). A continuidade dos deslocamentos e o equilíbrio de momentos, forças cortante e normal, são conseguidas pela continuidade das armaduras através das juntas de concretagem e ligações, onde estas possuem a mesma resistência dos elementos estruturais.

Entretanto, no caso das estruturas em concreto pré-moldado, o conceito de pórticos tridimensionais não é aplicado, pois é difícil conseguir ligações resistentes à flexão com rigidez suficiente para promover um comportamento de pórtico (VAN ACKER, 2002).

De acordo com o Manual de Ligações Estruturais da FIB (draft 2003), as ligações em estruturas pré-fabricadas de concreto podem ser classificadas de acordo com o grau de engastamento como: rígida, semirrígida ou articulada. Tais ligações são descritas como:

- Ligação rígida – possui elevada capacidade de restringir as rotações relativas entre a viga e o pilar;
- Ligação articulada – corresponde aquela que não possui capacidade de restrição as rotações relativas entre a viga e o pilar;
- Ligação semirrígida – corresponde aquela que desempenha comportamento intermediário ao das ligações rígidas e articuladas, ou seja, uma ligação semirrígida apresenta um engastamento parcial que pode estar próximo da situação engastada ou da situação articulada.

FERREIRA (1993) classifica as ligações:

- Ligações rígidas – aquelas que são capazes de restringir grande parte dos graus de liberdade, sendo adequadas para resistir à tração, compressão, cisalhamento e flexão;
- Ligações articuladas – aquelas que podem transmitir as forças que passam pela articulação, liberando alguns graus de liberdade, principalmente deslocamentos horizontais e rotações.

As ligações em estruturas pré-fabricadas devem atender a diversos critérios estipulados em projeto. Devido à dificuldade de improvisos e adaptações do sistema construtivo e ao seu elevado custo quando isso é possível, as ligações devem estar muito bem definidas.

Alguns pontos são apresentados:

- Conectar elementos à estrutura de apoio;
- Garantir o comportamento global pretendido para os subsistemas pré-moldados, como a ação de diafragma nos subsistemas de pisos, ação de contraventamento em paredes compostas por elementos de painéis, etc.;
- Transferir forças do seu ponto de aplicação para um subsistema de estabilização, como um núcleo ou parede de contraventamento.

(VAN ACKER, 2002, p.33)

O projeto de ligações é um dos pontos chave na concepção do estudo dos sistemas pré-fabricados. Tanto que há diversos estudos e variações sobre o assunto, dentre eles FERREIRA (1999), EL DEBS (2000), ELLIOTT (2002), MIOTTO (2002), JEREMIAS JUNIOR (2007), CATOIA (2007), BACHEGA (2013), ELLIOTT (2013) e PRADO (2014).

A concepção estrutural e os conceitos relacionados ao tema devem considerar diversos critérios relacionados ao comportamento estrutural, as tolerâncias dimensionais, a montagem e outros.

Alguns deles são:

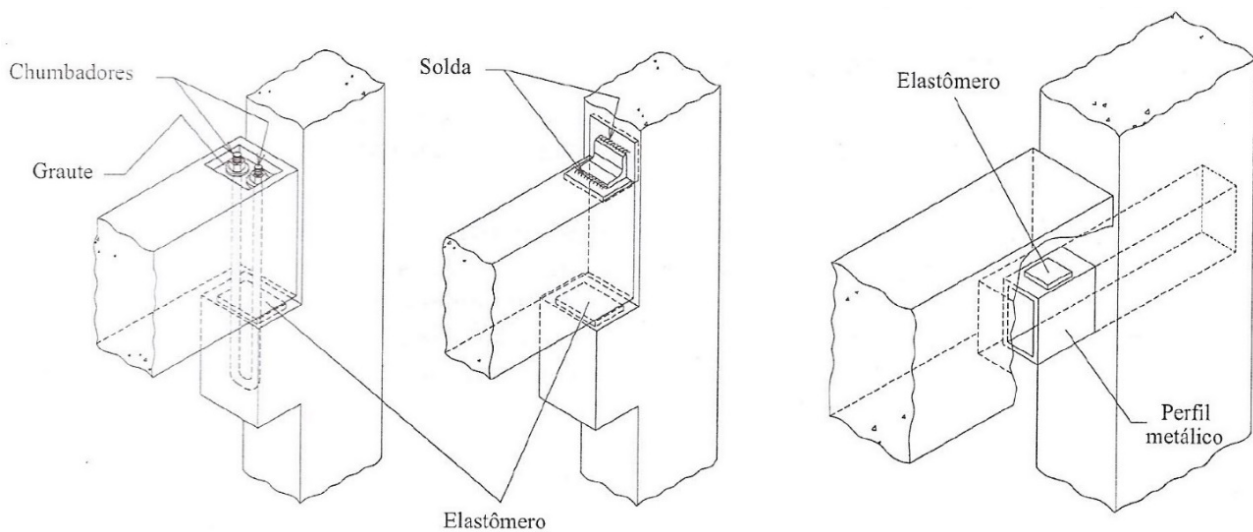
- Comportamento estrutural:
 - Resistência - uma ligação deveria ser projetada para resistir às forças para as quais elas serão submetidas durante a vida útil da estrutura. Algumas destas forças são causadas por ações diretas, como peso próprio e sobrecargas, ações de vento, ações sísmicas, ações devidas ao solo e à pressão da água. Outras ações indiretas são causadas pela restrição à mudanças de volume dos elementos, ou forças adicionais que podem aparecer devido à inclinações não intencionais em pilares e paredes portantes ou excentricidades nesses elementos;
 - Ductilidade - é sempre aconselhável projetar e detalhar as ligações de modo a evitar rupturas frágeis no caso de a ligação ser submetida com forças acima daquelas que foram previstas no projeto, sendo desejável um comportamento dúctil para as mesmas. A ductilidade é a capacidade de uma ligação sofrer deformações plásticas sem ocorrer uma redução significativa na sua capacidade de transmitir esforços.
- Tolerâncias dimensionais:
 - As tolerâncias dimensionais estão inevitavelmente aparecendo na estrutura de um edifício e na fabricação dos elementos pré-moldados. Essas tolerâncias devem ser consideradas no projeto das ligações, pois caso contrário poderão ocorrer sérios problemas durante a montagem da estrutura. Outro princípio importante relacionado com as tolerâncias dimensionais é que as ligações deveriam possuir dispositivos para ajustes nas três direções para possibilitar que os elementos possam ser alinhados e nivelados durante a montagem.

(VAN ACKER, 2002, p.33-35)

Em EL DEBS (2000) é possível ver uma série de exemplos de ligações que são características dos pré-fabricados, como por exemplo:

- Nas ligações articuladas normalmente se recorre a chumbadores ou à chapa metálica soldada no topo para promover a segurança em relação à estabilidade lateral da viga (Figura 2-17)

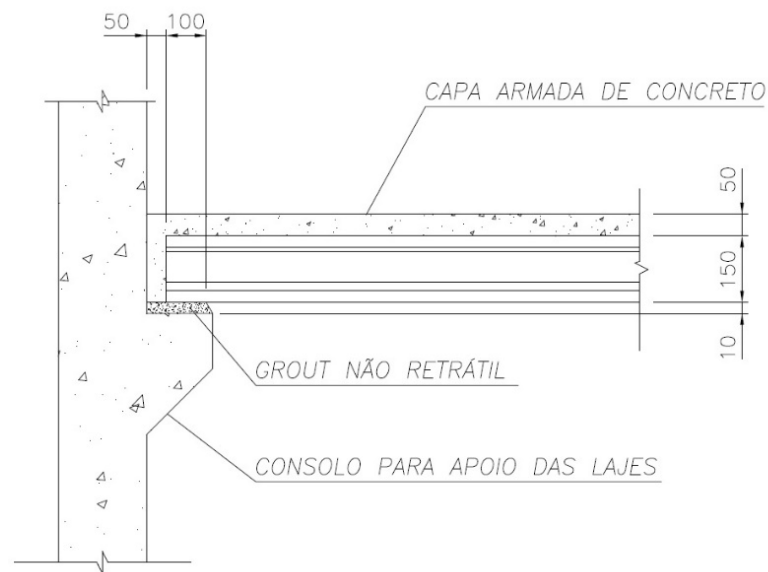
Figura 2-17 - Ligações viga x pilar articuladas



Fonte - EL DEBS (2000)

Um detalhe de projeto das ligações viga-pilar pode ser observado na Figura 2-18.

Figura 2-18 - Detalhe típico de ligação de um estrutura pré-fabricada



Fonte - Arquivo pessoal professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira²

Já um exemplo prático é apresentado na Figura 2-19.

Figura 2-19 - Ligação viga x pilar pré-fabricado



Fonte - Próprio autor

² Documento retirado de um detalhe de projeto do AutoCad. Cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira via pen drive

Além do modelo já mencionado de outros autores, há estudos de situações que possam simular um comportamento.

Várias soluções alternativas para fornecer ligações rígidas entre vigas e pilares têm sido estudadas e desenvolvidas na literatura, a maioria confiando em técnicas dos moldados no local para fornecer ligações equivalentes “monolíticas” (PAMPANIN; PAGANI; ZAMBELI, 2004).

Em soluções típicas de emulação de moldados no local, como por exemplo adotados nas práticas construtivas na Nova Zelândia e Japão, as ligações podem ser localizadas tanto na ligação viga pilar com total ou parcial concreto moldado no local ou no meio do elemento estrutural que não corresponde necessariamente a um segmento pré-fabricado, como vigas-pilares em forma de ‘tê’.

(PAMPANIN; PAGANI; ZAMBELI, 2004, p.2, tradução nossa).

A maioria dos lugares que se tem a preocupação com esses estudos são regiões sujeitas a ações sísmicas.

Este tipo de ligação de concreto pré-fabricado é uma preocupação em regiões sísmicas. Diversas soluções alternativas para providenciar ligações entre elementos pré-fabricados (para resistência sísmica) têm sido estudadas e desenvolvidas na literatura, a maioria baseadas em técnicas moldadas no local para fornecer ligações ‘monolíticas’ equivalentes (ligações com força e resistência equivalente aos moldados no local)

(PAMPANIN, 2005, p.210, tradução nossa).

O grande propósito dessa simulação é, segundo PAMPANIN (2005), que a maioria das técnicas moldadas no local fornecem ligações equivalentes às monolíticas (ligações com força e resistência equivalente aos moldados no local).

No Brasil, devido a grande tradição da construção moldada no local, mesmo sem haver problemas com sismos, há uma tendência em se criar ligações rígidas que simulam as estruturas em concreto armado.

2.3 Sistema Construtivo Moldado no Local

De uma maneira bem simples concreto armado pode ser definido como a união do concreto simples (para a resistência à compressão) e de um material resistente à tração que quando envolvidos resistem aos esforços solicitantes. Ou seja, barras de aço envolvidas por concreto em fôrmas de madeira (mais comum) permitem a obtenção de uma estrutura capaz de resistir as ações quando exigidas. Esta conceituação se aplica a elementos fletidos (vigas, lajes etc.). No caso de elementos fortemente comprimidos (pilares), o concreto pode ser combinado com o aço (formando o concreto armado) de maneira que ambos resistam esforços à compressão.

2.3.1 Características gerais e definições

A Norma NBR 6118:2014 define elementos de concreto armado como aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

No Brasil é a maneira de construir mais empregada. É um dos sistemas construtivos mais utilizados por diversos motivos que podem ser desde econômicos (dependendo da comparação com outros sistemas construtivos como metálicas e pré-moldados por exemplo) até a facilidade e abundância de se encontrar mão de obra e materiais para a execução.

Em outros países – na Europa (Figura 2-20) e nos Estados Unidos (Figura 2-21) - também é possível se observar a abundância do concreto armado nos canteiros de obra.

Figura 2-20 - Sistema construtivo moldado no local na Alemanha



Fonte - Próprio autor

Figura 2-21 - Sistema construtivo moldado no local nos Estados Unidos



Fonte - Próprio autor

Algumas vantagens do concreto armado são:

- É moldável, permitindo grande variabilidade de formas e de concepções arquitetônicas;
- A estrutura é monolítica, fazendo com que todo o conjunto trabalhe quando a peça é solicitada;
- Baixo custo dos materiais – água e agregados graúdos e miúdos;
- Baixo custo de mão de obra, pois em geral não exige profissionais com elevado nível de qualificação;
- Facilidade e rapidez de execução, principalmente se forem utilizadas peças pré-moldadas;
- Os gastos de manutenção são reduzidos, desde que a estrutura seja bem projetada e adequadamente construída;
- O concreto é pouco permeável à água, quando executado em boas condições de plasticidade, adensamento e cura;
- É um material seguro contra o fogo, desde que a armadura seja convenientemente protegida pelo cobrimento;

(PINHEIRO, 2004, p.4-5)

Já CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2015) citam como vantagens:

- Apresenta boa resistência a maioria das solicitações;
- Tem boa trabalhabilidade, e por isso se adapta a várias formas, podendo, assim, ser escolhida a mais conveniente do ponto de vista estrutural, dando maior liberdade ao projetista;
- Permite obter estruturas monolíticas, o que não ocorre com as de aço, madeira e pré-moldadas. Existe aderência entre o concreto já endurecido e o que é lançado posteriormente, facilitando a transmissão dos esforços;
- As técnicas de execução são razoavelmente dominadas em todo país;
- Em diversas situações, pode competir com as estruturas de aço em termos econômicos;
- É um material durável, desde que seja bem executado, conforme as normas, e evitado o uso de aceleradores de pega, cujos produtos químicos podem corroer as armaduras;
- Apresenta durabilidade e resistência ao fogo superiores em relação à madeira e ao aço, desde que os cobrimentos e a qualidade do concreto estejam de acordo com as condições do meio em que está inserida a estrutura;
- Possibilita a utilização da pré-moldagem, proporcionando maior rapidez e facilidade de execução;
- É resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

(CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.21-22)

Nas construções moldadas no local tem-se como principal vantagem a possibilidade de se construir uma estrutura monolítica. Monolitismo é definido como a propriedade decorrente

da capacidade de um concreto novo tem de aderir a um mais antigo, contanto que sejam tomados cuidados antes e na segunda execução da concretagem seguinte, ou seja, ligações entre elementos como se fossem um, com o mesmo concreto ou diferentes.

Embora a estrutura seja executada por partes (concreta-se viga e pilar de um andar, depois a laje e passa-se para outro andar) ela funciona no final como se tivesse sido executada de uma só vez. As propriedades estruturais ao longo do elemento são empregadas como se tivessem sido feitas de uma única vez, ou seja, quando se faz um elemento em duas fases e ainda assim após o término ele trabalha com características de ter sido construída de uma só vez se diz que é monolítico. Isto não acontece, em geral, com as estruturas pré-fabricadas, pois as ligações entre elementos (normalmente vigas) não são contínuas.

O concreto armado apresenta restrições que precisam ser analisadas para o desenvolvimento do projeto e a execução da estrutura.

Segundo PINHEIRO (2004), as principais são: baixa resistência à tração, fragilidade, fissuração, peso próprio elevado, custo de fôrmas para moldagem e corrosão das armaduras.

As desvantagens segundo CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2015) são:

- Resulta em elementos com maiores dimensões que o aço, o que, com seu peso específico elevado (gama aproximadamente 25 KN/m²), acarreta em peso próprio muito grande, limitando seu uso em determinadas situações, ou elevando bastante seu custo;
- As reformas e adaptações são, muitas vezes, de difícil execução;
- É bom condutor de calor e som, exigindo, em casos específicos, associação com outros materiais para sanar esses problemas;
- São necessários um sistema de fôrmas e a utilização de escoramentos (quando não se faz uso da pré-moldagem) que geralmente precisam permanecer no local até que o concreto alcance a resistência adequada.

(CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.22)

2.3.2 Características de projeto

O procedimento de execução das estruturas em concreto armado, segue na sua maioria, uma sequência pré-determinada: elementos de fundação, pilares, vigas e então lajes. Depois se executa sucessivamente pilares, lajes e vigas de cada pavimento. Em cada etapa, as ligações são, em geral, contínuas obtidas por armadura de traspasse.

Como o procedimento é quase sempre o mesmo, o cálculo e detalhamento pode ser feito sem especificar a sequência de execução, ou mesmo a empresa que irá executá-la. Porém há indicações na Norma NBR 6118:2014 e na NBR 14931:2003 que recomendam que o projetista deva fornecer o plano de concretagem e desforma (o que geralmente não acontece, pois, os construtores tem suas técnicas e métodos de construção).

O uso de armadura de traspasse e as características do concreto fazem que a estrutura possa trabalhar como se tivesse sido feita de uma única vez (monolitismo). Isto pode justificar também o cálculo feito em uma única etapa com a estrutura considerada pronta e todas as ações atuantes.

No sistema moldado no local, o cálculo usual, mesmo usando programas de computador tendem a simplificar a estrutura discretizando ou modelando de maneira simplificada. CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2015) apresentam esta hipótese para uma estrutura simples:

Elementos estruturais são peças, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (vigas, lajes, pilares, etc.), que compõem uma estrutura. O modo como são arranjados pode ser chamado sistema estrutural. Alguns comportamentos são dependentes desse arranjo, não influenciando o material com que são feitos os elementos.

(CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.23)

Ainda afirma que:

A interpretação e a análise do comportamento real de uma estrutura são, geralmente, complexas, difíceis e nem sempre possíveis. Por esta razão, é importante entender que para montar modelos físicos e matemáticos na análise de construções de concreto armado é preciso usar a técnica da discretização, que consiste em desmembrar a estrutura em elementos cujos comportamentos possam ser admitidos já conhecidos e de fácil estudo.

(CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.25)

A técnica tem a proposta de que a análise da estrutura seja feita de forma mais simples, entendendo o comportamento de cada um dos elementos integrantes de todo conjunto.

Independente de qual método e hipótese de cálculo a ser considerado o tipo de estrutura deve ser proposto previamente.

CARVALHO e FIGUEREDO FILHO (2015) apontam que no caso das peças pré-moldadas os modelos na discretização são mais próximos da realidade pois os elementos são feitos isoladamente com pouca continuidade em suas ligações.

2.3.3 Características gerais do canteiro e da mão de obra

A principal característica do sistema é a realização da maior parte dos serviços na própria obra. Há um elevado número de funcionários no canteiro executando as diversas tarefas e etapas, conforme mostra a Figura 2-22.

Figura 2-22 - Elevado número de funcionários no canteiro de obras na concretagem



Fonte - <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/3/concretagem-praticas/execucao/60/concretagem-praticas.html>

Em obras de grande porte, devido ao sistema escolhido, a velocidade de execução se dá pela quantidade de trabalhadores, além de outros recursos utilizados (como por exemplo, no caso de concretagem, aumento do jogo de fôrmas e escoramentos).

Além disso, o canteiro conta com setores de estoque e áreas destinadas a outros serviços, como montagem e dobra de aço que será posicionada posteriormente. A velocidade da tarefa é relacionada à quantidade de mão de obra, espaço físico e ferramentas disponíveis.

No sistema moldado no local, não há a obrigatoriedade de equipamentos de grande porte, tendo em vista que não há grandes peças a serem transportadas. Geralmente o transporte até o local do uso é feito por meio de elevadores laterais, o que é um limitador na velocidade de algumas etapas.

O canteiro não é restrito, na sua maioria, as dimensões para recebimento de insumos, já que grande parte chega através de caminhões de porte menor que os pré-fabricados, que são obrigados a levarem carretas para o transporte dos elementos da fábrica para a obra.

Nas etapas críticas da estrutura, como por exemplo a concretagem, o caminhão betoneira e bomba ficam na rua junto bombeando o concreto através de mangueiras até o destino final.

A grande questão quando se trata do canteiro é o estoque dos materiais a serem utilizados. Como grande parte do serviço é feito na própria obra é necessária uma área destinada a tal função.

Há estudos específicos destinados à organização de canteiros e melhores maneiras de otimizar os processos. A proposta com o tópico é apenas apresentar situações que são pertinentes ao projeto e que influenciam a escolha dos sistemas e das maneiras de se executar após a decisão.

2.3.4 Etapas do processo de execução

As principais etapas de construção de uma edificação em concreto armado são: montagem das fôrmas e escoramentos, posicionamento das armaduras, lançamento do concreto, adensamento, cura e retirada das fôrmas e escoramentos.

Algumas destas são descritas a seguir de maneira sucinta (são feitos apenas os relacionados aos sistemas construtivos híbridos que incorporam algumas das características) de acordo com a Norma NBR 14931:2003:

- Armadura
 - Transporte e estocagem: barras de aço para construção, telas soldadas e armaduras pré-fabricadas não devem ser danificadas durante as operações de transporte, estocagem, limpeza, manuseio e posicionamento no elemento estrutural;
 - Limpeza: a superfície da armadura deve estar livre de ferrugem e substâncias deletérias que possam afetar de maneira adversa o aço, o concreto ou a aderência entre esses materiais;
 - Emendas: devem ser feitas de acordo com o projeto estrutural, podendo ser executadas emendas por traspasse, por luva com preenchimento metálico, por solda ou outros dispositivos devidamente justificados;

(NBR 14931:2003, p.9-10)

A etapa de montagem de fôrmas e escoramentos, além do seu posicionamento tem um tópico separado. Algumas características do moldado no local são levadas no sistema construtivo híbrido, sendo que duas delas prevalecem: o monolitismo e a ausência ou uso de fôrmas e escoramentos. Dessa maneira, a descrição neste tópico leva em conta a sua retirada posteriormente, mas as ideias principais serão apresentadas mais adiante.

- Concretagem
 - Concreto pode ser preparado pelo executante da obra ou por empresa de serviços de concretagem (de acordo com normas, por exemplo NBR 12655);
 - Cuidados preliminares com fôrmas e escoramentos (que devem ser devidamente conferidos as dimensões, posições e condições estruturais) e armaduras (montagem, posicionamento e cobrimentos especificados devem ser verificados);
 - Lançamento: o concreto deve ser lançado e adensado de modo que todas as armaduras, além dos componentes embutidos previstos no projeto, sejam adequadamente envolvidos na massa de concreto;
 - Adensamento: durante e imediatamente após o lançamento o concreto deve ser vibrado ou apiloado contínua e energeticamente com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento deve ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos das fôrmas;
- Cura
 - Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para: evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e assegurar a formação de uma capa superficial durável;
 - Retirada das fôrmas e do escoramento
 - Devem ser removidos de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido e de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura.

(NBR 14931:2003, p.14-24)

A Figura 2-23 apresenta alguns elementos mencionados no processo de execução de uma estrutura em concreto moldado no local. É possível ver as armaduras e os escoramentos sendo posicionados.

Figura 2-23 - Armadura e escoramentos em canteiro do sistema moldado no local



Fonte - Próprio autor

Por se tratar de um tópico importante nas estruturas híbridas, que no caso do estudo envolve pilar moldado no local, as fôrmas e os escoramentos merecem uma abordagem um pouco mais profunda.

2.3.5 Fôrmas e escoramentos

Simplificadamente as fôrmas são elementos que possuem a função de sustentar o concreto fresco até que tenha resistência suficiente para se sustentar por si só e dar molde ao concreto, além de fazer a contenção do mesmo. Podem ser de madeira ou industrializada, por exemplo aço. Este último oferece a possibilidade de maior precisão geométrica, vãos maiores e maior quantidade de uso (e reuso).

A Norma NBR 15696:2009 traz as seguintes definições:

- Fôrmas – são estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante;
- Escoramentos – estruturas provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante;
- Reescoramento e escoramento remanescente – estruturas provisórias auxiliares, colocadas sob uma estrutura de concreto que não tem capacidade de resistir totalmente às ações provenientes de cargas permanentes e/ou variáveis, transmitindo-as às bases de apoio rígidas ou flexíveis.

(NBR 15696:2009, p.2)

O sistema de fôrmas e escoramentos é de grande importância no que diz respeito aos custos nas estruturas em concreto armado. Nas estruturas híbridas de concreto pelo fato de, por exemplo, o pilar ser moldado no local haverá a necessidade do uso de fôrmas para a confecção. A necessidade ou não de determinados escoramentos depende do tipo do empreendimento.

O posicionamento, o tempo necessário e a quantidade de operários necessários para a colocação desses elementos são altos. Além disso, o custo para tal tarefa também é considerável, necessita grande número de funcionários, grande quantidade de peças (madeira e escoras, por exemplo), mesmo que sejam reaproveitadas, e o tempo necessário para a colocação, dependendo do número de trabalhadores, é elevado, para se manter um ciclo de trabalho com pequeno tempo.

A Norma NBR 14931:2003 afirma que o sistema de fôrmas, compreende as fôrmas, o escoramento, o cimbramento e os andaimes, incluindo seus apoios, bem como as uniões entre os diversos elementos, deve ser projetado e construído de modo a ter:

- Resistência às ações a que possa ser submetido durante o processo de construção, considerando:
 - o Ação de fatores ambientais;
 - o Carga da estrutura auxiliar;
 - o Carga das partes da estrutura permanente a serem suportadas pela estrutura auxiliar até que o concreto atinja as características estabelecidas pelo responsável pelo projeto estrutural para remoção do escoramento;
-

- Efeitos dinâmicos acidentais produzidos pelo lançamento e adensamento do concreto, em especial o efeito do adensamento sobre o empuxo do concreto nas fôrmas, respeitados os limites estabelecidos (em outros itens na própria norma);
- No caso de concreto protendido, resistência adequada à redistribuição de cargas originadas durante a protensão.
- Rigidez suficiente para assegurar que as tolerâncias especificadas para a estrutura (em outro tópico na mesma norma) e nas especificações do projeto (também em outro tópico) sejam satisfeitas e a integridade dos elementos estruturais não seja afetada.

(NBR 14931:2003, p.5-6)

A montagem desse sistema deve facilitar a posterior desmontagem, garantir os prumos e nivelamentos, estarem limpas e estanques, além de suportar o peso aplicado.

Os escoramentos são elementos de grande importância nas estruturas em concreto armado. São eles que recebem as solicitações de cargas devido ao peso próprio e ao concreto retido durante a concretagem de um pavimento acima.

É o elemento que ajuda no suporte (junto com as fôrmas) quando o concreto ainda não possui a resistência necessária para suportar a carga estabelecida em projeto. O tempo necessário para a etapa varia conforme o tipo da edificação. Os tipos mais comuns são de madeira e metálico.

A Norma NBR 15696:2009 relata da seguinte maneira para a execução dos escoramentos:

- Cuidados na montagem de fôrmas e escoramentos – toda montagem de fôrmas e escoramentos deve ser executada mediante a utilização de um projeto específico, no plano da obra deve constar a descrição do método a ser seguido para montar e remover estruturas auxiliares (sendo especificados os requisitos de manutenção, ajuste, contra flecha, desfôrma e remoção);
- O escoramento deve ser apoiado (sobre hastes reguláveis, cunhas, caixas de areia ou outro dispositivo apropriado para facilitar a posterior remoção de maneira a não submeter à estrutura a impactos, sobrecarga e outros danos), qualquer componente embutido deve preservar a geometria das peças durante a operação de concretagem e resistir a contaminações que possam afetar sua integridade (servindo também para concreto e armaduras envolvidas).

(NBR 15696:2009, p.8)

A Figura 2-24 mostra um sistema de escoramento em processo de posicionamento para preparação da etapa seguinte da concretagem.

Figura 2-24 - Quantidade elevada de escoramento provisório no sistema construtivo moldado no local



Fonte - Próprio autor

2.3.6 Ciclos de execução

As estruturas de edifícios em concreto armado são normalmente construídas usando-se um sistema de suporte de pavimentos composto por fôrmas, escoras e reescoras. Através desse sistema os pavimentos recém concretados são sustentados por pavimentos inferiores já com uma certa resistência adquirida (PRADO, 1999).

Desta maneira, torna-se clara a importância das relações entre as equipes de projeto e construção para garantir a segurança e as condições de utilização da estrutura (PRADO, 1999).

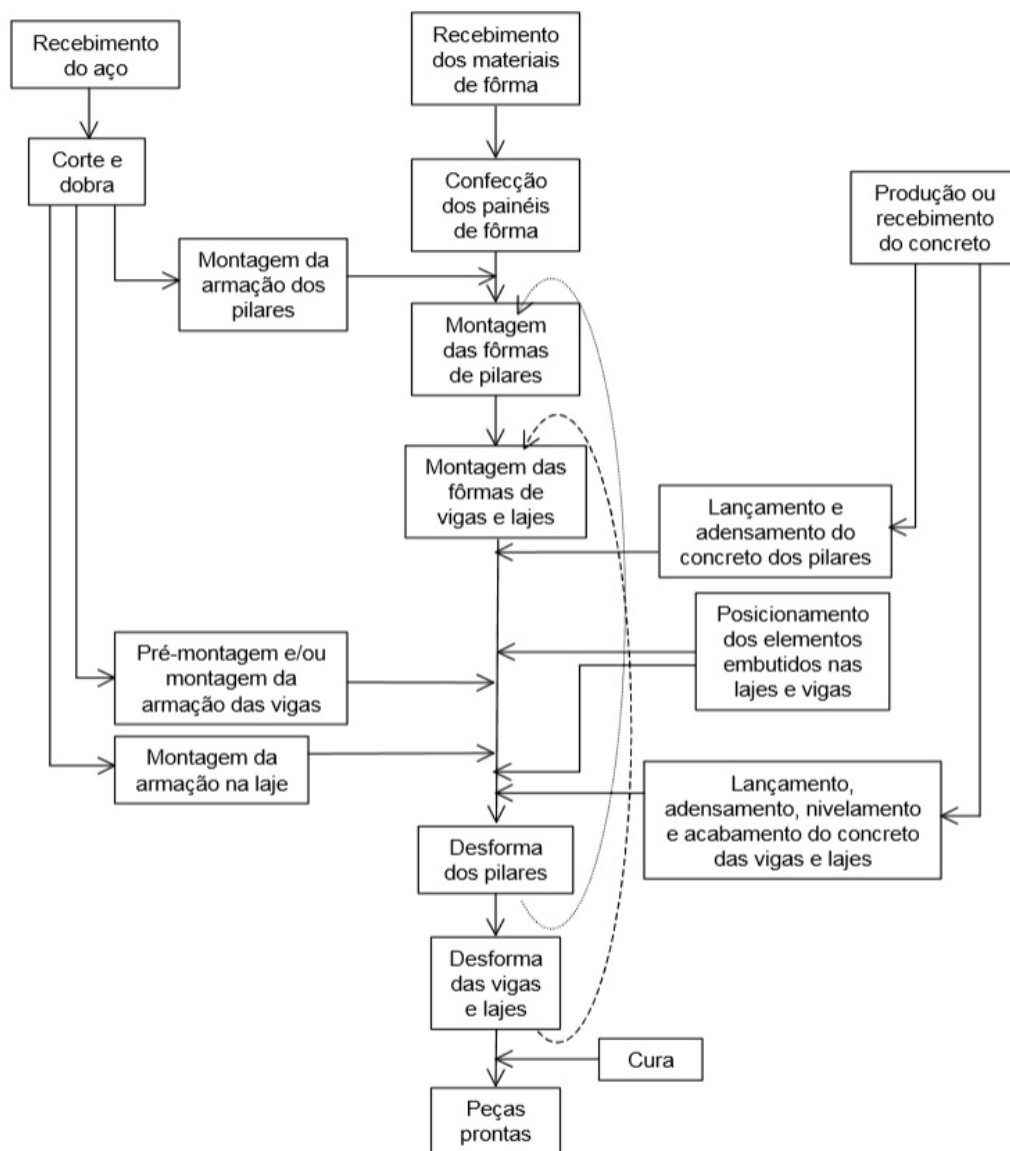
Unindo-se a isso FACHINI (2005) diz que a indústria da construção civil vem sofrendo mudanças substanciais, provocadas principalmente pelo crescimento da competição, redução

da disponibilidade de recursos financeiros para as obras e diminuição do poder aquisitivo por parte dos clientes finais.

Tais fatores fazem com que o processo que envolve a construção de um empreendimento tenha que ser feito de maneira a melhorar os processos, reduzir o desperdício e consumo de materiais e para isso a interligação das equipes envolvidas é de extrema importância.

Um desses processos é a sequência de execução de estruturas em concreto armado que FREIRE (2001) representa da seguinte maneira apresentado na Figura 2-25.

Figura 2-25 - Ciclo de construção - sistema moldado no local



Fonte - FREIRE (2001)

Em PRADO (1999) é visto que as ações são introduzidas nos pavimentos durante o período de construção através de uma seqüência repetida de operações que se constituem em:

- Remoção do nível mais baixo de reescoras;
- Remoção do nível mais baixo de escoras e fôrmas;
- Instalação das reescoras no nível onde as escoras e fôrmas foram removidas;
- Instalação das escoras e fôrmas para concretagem do próximo pavimento;
- Concretagem.

(PRADO, 1999, p.9)

As ações que são citadas por PRADO (1999) são:

- Horizontais – ações provenientes do vento, do movimento produzido pelo lançamento do concreto e do funcionamento dos equipamentos;
- Verticais – são referentes ao peso próprio dos materiais e outros (peso dos trabalhadores, entulho, equipamento, impacto produzido pelo lançamento do concreto, etc.).

A análise deste tópico é apresentada em um estudo de caso feito em canteiro de obras visto em TAKATA (2009).

- Dia 1 a 2 – Montagem das fôrmas e armaduras dos pilares, vigas e lajes
 - o A partir do projeto o gabarito é montado para a locação dos pilares;
 - o As fôrmas laterais e uma frontal são posicionadas (Figura 2-26);

Figura 2-26 - Posicionamento das fôrmas dos pilares



Fonte - TAKATA (2009)

- Os espaçadores e armaduras são posicionados e a fôrma é fechada;
- É feito o travamento na parte de baixo para evitar perda de material;
- Após o término se inicia a montagem das vigas com a colocação das fôrmas e escoramentos (Figura 2-27);

Figura 2-27 - Posicionamento das escoras da viga



Fonte - TAKATA (2009)

- A armadura é posicionada;
 - Prepara-se a montagem da escada;
 - Os escoramentos e as fôrmas das lajes começam a ser distribuídos no pavimento (Figura 2-28).
-

Figura 2-28 - Posicionamento das escoras da laje



Fonte - TAKATA (2009)

- Dia 3 – Concretagem dos pilares e escada e início da laje
 - É feita a conferência das fôrmas e armaduras;
 - Prepara-se para o bombeamento do concreto;
 - Inicia a concretagem dos pilares;
 - Concreta-se a escada;
 - Começa o posicionamento dos espaçadores e das cubetas plásticas.
 - Dia 4 – Término do posicionamento da laje
 - Termina-se a colocação das cubetas e espaçadores;
 - Armadura começa a ser colocada;
 - Verificações dos posicionamentos de fôrmas, escoramentos, armaduras e nível são feitos.
 - Dia 5 – Concretagem das vigas e laje
 - Prepara-se para o lançamento do concreto no pavimento;
 - Começa a concretagem de vigas e lajes;
 - É feito o espalhamento e adensamento do concreto;
 - Terminada a concretagem se inicia o trabalho de cura.
 - Dia 6 – Reinicia o trabalho de montagem de pilares para o próximo pavimento.
-

NUNES (2011) fez um trabalho aplicando a NBR ISO 9001:2000 e a NBR 6118:2003 para a aprovação de execução em estruturas em concreto armado em que descreve os ciclos de construção envolvendo as etapas.

O sistema apresentado tem um problema que é a execução de tarefas na parte abaixo da laje. Devido à grande quantidade de escoras outros serviços são impossibilitados gerando mais tempo no prazo final da obra.

Em uma situação de necessidade de mais velocidade de execução isto pode ser determinante para este sistema mais tradicional não ser o mais vantajoso.

2.3.7 Caso particular: Burj Khalifa

Quando se apresenta o ciclo do moldado no local como sendo lento em comparação com o pré-moldado, deve ser feita uma ressalva.

Neste sistema construtivo o tipo da edificação, o propósito e o investimento contam muito. Muitas vezes, em obras mais comuns há o acréscimo de mão de obra para aumentar a quantidade de tarefa executada ao mesmo tempo e por mais trabalhadores com a intenção de se ganhar produtividade. Nem sempre isso é possível. Em determinadas situações há a mudança no material empregado para se conseguir o efeito desejado. É o caso do edifício Burj Khalifa (Figura 2-29) em Dubai, nos Emirados Árabes.

É um edifício de 160 andares que levou 6 anos para a construção (segundo o próprio site do empreendimento).

Figura 2-29 - Construção do Burj Khalifa em Dubai

Fonte - https://carvalues.files.wordpress.com/2010/01/burj_dubai_under_construction_011.jpg

É um empreendimento feito no sistema construtivo moldado no local (Figura 2-30) com ciclos de fôrmas e escoramentos, conforme ilustra a Figura 2-31, como o apresentado no tópico estudado.

Figura 2-30 - Construção do Burj Khalifa no sistema construtivo moldado no local

Fonte - <http://www.constructionweekonline.com/article-12619-tallest-tales/>

Figura 2-31 - Sistema de fôrmas do Burj Khalifa



Fonte - <http://www.burjdubaiskyscraper.com/2005.jpg>

O grande diferencial é o sistema utilizado para a construção que permitiu um ciclo de lajes a cada três dias. Foi utilizado concreto de alto desempenho, baixa permeabilidade, alta durabilidade (C60 – C80). A concretagem se dava a noite para diminuir o impacto da alta temperatura da região. O sistema de fôrmas utilizado é, segundo o próprio fabricante, um diferencial por oferecer simplicidade e velocidade, ser possível manusear de maneira mais fácil, além de outras características específicas. É possível ver o modelo utilizado na Figura 2-32.

Figura 2-32 - Sistema de fôrmas utilizado no Burj Khalifa



Fonte - <http://www.slideshare.net/rohitara7798/burj-khalifa-40865516>

A observação com a característica do edifício é feita para ilustrar que o ciclo do moldado no local pode ser aumentado, desde que haja grandes investimentos técnicos, de material, equipamentos e pessoal. É um caso específico e que não representa a grande maioria dos empreendimentos ao redor do mundo, mas que serve de exemplo para apresentar as possibilidades no ciclo do sistema moldado no local.

2.4 Estruturas em Concreto Protendido

Outro sistema que pode ser interessante associado com os sistemas construtivo híbrido, a protensão tem como proposta adicionar um estado prévio de tensões que tende a melhorar o comportamento do elemento estrutural. Pode oferecer grandes vantagens se utilizado de maneira adequada.

Estruturas em concreto armado e protendido são consideradas do mesmo tipo e regidas pela mesma norma. É possível ver isso em CARVALHO (2012).

Dessa maneira, o trabalho apresenta algumas definições e como pode ser incorporado ao tema estruturas híbridas de maneira resumida.

2.4.1 Definições

Para HANAI (2005) a protensão pode ser empregada como um meio de se criar tensões de compressão prévias nas regiões onde o concreto seria tracionado em consequência das ações sobre a estrutura.

CARVALHO (2012) considera as estruturas em concreto protendido um avanço ou extensão das de concreto armado, pois nelas é possível otimizar o uso de aços de grande resistência, assim como concretos de alto desempenho.

Tem como objetivo introduzir no elemento um estado prévio de tensões através de uma compressão anterior na peça a ser concretada. Isso é feito para diminuir a fissuração do concreto, conforme CARVALHO (2012) apresenta ao longo do seu trabalho.

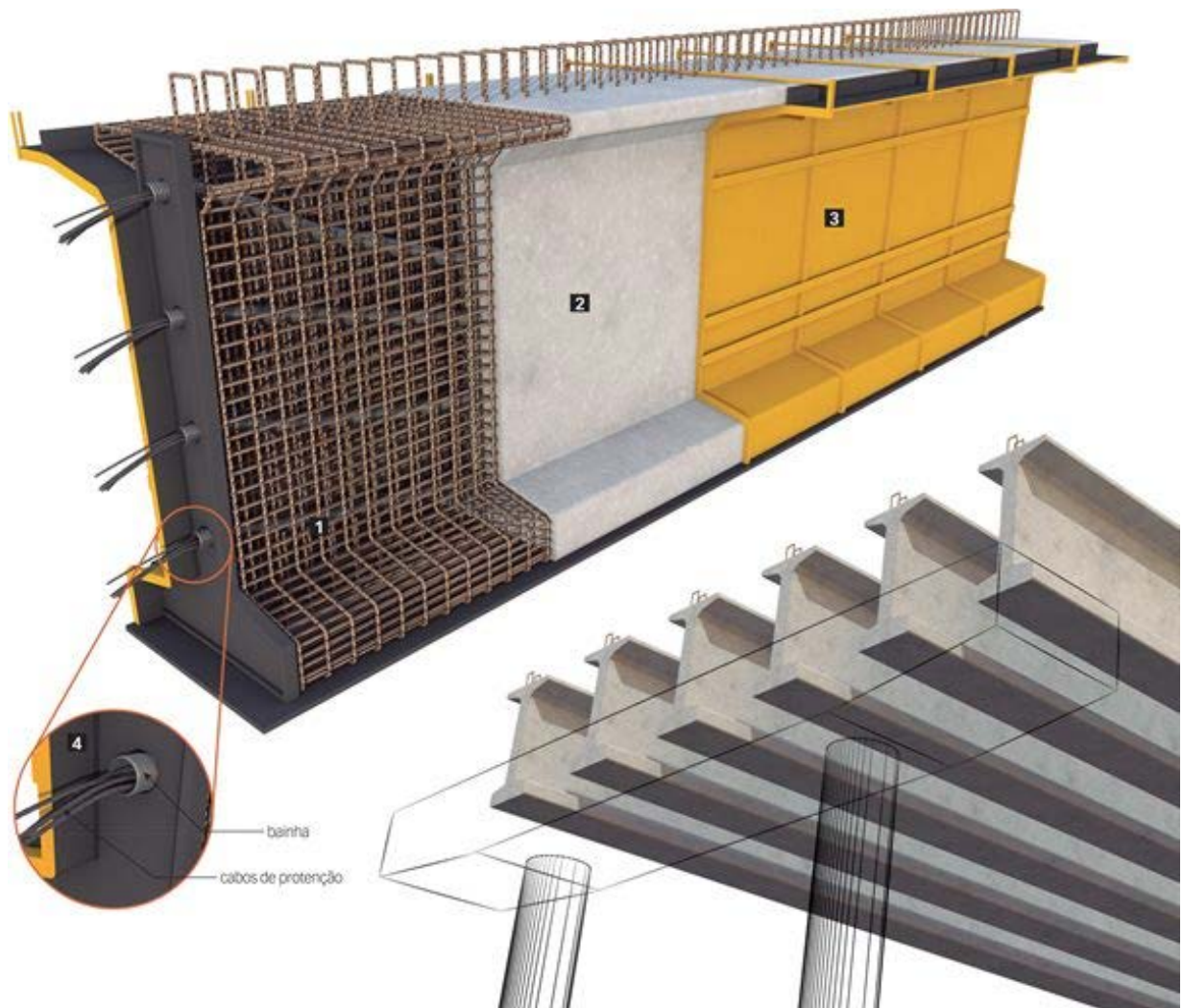
A protensão tem bons resultados no controle e redução de deformações e fissuração, permite cobrir grandes vãos e pode ser utilizado em elementos pré-fabricados.

É muito comum a utilização de peças pré-moldadas de concreto protendido. A quantidade de equipamentos e materiais envolvidos no processo construtivo, bem como a necessidade de um concreto de melhor qualidade, motivam a construção das peças num canteiro de obras apropriado, onde é possível executar as protensões e processar a cura do concreto em condições favoráveis com rigoroso controle tecnológico.

(VERÍSSIMO e CÉSAR JR, 1998, p.6)

A Figura 2-33 apresenta um esquema de uma estrutura de viga em concreto protendido, com a armadura, a fôrma, os cabos de protensão e o elemento já executado. Na situação apresentada é utilizada em pontes, mas a estrutura da execução se aplica também em outros tipos de edificações.

Figura 2-33 - Esquema ilustrativo de uma estrutura em concreto protendido



Fonte - <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/51/veja-como-funciona-a-protensao-de-vigas-pre-moldadas-na-construcao-364735-1.aspx>

Um exemplo prático que pode ser apresentado é a Figura 2-34 que mostra uma laje executada com protensão.

Figura 2-34 - Construção de um pavimento em concreto protendido



Fonte - <http://www.procalc.com.br/blog/wp-content/uploads/2013/02/estrutura-07.jpg>

2.4.2 Vantagens, desvantagens e aplicações

Há alguns tipos de elementos feitos em concreto protendido. Eles são classificados quanto a aderência e a execução.

- Aderência inicial (pré-tração) – a aderência entre a armadura e o concreto é iniciada quando se inicia o lançamento do concreto;
- Aderência posterior (pós-tração com aderência) – a aderência entre a armadura e o concreto é iniciada posteriormente à execução da protensão, quando o concreto já está endurecido e injeta-se nata de cimento na bainha que isola a armadura de protensão e o concreto;
- Sem aderência (pós-tração sem aderência) – neste caso a armadura só estará solidária ao concreto na região das (e através das) ancoragens.

(CARVALHO, 2012, p.14)

A Norma NBR 6118:2014 também apresenta as definições apresentadas dos tipos de protensão.

As definições foram apresentadas para acrescentar que cada uma das três terá maneiras diferentes de se executar. Para os sistemas construtivos híbridos, a ser definido em projeto, o uso da protensão pode ser aplicado diretamente na fábrica (quando utilizados

elementos pré-fabricados), ou então com disponibilidade no canteiro e de equipamentos de elementos pré-moldados.

As principais vantagens da protensão são estruturas:

- Mais leves que as similares em concreto armado (devido ao controle da fissuração);
- Com grande durabilidade, com pequenos custos de manutenção (o controle de fissuração do concreto aumenta a resistência ao ataque de agentes agressivos na armadura);
- Com boa resistência ao fogo;
- Adequadas ao uso da pré-moldagem (devido as características de peso menor e controle de fissuração) e, portanto, com o uso mais eficiente do material concreto;
- Que apresentam menores deformações que as estruturas similares, fletidas, em concreto armado;
- Com maior controle das propriedades dos materiais aço e concreto.

(CARVALHO, 2012, p.26)

As desvantagens são:

- Peso final relativamente alto (comparado às estruturas metálicas e de madeira);
- Necessidade de escoramento e tempo de cura para peças moldadas no local;
- Condutibilidade alta de calor e som;
- Dificuldade, em algumas situações, para execução de reformas;
- Necessidade de colocação de elementos específicos: bainhas, cabos, etc.

(CARVALHO, 2012, p.27)

Uma das grandes aplicações do concreto protendido é a obtenção de grandes vãos. É muito utilizado em pontes com esse propósito.

2.4.3 Uso da protensão em lajes alveolares

No trabalho é abordado um sistema construtivo com o objetivo de aumentar a produtividade e a qualidade da obra de uma maneira geral. E nesse ponto o uso de lajes industrializadas é um grande diferencial. Por oferecer uma solução versátil, é amplamente utilizada em estruturas pré-fabricadas.

É possível dizer que o uso da protensão também é relevante em lajes alveolares na sua aplicação aos sistemas pré-fabricados e, conseqüentemente aos híbridos.

Em PETRUCELLI (2009) é possível verificar que o sistema de lajes alveolares é um dos mais modernos produtos na indústria de concreto pré-fabricado e que é caracterizado pela rapidez de execução e montagem.

A adição da protensão oferece a redução do peso do elemento, assim como a redução na espessura que os alvéolos podem proporcionar.

O processo de fabricação dos painéis é descrito da seguinte maneira em PETRUCELLI (2009):

a) Preparação das pistas, limpeza e aplicação de desmoldante – as lajes são produzidas em pistas que dependem da disposição e espaço na fábrica (Figura 2-35).;

Figura 2-35 - Preparação da pista de protensão



Fonte - PETRUCELLI (2009)

b) Posicionamento dos cabos e protensão – devem ser colocados de acordo com o projeto, e utilizados equipamentos que permitam protender os cabos (Figura 2-36);

Figura 2-36 - Posicionamento dos cabos de protensão*Fonte - PETRUCELLI (2009)*

c) Lançamento do concreto e produção da laje – é feito de maneira contínua com uso de equipamentos específicos e trabalham no sistema de vibração e compactação;

d) Marcação dos painéis (pré-cortes) e possíveis recortes na pista (2-37) – podem apresentar recortes próximos aos pilares, geralmente feitos ainda na pista com o concreto fresco pela maior facilidade, e também com necessidades complementares de modulação;

Figura 2-37 - Recortes do elemento na própria pista de protensão*Fonte - PETRUCELLI (2009)*

e) Endurecimento e cura – pode ser variado (cura a vapor, térmica, com lona);

f) Liberação da protensão e cortes das lajes (Figura 2-38) – está vinculada ao controle de qualidade da empresa previstos em projetos e normas e a demanda da peça;

Figura 2-38 - Corte das lajes na pista de protensão



Fonte - PETRUCELLI (2009)

g) Içamento e estocagem (Figura 2-39) – podem ser içadas e guardadas após o término na pista, mas devem ser respeitados alguns cuidados e evitar períodos muito longos em locais descobertas, o que pode gerar problemas patológicos como fissuras.

Figura 2-39 - Peça sendo levantada para posterior armazenamento

Fonte - PETRUCELLI (2009)

h) Recortes e acabamentos (se necessários) – há situações que são necessários alguns recortes próximos aos pilares que são feitos posteriormente, caso não feito na pista, o que gera um custo adicional e prejudica a qualidade da peça.

3 SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO

O termo híbrido, quando usado na Biologia designa um cruzamento genético entre duas espécies vegetais ou animais distintos, que geralmente não podem ter descendência devido aos seus genes incompatíveis. Esta palavra acaba sendo aplicada para outras áreas de conhecimento para designar produtos obtidos com o aproveitamento de características distintas. Assim, por exemplo, é o caso dos automóveis híbridos que são aqueles que possuem um motor de combustão interna, normalmente a gasolina, e um motor elétrico que permite reduzir o esforço do motor de combustão e assim reduzir os consumos e emissões.

Para WHITTLE e TAYLOR (2009), a procura por maior economia, em termos de custos de materiais e redução do tempo de construção resultou em abordagens inovadoras que procuram combinar materiais de construção e métodos para a melhor situação.

Associando conceitos de unir duas ou mais opções distintas, surgiu o conceito híbrido na construção civil.

3.1 Apresentação Inicial do Sistema

Para GOODCHILD (1995), a construção híbrida de concreto é essencialmente a combinação de concreto moldado no local, com pré-fabricados, aço ou outros materiais. E a partir dessa combinação, mostrar os benefícios de cada material e aproveitá-los para a produção de estruturas e apresentar novas opções para cada projeto. O que oferece estruturas de alta qualidade com performances competitivas.

GOODCHILD (1995) defende, através de exemplos, como a construção de concreto híbrido podem oferecer economia, velocidade, flexibilidade e construtibilidade, além de alta qualidade e aspectos estéticos agradáveis.

Os diferentes materiais na construção híbrida podem trabalhar em conjunto ou independentemente, mas sempre apresentam vantagens sobre o uso de um único material. Hoje, a prática da engenharia, os construtores e os usuários descobriram que a construção híbrida é essencial para encontrar os requerimentos arquitetônicos, fornecendo altos acabamentos de superfície, minimizando grandes pisos estruturais, alcançando melhor sustentabilidade e garantindo construções rápidas, o que se traduz em economias substanciais e melhor qualidade do produto final. Os métodos de construção híbrida variam consideravelmente com o tipo de construção e propósito da edificação.

(VAMBERSKY, 2000, p.175, tradução nossa)

VAMBERSKY (2000), cita que a construção híbrida otimiza as vantagens estruturais e arquitetônicas na combinação de diferentes materiais, mas requer cooperação do arquiteto, engenheiro estrutural, engenheiro de obra, fabricante, fornecedor e contratante.

Com o crescimento do uso da pré-fabricação, houve aumento na eficiência (questão do tempo na obra), redução da atividade no canteiro e conseqüentemente construções mais rápidas e seguras (segurança do trabalhador).

Aliados a esse fator, as empresas e projetistas, para alcançar tais características, buscam através da combinação dos sistemas construtivos melhor construtibilidade e redução total dos custos.

Para GOODCHILD (1995) construção híbrida de concreto não é a solução para todas as dificuldades e situações, mas que deve ser considerada como um quadro de opções básicas para alcançar velocidade e qualidade ao menor custo.

3.2 O Sistema Construtivo Híbrido

Em termos de estruturas de concreto, híbrido significa ‘de mesma origem’, diferentes tipos de concreto – moldado no local, pré-moldado, pós tensionados, protendido, etc. (ELLIOTT, mensagem particular via email).

Dessa maneira, a mistura de dois ou mais sistemas estruturais origina um sistema híbrido, cuja utilização cresceu significativamente nas últimas décadas. O termo de “*Hybrid Concrete Construction (HCC)*” é utilizado predominantemente como sendo a combinação de um sistema de pré-fabricado com um sistema moldado no local (Figura 3-1).

Figura 3-1 - Estrutura em sistema construtivo híbrido

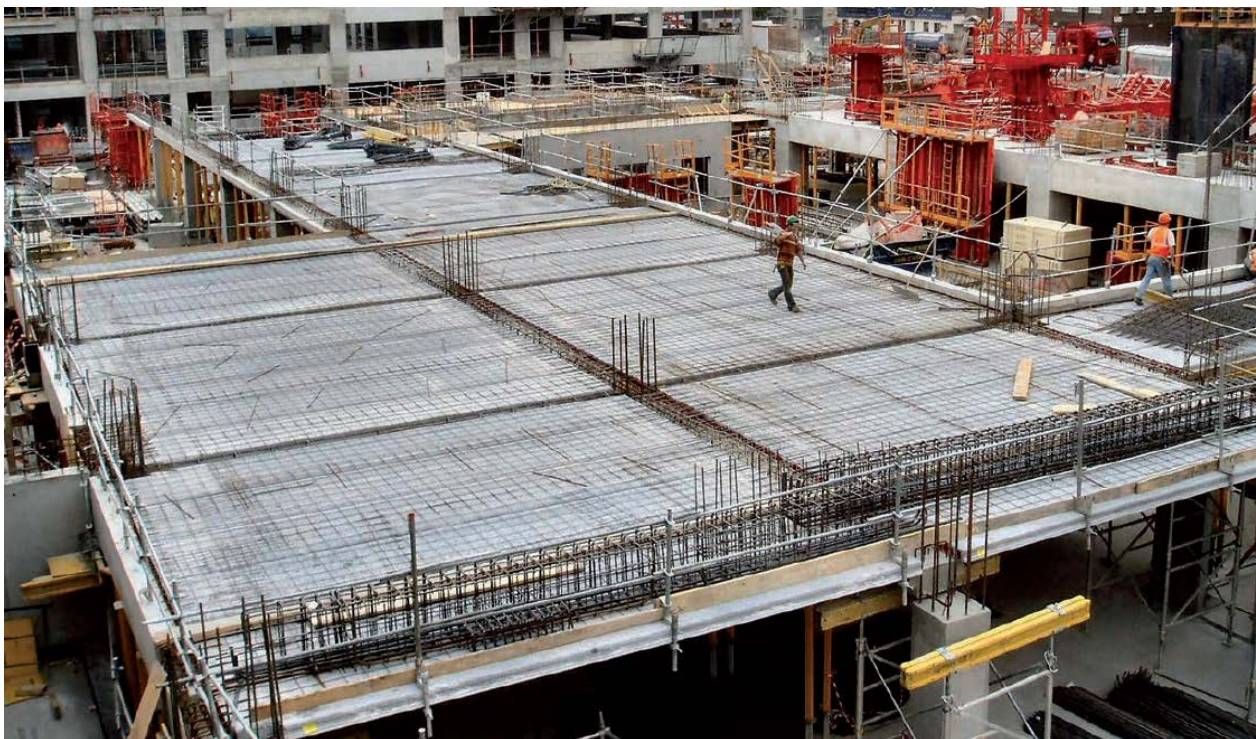


Fonte - <http://www.dubaiprecast.ae/#!hybrid-systems/c1h7g>

O uso intenso de estruturas moldadas no local, com o crescimento de elementos pré-fabricados fez com que o conceito híbrido se integrasse na construção civil unindo dois sistemas estruturais diferentes.

A Figura 3-2 ilustra a união de um sistema híbrido com lajes pré-fabricadas e pilares moldados no local.

Figura 3-2 - Obra no sistema construtivo híbrido com pilares moldados no local



Fonte - WHITTLE, TAYLOR (2009)

A construção híbrida de concreto é desenvolvida de maneira que combine concreto moldado no local com pré-moldado para melhorar os benefícios das duas formas de construção (WHITTLE, TAYLOR, 2009, tradução nossa).

A combinação de pré-moldados com o concreto moldado no local apresenta vários benefícios para edifícios com múltiplos pavimentos. Uma outra solução é a construção híbrida, bastante empregada com a combinação de pilares ou núcleos moldados no local com vigas e lajes em concreto pré-moldado.

(METÁLICA, 2015a)

Pelo potencial real que apresenta no mercado é considerado pelo Concrete Centre como um MMC (Métodos Modernos de Construção).

Segundo o CONCRETE CENTRE (2017), o sistema construtivo híbrido pode responder a demandas dos clientes por redução de custos e maior qualidade, oferecendo estruturas simples e competitivas que oferecem um desempenho consistente e de qualidade.

A união dos dois sistemas construtivos (moldado no local e pré-fabricado) resulta em algumas características que podem ser vantajosas frente ao tipo de edificação a ser executado. Por exemplo, a redução significativa do número de escoras e fôrmas implica grande economia de tempo e dinheiro aplicado, além do número de funcionários envolvidos para tal tarefa. E o mais importante, resulta menor chance do número de acidentes na obra. O fato de executar o pilar moldado no local e não pré-fabricado não retira a eficiência do sistema. A montagem de fôrmas, por exemplo, é muito mais rápida do que as lajes e vigas e envolve menos pessoas envolvidas e menos peças.

Também é possível observar em diversas estruturas encontradas no exterior as variadas opções no conceito do sistema híbrido. Muitas delas incorporam outros materiais e elementos estruturais, como vidro e aço para ter um aspecto visual mais atrativo e diferente. Mas a grande base da estrutura é constituída na combinação dos elementos pré-fabricados com os moldados no local.

3.2.1 Características do sistema

As diversas características apresentadas por diversos autores são apresentadas ao longo do item. São apresentadas as vantagens, os motivos e o propósito do uso deste sistema construtivo.

O porquê de se utilizar construção híbrida de concreto para GOODCHILD e GLASS (2004) é primeiramente para alcançar construções rápidas removendo as operações intensas de trabalho, substituindo-as com produção mecanizada em campos e fábricas.

E isso gera redução de tempo total da edificação. VAMBERSKY (2000) cita que diversos estudos de casos com construção híbrida podem economizar entre 10% e 20% do tempo de construção.

Estruturas híbridas de concreto têm ótimo potencial, desde que suas limitações e requisitos sejam respeitados, já que ao longo da construção da edificação a dificuldade de mudança de projeto vai aumentando, assim como a dificuldade nos procedimentos, ocasionando maior custo e tempo para a tarefa (e muitas vezes pode não ser possível realizar a mudança). Dessa forma, vale ressaltar que o nível de organização, planejamento e detalhamento do projeto deve ser muito bem resolvido a fim de se evitar futuros problemas

(The Concrete Centre, 2008, tradução nossa).

GOODCHILD e GLASS, citam alguns pontos que devem ser levados em questão que servem para garantir competitividade do sistema:

- Custo: individualmente cada material estrutural tem seus méritos, mas há maior benefício em combinar materiais. As vantagens de um material tendem a compensar os inconvenientes dos outros. O custo resultante do quadro total pode parecer maior, mas os custos totais da edificação são muitas vezes menores devido à economia de tempo e da construtibilidade;
- Velocidade: depende do projeto, mas encorajar a velocidade através da construtibilidade é um objetivo fundamental. Sistema construtivo híbrido essencialmente leva o 'serviço' moldado no local para a fábrica, reduzindo o tempo das operações críticas, já que a pré-fabricação não é limitada pelo progresso e condições do local e pode continuar de maneira independente;
- Construtibilidade: é a medida em que o projeto simplifica a construção e elimina o custo desnecessário (sujeitos às exigências do edifício construído). Com isso, o pré-planejamento e as resoluções da construção devem ser muito bem definidas;
- Construção: a tendência é que aconteça de maneira mais rápida, com melhor qualidade e redução da atividade local, já que uma porcentagem elevada do trabalho é feita em fábrica.

(GOODCHILD e GLASS, 2004, p.5-7, tradução nossa)

Para GOODCHILD (1995) podem responder competitivamente as necessidades da economia, segurança, velocidade, qualidade, flexibilidade, durabilidade, aparência, disponibilidades de materiais e métodos de construção preferidos (mais utilizados).

VAMBERSKY afirma que:

- Usando concreto pré-fabricado como material predominante em construção híbrida, as operações no canteiro são consideravelmente reduzidas porque há menos concreto para utilizar, menos componentes estruturais e trabalhos de formas para erguer. Há também menos barulho e perturbação para a comunidade local. Isto resulta em um ambiente mais seguro porque componentes pré-fabricados proporcionam trabalhos em plataformas e a mão de obra fica menos exposta em trabalhos em grandes alturas;

(VAMBERSKY, 2000, p.176, tradução nossa)

BARRETT (2003) aponta alguns critérios para a escolha do sistema baseados em desempenho como: velocidade de construção, segurança (maior envolvimento de todos nos processos e canteiro), integração maior e construtibilidade.

O uso do sistema construtivo híbrido está fortemente atrelado ao uso de elementos pré-fabricados. A principal atenção que deve ser dada a esse tipo de sistema construtivo são as juntas e ligações das peças envolvidas e as fases transitórias. A combinação com elementos moldados no local faz com que uma nova diversidade de opções possa ser aberta. Alguns cuidados devem ser respeitados para que a combinação funcione de maneira que se obtenham as melhores características de cada sistema.

Este tipo de sistema construtivo também tem a vantagem de se colocar capas em lajes e massas de assentamento para um perfeito apoio de elementos (caso de lajes alveolares apoiadas em vigas protendidas com contra flecha). Portanto, é um outro exemplo de como a pré-fabricação e a moldagem no local podem se beneficiar atuando juntas (no caso, melhorando a construtibilidade).

Deve ser feita uma ressalva à edifícios que, dependendo do número de pavimentos e da planta da edificação, algum elemento de enrijecimento frente aos efeitos das cargas horizontais deve ser pensado. Esses elementos são núcleos verticais de circulação, que podem ser projetados para garantir um comportamento adequado frente a estas solicitações. E para isso, na etapa de projeto os detalhes devem ser completamente resolvidos.

O uso de concreto pré-fabricado e protendido, por exemplo, está relacionado a uma maneira de construir econômica, durável, estruturalmente segura, com versatilidade arquitetônica, limpa e rápida. Muitas vezes, tais processos industrializados são vistos apenas como variações de construções em concreto moldado no local.

Em um sistema construtivo híbrido, a ideia é se usar as vantagens de cada um dos sistemas, o pré-fabricado e o moldado no local, e procurar usá-los em uma mesma edificação mantendo as principais vantagens de um e do outro. Neste caso, do uso de pré-fabricado, é preciso considerar também a questão de investimento inicial, que costuma ter um valor alto (construção de pistas, equipamentos de protensão, etc.) e o fator escala. Pode-se pensar, também, em se usar o mercado já instalado.

As peças são encomendadas de empresas especializadas assim o custo de amortização é diluído com outras obras “convencionais” de pré-fabricação. Isto se dá porque a maioria de fábricas de pré-fabricados no Brasil seguem um modelo aberto de construção, ou seja, é possível, combinar peças de uma e outra empresa (lajes e vigas por exemplo).

3.2.2 A concepção do sistema híbrido no Brasil

No Brasil, o sistema construtivo híbrido ainda gera discussão desde a concepção até a aplicação ou não. No exterior, este tipo de conceito é aplicado de maneira mais ampla, para se obter vãos maiores e construções mais esbeltas (quando comparadas às estruturas convencionais), por exemplo. No Brasil, a resistência para este tipo de solução trava a diversidade nas soluções que podem ser elaboradas.

Apesar da possível dificuldade inicial (falta de conhecimento amplo e mais casos como opções reais nos canteiros), já existem edificações feitas com sistema construtivo híbrido no país (Figura 3-3).

Figura 3-3 - Edifício no Brasil com sistema construtivo híbrido



Fonte - Arquivo pessoal professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira¹

Ou seja, o fato de existir construções com sistema construtivo híbrido significa que é possível ser feito. A questão é entender o porquê não é muito difundido. Seja por falta de recursos (financeiros, material, mão de obra qualificada) ou conservadorismo, muitas soluções poderiam ser pensadas e executadas, refletindo em maiores opções para as edificações no Brasil.

Um dos entraves, por exemplo, é o local do empreendimento. O custo do transporte das peças pode deixar os elementos inviáveis. Outro possível gargalo é o deslocamento dos grandes equipamentos utilizados para ajudar na montagem das peças, que também devido à distância do local da obra pode aumentar muito o custo, além da necessidade de tê-los à disposição durante a execução.

Como resultado inicial de algumas visitas em canteiros de obra, pode-se perceber certa desconfiança na aplicação do sistema. Desconfiança relacionada ao desempenho, à velocidade

¹ Documento fotográfico cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira via pen drive

de execução e o próprio custo envolvido nas operações, inclusive no maquinário a ser utilizado. Os fabricantes/engenheiros do concreto moldado no local questionam a qualidade dos elementos e o custo envolvido para se adicionar um guindaste, por exemplo. Por outro lado, os fabricantes/engenheiros do pré-fabricado questionam a velocidade de execução, que para ser equivalente deve ser contratado um número muito alto de funcionários. O que seria inviável e sem espaço no canteiro, na visão deles, além de não ser mais rápido que o pré-fabricado.

A Figura 3-4 apresenta um sistema híbrido com núcleo rígido moldado no local e pré-fabricação (pilares, vigas e lajes) em um canteiro de obras com espaço reduzido.

Figura 3-4 - Sistema construtivo híbrido com núcleo rígido moldado no local



Fonte - Próprio autor

A ideia inicial apresentada no trabalho é mostrar que o sistema construtivo híbrido não tem finalidade de ser mais rápido construtivamente e sim ser um intermediário entre o pré-fabricado e o moldado no local. Ser um sistema melhor industrializado do que o moldado no local e com custo menor do que o pré-fabricado (sem deixar a qualidade diminuir). E também se apresentar como uma opção a mais de projeto a ser levado em conta.

O que se tem de mais usual para estruturas híbridas são:

- Pilar moldado no local (com vigas e lajes pré-fabricadas);
- Núcleo rígido moldado no local (com pilares, vigas e lajes pré-fabricadas);
- Algumas ligações que tem a finalidade de emular um sistema monolítico para pré-fabricados.

Outra grande preocupação dos profissionais com relação ao uso do sistema construtivo híbrido é a sistemas envolvidos. Os pré-fabricados tem uma margem de erro pequena na montagem na obra. Pequenos desvios podem vir a fazer a peça não encaixar conforme foi planejada. Isso pode gerar a necessidade de adaptações que fazem o sistema perder a característica industrializada que possui.

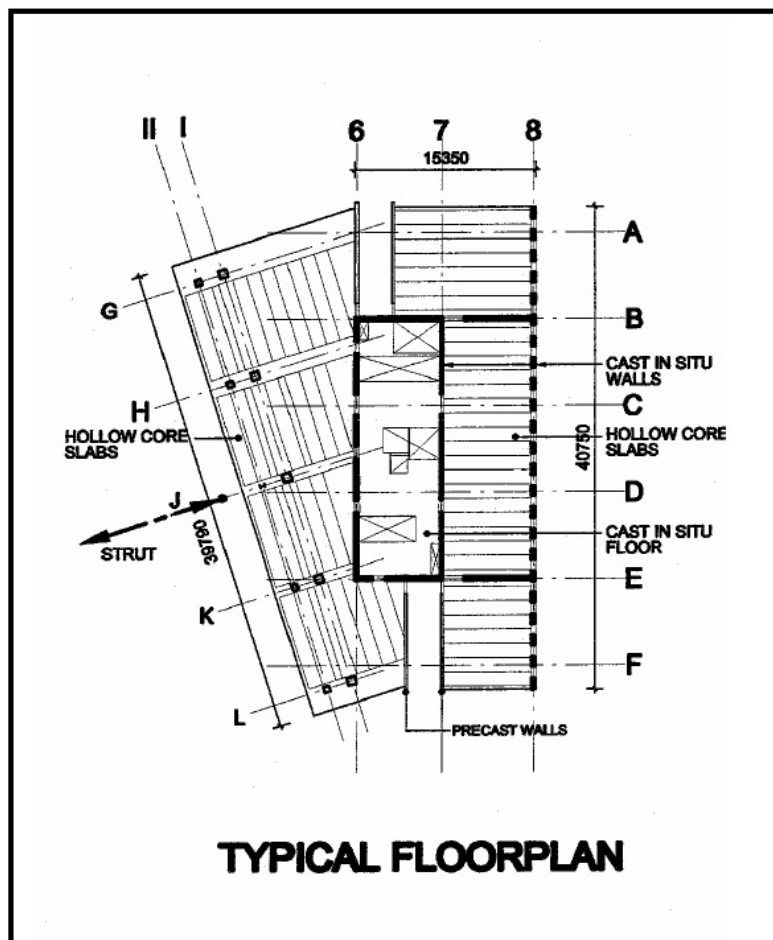
3.2.3 Opções construtivas

Cada situação pode necessitar um conjunto de soluções que vão desde o estudo do solo em questão quanto à exposição atmosférica (maresia, por exemplo).

Independente de qual seja o propósito e a localização da estrutura, combinar as características de cada sistema estrutural abre novas opções para sua viabilidade financeira até construtiva.

A Figura 3-5 apresenta o conceito de projeto de um edifício combinando elementos moldados no local e pré-fabricados. Na situação da figura, as lajes são alveolares com núcleo rígido, pilares e vigas moldados no local.

Figura 3-5 - Situação de projeto de uma estrutura em sistema construtivo híbrido



Fonte - VAMBERSKY (2004)

No exemplo apresentado, VAMBERSKY (2004) cita as duas opções do projeto:

Alternativa 1 – A seção vertical do edifício com núcleo moldado no local, painéis resistentes e lajes alveolares protendidas. A parte inclinada do edifício sendo feita com aço estrutural com pavimentos em aço composto (“*composite steel concrete floors*”)

Alternativa 2 – A seção vertical do edifício com núcleo moldado no local, painéis resistentes e laje alveolar protendida. A parte inclinada do edifício sendo feita com dois altos andares de pilar pré-fabricado e vigas compostas de concreto pré-fabricado com comportamento de lajes alveolares protendidas (“*composite precast concrete beams bearing precast prestressed hollow core slabs*”).

(VAMBERSKY, 2004, p.7, tradução nossa)

Ou seja, a adição de mais um elemento estrutural aumentou a possibilidade de viabilização do projeto. Na Figura 3-6 é mostrada a solução escolhida.

Figura 3-6 - Opção construtivo adotada para edificação no sistema construtivo híbrido



Fonte - VAMBERSKY (2004)

Outro exemplo que pode ser comentado é a utilização dos elementos pré-fabricados. Um dos grandes entraves pode ser o transporte e o levantamento dos elementos. Pela localização da obra e o esquema do canteiro isso pode inviabilizar ou encarecer muito o custo final, como já comentado anteriormente. Isso aconteceria no caso de peças muito grandes. Lajes e vigas com até seis metros não teriam tal transtorno.

A solução híbrida nesse caso poderia diminuir os dois complicadores: redução do equipamento de grande porte do transporte e do içamento dos elementos, sendo substituído por outro menor. Além disso, o fato de não necessitar transportar os pilares e fazer a montagem no local contribui e muito com relação ao exemplo citado (Figura 3-7).

Figura 3-7 - Estrutura híbrida com opção de elementos moldados no próprio canteiro



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)²

Existem algumas possibilidades com relação ao elemento utilizado. Fazer a pré-moldagem das lajes, das vigas, dos pilares e a combinação entre eles depende da necessidade do projeto.

Algumas combinações são:

² Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

- Pilares moldado no local + vigas e lajes pré-fabricadas (Figura 3-8);

Figura 3-8 - Sistema com pilares moldados no local e lajes e vigas pré-fabricadas



Fonte - CASSOL³

- Pilares moldado no local + vigas e lajes pré-moldadas (Figura 3-9);

Figura 3-9 - Sistema com pilares moldados no local e lajes e vigas pré-moldadas no canteiro



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)⁴

³ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira via pen drive

⁴ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

- Pilares e vigas moldados no local + laje pré-fabricada (Figura 3-10);

Figura 3-10 - Sistema com pilares e vigas moldados no local e laje pré-fabricada



Fonte - <http://pt.slideshare.net/Armtectld/precast-prestressed-hollowcore-slabs-seminar-armtec>

- Pilares e lajes moldados no local + viga pré-moldada (Figura 3-11);

Figura 3-11 - Sistema com pilares e lajes moldados no local e viga pré-moldada



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)⁵

⁵ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

A variação pode ser ampla e se adequar a localização do empreendimento. O espaço no canteiro é importante para o tipo de utilização. Ele pode ser montado como local de pré-moldagem dos elementos (Figura 3-12).

Figura 3-12 - Pré-moldagem no canteiro de obras



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)⁶

As opções de construção de cada empreendimento são aumentadas com o uso do sistema construtivo híbrido. Isso abre novas possibilidades de economia e de acabamento dos elementos.

Há outros fatores que são decisivos na escolha de um projeto: mão de obra, materiais envolvidos e tempo de execução; além das fôrmas e escoramentos no caso da escolha de um sistema construtivo.

⁶ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

3.2.4 Fôrmas e escoramentos

Outro grande entrave no canteiro de obras em moldado no local é a quantidade alta de fôrmas e escoramentos. Como pode ser visto na Figura 3-13 o número elevado de escoras inviabiliza qualquer trabalho no pavimento inferior, além de dificultar a passagem de pessoas e equipamentos.

Figura 3-13 - Alta quantidade de escoramentos impossibilitando trabalhos no pavimento



Fonte - Próprio autor

O sistema de fôrmas e escoramentos agrega grande custo ao empreendimento, tendo em vista que é um dos mais desperdiçados e mais custosos do processo de execução. Em muitas obras é possível ver a vida útil do jogo de fôrmas reduzido de maneira drástica por mau uso e estocagem.

Também é necessário dizer que é importante o projeto que define o posicionamento e a retirada das fôrmas e escoramentos.

Nos sistemas construtivos híbridos é possível reduzir esse número significativamente. Além disso, há a possibilidade de execução de outros serviços no pavimento inferior devido à essa redução, o que a maioria das vezes não é possível.

A redução da quantidade desse elemento abre outra possibilidade de economia frente aos sistemas moldados no local.

Em uma etapa de projeto, a quantidade de peças feitas no canteiro interfere diretamente no número de escoramentos e fôrmas, principalmente no local final das mesmas. Há a possibilidade de se fazer pré-moldagem no canteiro ou trazer elementos de uma fábrica, por exemplo. Muitas empresas consultadas veem essa característica como a principal do sistema pela possibilidade de redução dos escoramentos, possibilitando outros serviços nos pavimentos inferiores. Dessa maneira é um item que acaba tendo maior importância na fase de projeto do empreendimento.

3.2.5 Características gerais do custo da estrutura

Há diversos tipos de custos para se determinar um determinado produto ou empreendimento: mão de obra, materiais, equipamentos, dentre outros. Devido à grande complexidade do tema, há diversos autores e temas de pesquisa sobre o assunto que vão desde o projeto até o cliente final da edificação, como por exemplo MARCHIORI (2009) e GONÇALVES e MELHADO (2011).

As dificuldades para se elaborar o custo real ou mais aproximado de um empreendimento esbarra em diversos fatores como a falta de precisão, a falta de pontualidade e periodicidades das informações de custo dentre outros apontados em MARCHIORI (2009).

Um exemplo que faz o custo do pré-fabricado ser mais preciso em relação ao moldado no local pode ser adaptado de MARCHIORI (2009):

- O orçamentista deveria consultar mais o departamento de suprimentos na época das cotações orçamentárias e deixar uma folga maior em alguns itens do orçamento que têm seus preços mais oscilantes;
-

- Considerar os custos referentes aos equipamentos utilizados na execução do serviço, levando-se em conta os tempos produtivos e improdutivo.

(MARCHIORI, 2009, p.34-35)

O orçamento de uma estrutura pré-fabricada por ser mais rápida tem a necessidade de insumos de maneira mais imediata, sofrendo menos a ação de juros e inflação do mercado financeiro do que uma estrutura moldada no local prevista para três anos por exemplo. Com o cronograma mais preciso, é possível deixar uma folga para a compra dos materiais a serem utilizados buscando o melhor preço. O que requer boa interação entre os projetos e as pessoas envolvidas.

Já no concreto armado, muitas vezes acaba acontecendo o contrário. O planejamento inicial é um valor, mas a obra final é outro. Um dos motivos é o fato do material ser adquirido muito próximo à data de uso, o que nem sempre está na melhor cotação. Além disso, deve ser considerado o fato de, caso o material não seja comprado para a obra, a mão de obra fique ociosa no canteiro, aumentando o cronograma e o custo total do empreendimento, além de atrasar etapas posteriores.

Além da construção da edificação há o empreendimento imobiliário que agrega valor ao custo total. É possível ver uma estimativa na Figura 3-14.

Figura 3-14 - Custo em um empreendimento imobiliário

COMPOSIÇÃO DO PREÇO DE VENDA <i>Empreendimento Imobiliário</i>	
Preço do terreno	25% a 35%
Custo de construção	40% a 50%
Despesas financeiras	5% a 10%
Despesas de vendas e publicidade	10% a 15%
Margem bruta	15% a 20%

Fonte - GONÇALVES e MELHADO (2011)

Dessa maneira é possível ver que há diversos fatores que influenciam, mas que há tantas variáveis que é preciso escolher um tema e fazer um estudo.

Um fator que interfere diretamente nesta escolha é o equipamento a ser utilizado. Em edificações em concreto pré-fabricado há a necessidade de equipamentos de grande porte, como guias e guindastes, para o içamento e transporte dos elementos. Quanto maior o porte da peça, maior o equipamento necessário para a tarefa, maior o seu preço.

Além do valor do aluguel (ou compra) do equipamento, há a necessidade de ser contada a produtividade aplicada a ele. Uma grua ociosa gera um custo considerável para o empreendimento. Outro exemplo é o transporte desse maquinário até o local de utilização.

Em MARCHIORI (2009) é possível ver que há uma preocupação para que seja possível definir uma postura de cálculo para o custo horário dos equipamentos levando-se em conta sua eficiência, de forma coerente com o nível de utilização e ociosidade dos mesmos na execução dos serviços em obra.

Por outro lado, a mão de obra também tem representação na escolha do sistema construtivo. Muitas empresas acabam optando por trabalhar com pré-fabricados devido ao custo referente aos funcionários, principalmente com relação aos impostos, encargos sociais e a ociosidade.

3.2.6 Mão de obra

O tópico está inserido em características de projeto por alguns motivos que vão de operacional ao de viabilização.

Mas antes é necessário que algumas definições e ideias sobre o assunto mão de obra sejam apresentados de maneira geral.

A construção civil passa por processo de profissionalização em todas as áreas, seja no projeto, nos sistemas adotados, as técnicas construtivas e de materiais empregados. Mas a maioria das vezes esse avanço acaba sendo limitado pela qualidade da mão de obra empregada. A alta rotatividade e a baixa qualificação dos profissionais utilizadas em etapas críticas do projeto pode levar a grandes atrasos, prejuízos financeiros e até patologias.

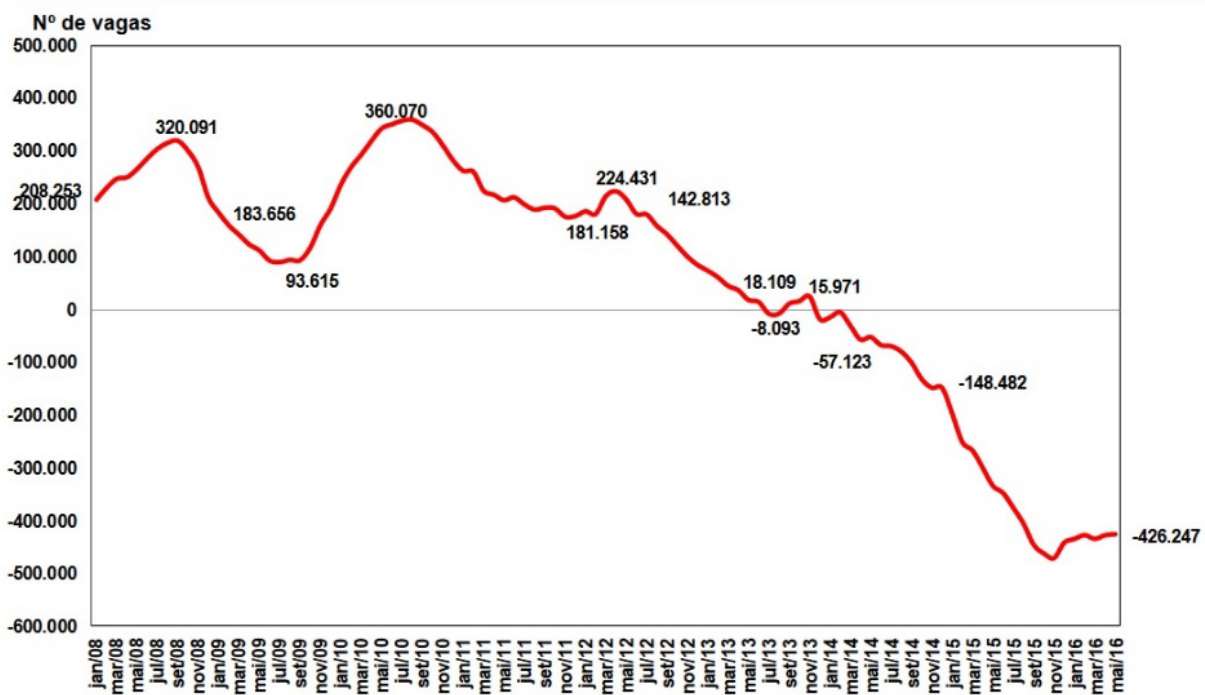
A deficiência na qualificação dos profissionais da construção civil constitui um dos principais fatores que impedem a melhoria da qualidade e produtividade do setor. A rotatividade inerente à contratação de mão de obra também desestimula o setor privado na realização de investimentos mais significativos na capacitação de sua força de trabalho, mesmo sendo este setor um dos maiores empregadores diretos do país.

(http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_formacao.php)

O foco da discussão no trabalho é apresentar a situação da mão de obra e como ela compõe o custo global do empreendimento.

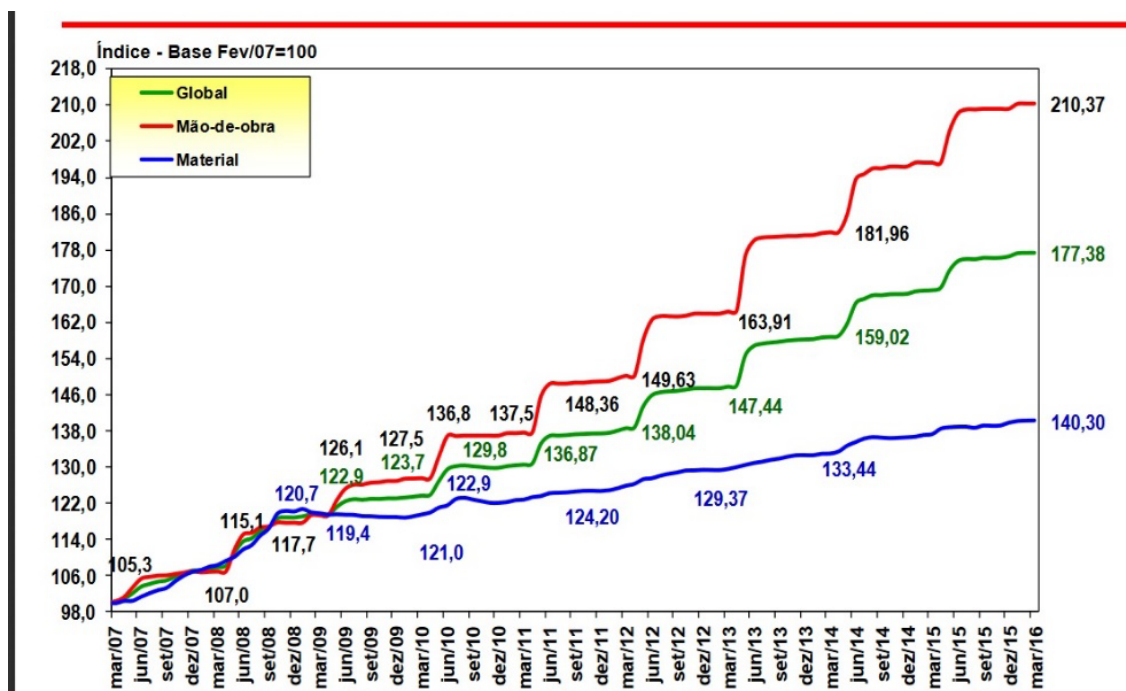
Para se ter uma ideia da situação na construção civil se apresentam as Figuras 3-15 e 3-16.

Figura 3-15 - Evolução da geração líquida de emprego formal na construção civil - acumulado em 12 meses - 2008-2015



Fonte – BRADESCO (2016)

Figura 3-16 - Evolução do custo da construção no Estado de São Paulo - Padrão H8-2N - 2007-2016



Fonte – BRADESCO (2016)

Diante desse cenário que demonstra diminuição da geração de empregos na construção civil e ao mesmo tempo um aumento no custo, muitas obras acabam sendo inviabilizadas por diversos motivos (encargos sociais e processos trabalhistas na maioria dos casos).

O dado apresentado na Figura 3-17 mostra como a mão de obra pode influenciar no custo de uma edificação.

Figura 3-17 - Custo unitário básico no Estado de São Paulo - em reais por metro quadrado (Dez/2003)

CUB	R\$/m ²	Participação
Global	1099,57	100,0%
Mão-de-obra*	634,00	57,7%
Material	430,74	39,2%
Despesas administrativas	34,83	3,2%

(*) Inclui encargos sociais

Fonte – BRADESCO (2016)

A partir dos dados apresentados é possível entender o motivo de muitas empresas aderirem a um processo mais industrializado como os pré-fabricados, tendo um custo inicial maior, mas com tempo de retorno mais curto e redução drástica de trabalhadores em canteiros de obra.

Diante das profundas mudanças na conjuntura setorial, as empresas construtoras vêm sendo pressionadas a alterarem seus processos de produção no sentido de reduzir custos e adequar a realidade dos produtos ofertados às condições de mercado.

(MELHADO, 2001, p.6)

As características e dados apresentados mostram que cada vez a mão de obra tem mais impacto no custo global do empreendimento.

Há empresas consultadas que preferem utilizar sistema construtivo pré-fabricado ao moldado no local devido aos custos inerentes à mão de obra e todos os encargos trazidos com ela. E as mesmas ainda relatam que tal situação é apresentada e calculada financeiramente ainda na etapa do projeto. Há o estudo de qual sistema é mais adequado para o empreendimento, após isso o projeto e os custos são computados juntamente com a mão de obra necessária para a execução do projeto. As pessoas consultadas relatam que apesar da industrialização elevar o valor final do produto, é preferível isso a ter problemas com encargos sociais e processos trabalhistas, além de atrasos frequentes.

Pensando dessa maneira, nos sistemas construtivos híbridos, o conceito de mão de obra nas estruturas moldadas no local sofre um grande impacto. Não há a necessidade de se ter uma equipe de trabalho numerosa. O grande número de funcionários para as etapas de montagem das fôrmas, no posicionamento das armaduras e na concretagem é substituída por elementos em fábrica, ou até mesmo pela moldagem em outra área do canteiro.

A pré-fabricação trabalha com um número de funcionários bem menor no canteiro de obras, já que existe praticamente só uma equipe de montagem da estrutura.

Pensando na concepção do projeto do empreendimento, o sistema construtivo híbrido se torna uma opção intermediária frente aos dois sistemas descritos. Isso porque há a redução

da quantidade de trabalhadores para os serviços e a redução de valor de elementos industrializados com transporte e montagem (tendo em vista que serão menos elementos a serem transportados e muitas vezes utilizados de menor porte).

Há outra situação que diminui a mão de obra necessária no empreendimento que é relacionado ao uso do tipo de concreto utilizado na estrutura, o que no caso do sistema híbrido é o auto adensável.

3.2.7 Concreto auto adensável

A grande base do sistema construtivo híbrido de concreto é a união do sistema moldado no local com o sistema pré-fabricado. Ao se projetar um sistema híbrido as características das duas partes envolvidas são incorporadas ao todo. As vantagens e as desvantagens de cada parte também prevalecem.

O empreendimento a ser desenvolvido do ponto de vista da mão de obra por exemplo, a princípio pode parecer mais viável (utilizar uma determinada quantidade de operários) a comprar/alugar determinado tipo de equipamentos. Mas o custo global deve ser relevante para tal base: velocidade de execução dos elementos e tempo reduzido do total do empreendimento podem ser fatores que façam valer a escolha dos equipamentos. Mas isso deve ser analisado de maneira global e não isolada. O exemplo serve para ilustrar e alertar que se as condições de racionalização e industrialização dos sistemas não forem compatíveis e atendidas, o sistema pode vir a ser inviável e provavelmente terá um custo maior.

Um dos pontos que podem ser discutidos que definem a industrialização do empreendimento é o tipo de concreto a ser utilizado.

Vários fatores são determinantes para a escolha mais adequada do material para cada situação: tempo de execução da obra, espaço disponível no canteiro, quantidade de escoramentos e fôrmas utilizados, equipamentos disponíveis, dentre outros. Tudo isso só é possível com uma etapa de projeto com muitos detalhes para se evitar ao máximo possíveis improvisações e dúvidas relacionadas ao processo executivo.

Os tipos de concreto a serem utilizados em um empreendimento variam de diversas maneiras: disponibilidade de material, confiabilidade nos produtores locais (seja na fabricação

do material quanto à procedência dos insumos), transporte, necessidade de equipamento para o lançamento, dentre outros.

O surgimento do concreto mais fluido, para ser bombeado ou projetado, não é novidade. No entanto, atualmente, o uso de bombas que ocupem pouco espaço, associado à redução de mão de obra para espalhamento, fazem do concreto bombeável uma das maiores apostas para a evolução do material. São indícios desse encaminhamento os investimentos no concreto auto adensável, que conta com a mobilização da ABNT para desenvolvimento da norma específica

(TÉCHNE, 2008).

O concreto auto adensável (Figura 3-18) foi desenvolvido no Japão, dentre outras explicações, com o intuito de melhorar as condições de durabilidade das construções em concreto armado. A princípio se tinha dois obstáculos a superar: a viscosidade do concreto que impedia a eliminação de bolhas de ar e o adensamento e a compactação em áreas com alta densidade de armadura. Desta maneira o trabalho de desenvolvimento foi baseado, na trabalhabilidade do material.

Figura 3-18 - Concreto auto adensável



Fonte - <http://www.abesc.org.br/tecnologias/concreto-auto-adensavel.html>

Capítulo 3 – Sistema Construtivo Híbrido

A principal característica é que o concreto auto adensável possa fluir de maneira que as armaduras e os espaços vazios nas fôrmas possam ser preenchidos sem equipamentos de vibração (como vibrador de imersão, por exemplo - Figura 3-19).

Figura 3-19 - Lançamento do concreto auto adensável, não há a necessidade do uso de vibradores de imersão



Fonte - <http://www.nickavoltz.com/2012/08/caa-concreto-auto-adensavel-o-processo.html>

A fluidez é a capacidade de o concreto escoar preenchendo todos os espaços. Já a estabilidade, é a capacidade que possui para se manter coeso e homogêneo após ter fluído ao longo das fôrmas.

As principais propriedades do concreto auto adensável no estado fresco incluem a deformabilidade (pode-se traduzir como a trabalhabilidade), a resistência a segregação, a habilidade de passagem e a velocidade de fluidez. Assim uma boa resistência a segregação significa uma boa distribuição de partículas de modo idêntico em todos os locais da mistura; uma boa habilidade de passagem significa que o concreto não sofrerá bloqueio ou obstruções quando fluir pelas armaduras existentes.

(ALMEIDA FILHO, 2006, p.8-9)

As principais vantagens deste material são:

- Redução do custo de aplicação por metro cúbico de concreto;
- Garantia de bom acabamento em concreto aparente;

- Permite bombeamento em grandes distâncias horizontais e verticais com maior velocidade;
- Otimização da mão de obra;
- Maior rapidez de execução da obra;
- Melhoria nas condições de segurança da obra;
- Eliminação do ruído provocado pelo vibrador;
- Significativa redução nas atividades de espalhamento e de vibração;
- Permite a concretagem sem adensamento em regiões com alta densidade de armadura;
- Aumento das possibilidades de trabalho com fôrmas de pequenas dimensões;
- Redução do custo final da obra em comparação ao sistema de concretagem convencional;
- Acelera o lançamento do concreto na estrutura, permitindo concretagens mais rápidas;
- Redução da mão de obra do canteiro;
- Aumento da durabilidade devido à redução de defeitos de concretagem;
- Aumento da durabilidade das fôrmas;
- Antecipação das operações de cura;
- Facilidade no nivelamento da laje.

Algumas desvantagens são:

- Aumento da quantidade de finos (cimento ou adições minerais) exigindo cuidado maior na cura;
- Maior surgimento de fissuras por retração do concreto no momento da pega e endurecimento;
- Custo elevado do material;
- Não é possível aplicar em qualquer tipo de superfície;
- Maior risco de segregação;
- Menor tempo disponível para a aplicação em relação ao concreto convencional.

As estruturas híbridas exigem alto nível de industrialização para serem concebidas de maneira competitiva frente a outros sistemas e são ótimas para aplicação deste material.

Enquanto no concreto usinado se tem um grande número de funcionários para o lançamento, espalhamento, adensamento e nivelamento, o auto adensável dispensa o número excessivo de operários (se comparados um com outro).

A redução considerável de pessoas trabalhando nesta etapa elimina consideravelmente o custo com mão de obra envolvida. Na Europa por exemplo, o número de empregados é determinante no custo do empreendimento. Ao se utilizar o concreto auto adensável, grande parte dos funcionários são reduzidos, e por consequência o custo decresce consideravelmente. No Brasil a falta de visão global do empreendimento faz com que esta visão de redução (custo/funcionário/equipamento/material) seja distorcida muitas vezes.

Com a intenção de se elevar ao máximo a produtividade do sistema construtivo, o concreto auto adensável é muito superior ao concreto usinado tradicional. Muitas vezes o sistema pode apresentar alta concentração de armadura na ligação pilar x viga que necessita de um cuidado especial. O adensamento muitas vezes pode ser prejudicado por diversos motivos, como por exemplo concentração de armadura, e o uso de concreto auto adensável pode ser uma opção melhor nesta situação para garantir melhor preenchimento do material e envolvimento das armaduras.

3.2.8 Considerações

É possível perceber o potencial que o sistema construtivo híbrido possui. As características que englobam o conceito são interessantes para o mercado da construção civil devido à diversos fatores: velocidade de execução da estrutura; redução considerável da mão de obra; melhor aproveitamento dos materiais; menor despejo de dejetos no meio ambiente; diminuição do risco de acidentes na obra; dentre outros aspectos.

A maior liberdade na escolha do layout faz com que o uso da pré-fabricação tenha melhor desempenho e possibilite novas opções e formas.

Com as características apresentadas é notável o porquê o sistema construtivo híbrido tem grandes chances de se tornar muito importante na indústria da construção civil, trazendo estruturas com maior eficiência construtiva (redução no consumo de material, velocidade e

qualidade no acabamento e desempenho) e com redução de custo se comparadas ao pré-fabricado tradicional.

3.3 Ciclo de Execução

A primeira definição a ser feita na concepção é se haverá produtos feitos em fábrica ou se serão pré-moldados no próprio canteiro. Vários fatores devem ser levados em conta nesta fase, como o local da obra por exemplo, implicando diretamente nos elementos feitos, assim como seu transporte e equipamentos, além da montagem.

São apresentados dois casos distintos um com elementos pré-moldados no próprio canteiro e outro com transporte de peças vindas de fábrica.

3.3.1 Caso 1 – Pré-moldagem no canteiro de obras

Com a opção de pré-moldagem na obra, um pórtico é montado para auxiliar na confecção das peças conforme mostra a Figura 3-20.

Figura 3-20 - Montagem de pórtico no próprio canteiro



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)⁷

Caso seja escolhido os produtos em fábrica, não haverá essa opção de montagem de pórticos para auxílio (o que não é obrigatório, é apenas uma maneira de facilitar o serviço).

a) Pilares

Os serviços de montagem para os pilares se iniciam. É montado todo o gabarito e as fôrmas para a concretagem.

Os procedimentos já foram apresentados no ciclo de execução do sistema moldado no local e se repetem no híbrido.

b) Vigas

Dependendo do cronograma e do projeto, as opções dessa etapa podem variar.

⁷ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

As opções são moldar no canteiro ou transportar de fábrica. Independente de qual seja a escolha, os serviços podem acontecer simultaneamente (ou até antes, de preferência) à montagem de fôrmas e escoramentos dos pilares.

No caso de moldar no canteiro, os serviços são realizados em uma área destinada à tarefa, com a montagem das fôrmas e armaduras, conforme mostra as Figuras 3-21 e 3-22.

Figura 3-21 - Montagem das fôrmas para pré-moldagem no canteiro



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)⁸

Figura 3-22 - Posicionamento da armadura nas fôrmas para pré-moldagem das vigas



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)⁹

^{8,9} Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

Após o término, as peças (já devidamente curadas e prontas para o uso) são içadas e posicionadas no local definitivo com o auxílio de equipamentos próprios para a tarefa, conforme Figuras 3-23 e 3-24.

Figura 3-23 - Içamento da viga pré-moldada



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)¹⁰

Figura 3-24 - Posicionamento da viga no local definitivo



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)¹¹

^{10,11} Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

c) Lajes

Nesse elemento há também a opção de se optar por moldar no canteiro ou levar o produto de fábrica. Paralelamente aos serviços descritos anteriormente, as lajes são feitas nos mesmos moldes da pré-moldagem em canteiro das vigas. Em uma área destinada à tarefa, o processo se inicia com os moldes das placas de laje a serem utilizados e as armaduras conforme ilustra a Figura 3-25.

Figura 3-25 - Pré-moldagem das lajes no canteiro



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)¹²

Após a finalização, as lajes são içadas e posicionadas no local definitivo da estrutura conforme mostra a Figura 3-26.

¹² Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

Figura 3-26 - Posicionamento das lajes no local definitivo



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)¹³

d) Capa de concreto

Terminados os serviços de pilares, vigas e lajes, é iniciado o processo de capeamento e solidarização das lajes, conforme mostra a Figura 3-27.

Figura 3-27 - Capeamento das lajes



Fonte - PEDREIRA DE FREITAS (2013)¹⁴

^{13,14} Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente por Fabricio Tomo da Pedreira de Freitas via pen drive

O processo é semelhante ao capeamento do sistema pré-fabricado.

Finalizada a tarefa (com os devidos cuidados de cura), o ciclo se reinicia com a montagem das fôrmas para a execução dos pilares.

A grande diferença que se apresenta é que, em muitas obras de pré-fabricados, os pilares são feitos em fábrica e normalmente são projetados para um maior número de pavimentos.

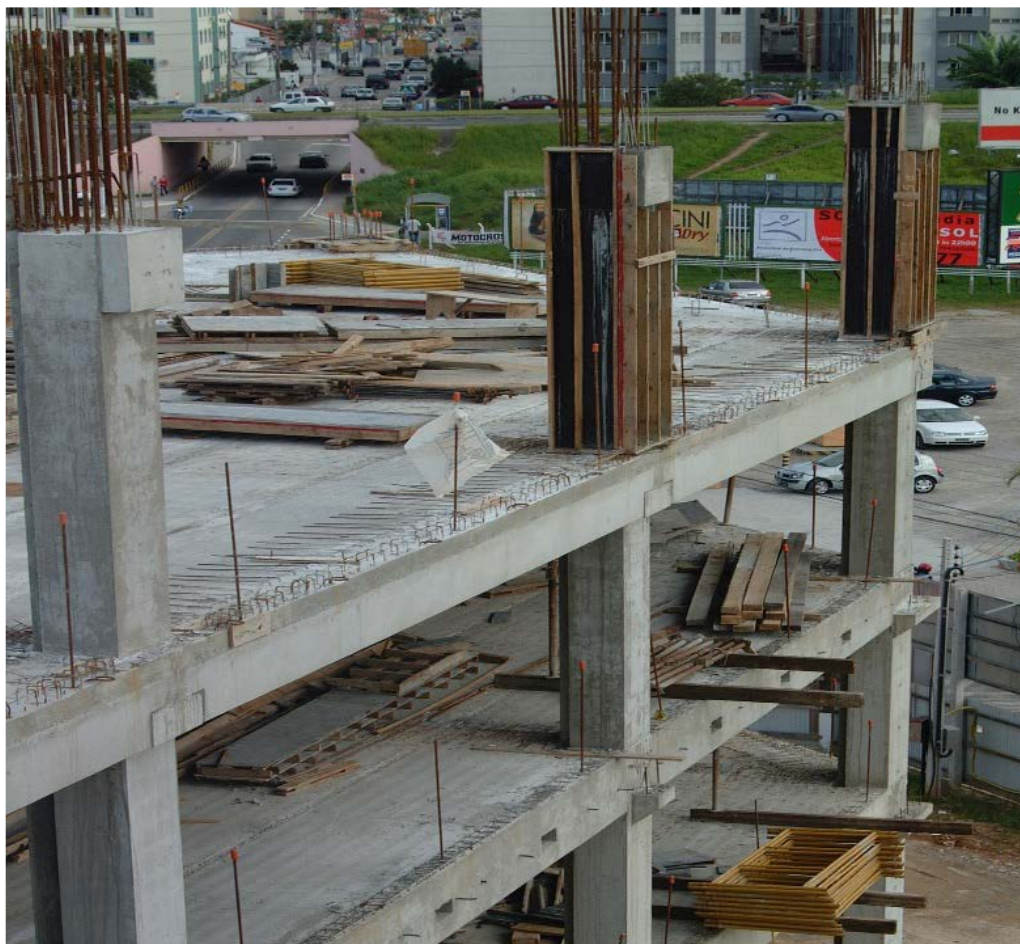
3.3.2 Caso 2 – Pré-moldagem em fábrica

Com a escolha de um projeto com lajes e vigas feitos em fábrica começam as atividades da montagem dos pilares.

a) Pilares

O processo de montagem das armaduras e fôrmas dos pilares segue o padrão das estruturas moldadas no local conforme é possível ver na Figura 3-28.

Figura 3-28 - Sistema construtivo híbrido com pilares moldados no local e lajes e vigas pré-fabricadas



Fonte - CASSOL¹⁵

Enquanto os serviços são executados, o cronograma da obra deve estar em sincronia com a fábrica para que as peças cheguem ao local no tempo certo e que não ocorram atrasos. A montagem dos pilares também deve estar com o calendário em dia para não atrapalhar a chegada e montagem dos elementos.

b) Vigas

Após o término das peças feitas em fábrica, elas são transportadas ao local definitivo de uso e começam a ser posicionadas através de grua, conforme é possível verificar na Figura 3-29.

¹⁵ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira via pen drive

Figura 3-29 - Sistema construtivo híbrido com pilares moldados no local e vigas pré-fabricadas



Fonte - CASSOL¹⁶

Após o posicionamento, é feita a colocação das armaduras complementares das vigas e feita a concretagem das ligações vigas-pilares. A Figura 3-30 mostra uma dessas ligações já concretada.

¹⁶ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira via pen drive

Figura 3-30 - Concretagem da ligação viga pilar



Fonte - CASSOL¹⁷

c) Lajes

Após o posicionamento e concretagem das ligações, as lajes são posicionadas no local definitivo conforme ilustra a Figura 3-31.

¹⁷ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira via pen drive

Figura 3-31 - Içamento e posicionamento das lajes alveolares pré-fabricadas

Fonte - CASSOL¹⁸

A opção nessa obra foi o uso de laje alveolar. Há outras possibilidades, dentre as mais comuns nas estruturas híbridas são a treliçada e a pi.

d) Capeamento

Completando esta etapa, é feito o capeamento das lajes e o ciclo se repete para a montagem dos pilares novamente.

3.3.3 Conclusões dos dois casos

As empresas que estiveram envolvidas nos processos dos dois casos tiveram opiniões muito parecidas sobre as características gerais das obras.

Como vantagem citam a redução do escoramento, a velocidade da obra (se comparada ao moldado no local), a redução considerável da mão de obra utilizada além de melhor treinada e um controle de qualidade mais preciso e adequado.

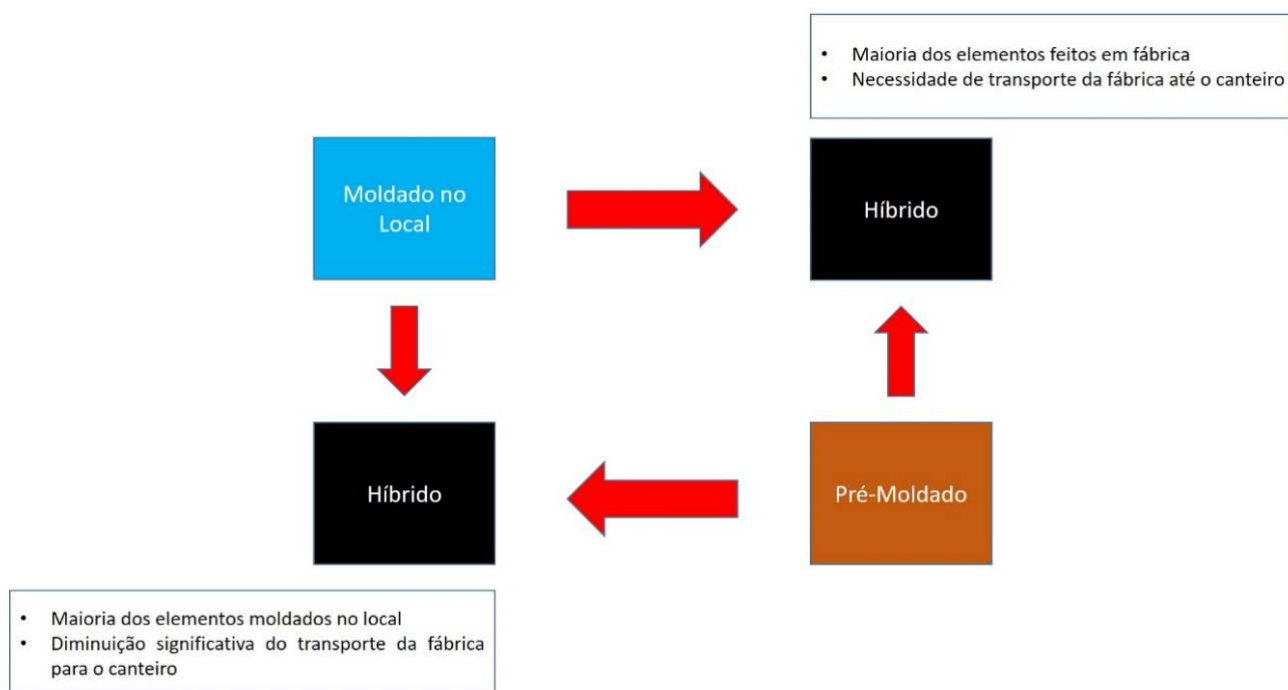
¹⁸ Documento fotográfico retirado de uma apresentação PowerPoint. Cedido gentilmente pelo Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira via pen drive

Como desvantagem apresentam a necessidade de um maior tempo de projeto e que o mesmo não aceita erros principalmente na produção e na montagem e os ajustes na obra não são possíveis.

Isso remete à teoria apresentada por autores internacionais sobre as características principais do sistema híbrido. Além disso, são exemplos de casos aplicados à realidade nacional da aplicação de um sistema, uma tecnologia que tem grande potencial desde que respeitadas suas características.

O esquema da Figura 3-32 pode ilustrar a tendência de mais elementos feitos no local ou em fábrica e apresentar algumas características do sistema híbrido gerado disso.

Figura 3-32 - Esquemática comparativa entre sistemas construtivos híbridos



Fonte - Próprio autor

3.4 *Opinião dos precursores e pesquisadores do sistema construtivo híbrido pelo mundo*

Como parte do desenvolvimento da tese, a procura por materiais internacionais sobre o tema leva a três principais autores que são os precursores e maiores autoridades sobre o assunto.

Além dos materiais obtidos para consulta, contato com os autores foi feito para melhor compreensão sobre a origem e o emprego do sistema construtivo híbrido pelo mundo.

Os autores contatados são:

Prof. Dr Kim Elliott – autor de diversos livros, dentre eles “*Multi-Storey Precast Concrete Framed Structures*”, Universidade de Nottingham, Reino Unido.

Charles Goodchild – autor do livro “*Hybrid Concrete Structures*” e principal engenheiro estrutural do Concrete Centre

Prof. Dr. Jan Vambersky – autor de diversos artigos, Universidade Delft, Holanda

Foram feitas algumas perguntas com a intenção de se obter o sistema construtivo em estudo e a melhor aplicação.

1. *In your opinion, is the hybrid construction connected to erection time or the manufacturing process?* (Na sua opinião, o sistema construtivo híbrido está conectado ao tempo de construção ou ao processo de manufatura?)

Kim Elliott: *The erection time is the major influence because more elements are prefabricated, particularly where precast concrete replaces cast in situ concrete. However, where steelwork replaces precast concrete there is not much difference in erection times. Hybrid might be chosen because of the higher strength and quality of precast.* (O tempo de construção é a maior influência porque mais elementos são pre-fabricados, particularmente onde pre-fabricados substituem o concreto moldado no local. Contudo, onde estruturas em aço substituem pré-

fabricados não há muita diferença no tempo de construção. Híbrido pode ser escolhido por causa da rigidez e da qualidade do pré-fabricado.)

Charles Goodchild: *Both. In the UK the main benefit is speed of construction. It is almost twice as quick as in-situ construction (in-situ flat slabs are the norm here). On the other hand the pre-cast parts take a lot of effort to get correctly designed and manufactured to arrive on site just-in-time.* (Ambos. No Reino Unido, o maior benefício é a velocidade de construção. É quase o dobro da velocidade da construção moldada no local – lajes planas são norma aqui. Por outro lado, as partes pré-fabricadas tomam grandes esforços para ser concebidas e produzidas corretamente para chegarem ao canteiro no momento do uso.)

Jan Vambersky: *Both.* (Ambos.)

2. What is the procedure when you are planning/designing hybrid structures? What is the relevant aspects we have to keep in mind to design hybrid construction? (Qual o procedimento quando se está planejando/projetando estruturas híbridas? Quais são os aspectos relevantes que devemos ter em mente para projetar a construção híbrida?).

Kim Elliott:

a) *Planning – maximise the use of long span floors and beams, prestressed if possible. Don't worry too much about precast columns as cast insitu columns are easy to shutter and cast, and this can be done whilst the precast floors and beams are being fixed at the floor below.*

(Planejamento – maximizar o uso de grandes lajes e vigas, protendidas se possível. Não se preocupar muito com pilares pré-fabricados)

b) *Try to keep columns on the same grid-lines, but if not then use a transfer structure usually in cast insitu (deep beams) and then build the precast frame off the top of the transfer beams.*

(Tente manter os pilares no mesmo alinhamento, caso contrário utilize uma estrutura de transferência, geralmente vigas moldadas no local e então construa o painel pré-fabricado no topo das vigas de transição)

c) *If using cast insitu columns, remove about 10 mm of laitance from the tops of the column before placing the beam on a soft bearing pad.* (Se utilizar pilar moldado no local, remova cerca de 10 mm de nata do topo dos pilares antes de posicionar a viga em um apoio almofadado)

d) *Use cast insitu concrete for irregular shapes, curved balconies etc.* (Utilize concreto moldado no local para formas irregulares, varandas curvas, etc.)

e) *Use small quantities of cast insitu concrete to make precast slabs and beams composite and continuous at supports.* (Utilize pequenas quantidade de concreto moldado no local para fazer lajes pré-fabricas, vigas compostas e contínuas nos apoios)

f) *Check the interfaces between precast and cast insitu concrete, particularly if you have cast insitu columns and precast beams.* (Verifique a interface entre o concreto moldado no local e o pré-fabricado, particularmente se tive pilares moldados no local e vigas pré-fabricadas)

g) *Construction tolerances for insitu is typically 25 mm, but 10 mm for precast. Therefore allow larger holes in precast beams to receive projecting bars from the insitu work.* (As tolerâncias para o concreto moldado no local é 25 mm, mas 10 mm para pré-fabricado. Portanto permita espaços maiores na viga pré-fabricada para receber as barras projetadas do moldado no local)

h) *Allow for greater shrinkage in the insitu concrete as the precast will have already shrunk 50% before erection.* (Permita maiores retrações no concreto moldado no local assim como o pré-fabricado já retraiu 50% antes do içamento).

i) *Allow extra time for the insitu to gain strength.* (Permita tempo extra para o moldado no local ganhar resistência)

j) *Allow a larger crane for precast. The maximum lift in insitu is probably 2-3 tonnes, whereas it might be 10 tonnes in precast.* (Permita guias maiores para o pré-fabricado. O peso máximo no canteiro é provavelmente 2-3 toneladas, enquanto que no pré-fabricado pode ser 10 toneladas)

l) *Staircases is a difficult decision, as accuracy and lack of architectural freedom is a big issue with precast stairs. Very often the contractor is happy to use cast insitu stairs, which can be curved or multi-flight, much harder than in precast.* (Caixa de escadas é uma decisão difícil, como precisão e falta de liberdade arquitetônica é um grande problema com escadas pré-fabricadas. Frequentemente o contratante está satisfeito com o uso de escadas moldadas no local, que podem ser curvas ou pisos múltiplos, mais difícil de fazer no pré-fabricado).

Charles Goodchild: *Lots of co-ordination. You need a champion to drive it through each project.* (Grande coordenação. Você precisa de um coordenador para gerenciar os projetos).

Jan Vambersky: *The procedures do not differ from other procedures: you have to think in advance and take care that there is nothing left that have not been thought of and have not been stated in the design documents.* (Os procedimentos não diferem dos outros: você tem que planejar com antecedência e tomar cuidado para que não tenha nada sido pensado e não tenha sido indicado nos projetos.).

3. When you are designing precast structures you have to keep in mind the height is your concern: height – connections – costs. And probably people here in Brazil would change to cast in place. But when you are designing hybrid constructions you have differences (you don't need to have a crane to pull up your columns for instance). Is the hybrid concrete structures more or less influenced by the heights? What about the connections you need to do it? (Quando se está considerando estrutura pré-fabricadas, você tem que ter em mente que a altura é uma preocupação: altura – ligações – custos. E provavelmente aqui no Brasil, as pessoas mudariam para moldado no local. Mas quando se está projetando construções híbridas você tem diferenças – você não necessita ter uma grua para içar os pilares por exemplo. As estruturas híbridas são mais ou menos influenciadas pelas alturas? E as ligações que são necessárias para fazê-las?).

Charles Goodchild: *Here height is not really a consideration. Access to sites can be difficult for lorries with precast units on them (some of the roads in towns are very narrow) but not usually a problem. Mostly the precast units are propped in position and projecting bars say in the bottom of beams lap over columns get concreted and thus form an in-situ joint. That helps with tolerances ; issues like laps are one of the things to co-ordinate. Otherwise 'normal' precast or in-situ connections are used.* (Aqui altura realmente não é uma preocupação. O acesso ao canteiro pode ser difícil para os caminhões com elementos pré-fabricadas neles – algumas ruas nas cidades são muito estreitas – mas geralmente não são um problema. A maioria dos

elementos pré-fabricados são apoiadas na posição e as barras de projeção dizem o fundo das vigas sobre os pilares São concretados e formam uma ligação moldada no local. Isso ajuda com as tolerâncias, problemas como voltas são uma das coisas para se coordenar. Caso contrário, utilizam-se ligações pré-fabricadas ‘normais’ ou moldadas no local.

4. *The authors that wrote about hybrid construction said they are the future. I see a lot of potential too, but I don't see a lot of companies, sites and people trying to use/build/design structures like that. Why?* (Autores que escrevem sobre construção híbrida dizem que são o futuro. Vejo grande potencial também, mas não vejo muitas empresas, canteiros e pessoas tentando utilizar/construir/projetar estruturas como estas. Por quê?).

Kim Elliott: *There are quite a lot of hybrids in UK, South Africa, SE Asia. Some key examples in Holland. SA use single storey insitu columns with prestressed beams and slabs a lot.*

Split responsibility between the consultant and precaster is a major drawback. The consultant wants to do all the design but often may not know how the precast elements are designed and erected. (Há vários híbridos no Reino Unido, África do Sul, Sudeste da Ásia. Alguns exemplos na Holanda. África do Sul utiliza muito pilares moldados no local de pavimento único com vigas e lajes protendidas. Divida a responsabilidade entre o consultor e o pre-fabricante como maior impasse. O consultor quer fazer todo o projeto, mas frequentemente não sabem como os elementos pré-fabricados são projetados e levantados.).

Charles Goodchild: *Cost, commitment and coordination and champions. There have been some very successful hybrids in the UK but they have tended to be where speed on site and good finishes are absolutely essential.* (Custo, comprometimento e coordenação e defensores. Houve alguns híbridos de muito sucesso no Reino Unido mas eles tendem a estar onde a velocidade no canteiro e bom acabamento são absolutamente essenciais.).

Jan Vambersky: *Because the people are not always familiar with this construction technology. Promotion and education is needed to make people more familiar with this construction*

method. (Porque as pessoas nem sempre estão familiarizadas com esta tecnologia de construção. Desenvolvimento e educação é necessária para fazer com que pessoas se familiarizem mais com este método de construção.).

5. Hybrid constructions offers me buildability, speed, high quality structures and flexibility for instance. Based on cast in place structures the advantage is high. But when we compare with precast the advantage is not so high. You can change your machinery since you don't need a "powerful" crane to pull up your columns for example. So what makes the difference in choosing hybrid concrete structures to precast? (Construções híbridas oferecem construtibilidade, velocidade, estruturas com alta qualidade e flexibilidade por exemplo. Comparadas as estruturas moldadas no local a vantagem é grande. Mas quando comparamos com pré-fabricados a vantagem não é tão alta. É possível trocar seu maquinário já que não se precisa de uma grua tão "poderosa" para içar os pilares por exemplo. Então o que faz a diferença em escolher estruturas híbridas de concreto ao pré-fabricado?)

Kim Elliott: *Often depends on the shape of the site. If the site has a large plan area and is not so tall then the work can be done in many zones at the same time, and precast has no advantage. But if the building is small in plan and tall then cast insitu is slower because you have to wait for the concrete to develop strength etc. and the precast elements can be fixed at say 1000 m² per week. The speed of erection for hybrid is a little bit slower than precast alone, although it depends on where the cast insitu is used. My favoured solution (like SA) is single storey insitu columns, prestressed beams bearing onto the top of columns on a pad, continuity top steel and bottom steel links to make the beam continuous over the columns, prestressed hollow core or double tee floors simply supported on the psc beams. The span/depth ratio will be about 30 for offices. Use a 7 cm topping if more than 10 storeys because of the ties required to prevent progressive collapse. Cast insitu stairs, and precast façade panels. Up to about 8 storeys the frame can be designed as unbraced making use of semi-rigid beam-column connections in one direction. Above that the stability is best by insitu shear walls or cores cast at the same time as the insitu columns. Don't use precast shear walls between cast insitu columns. Hybrid has the advantage over precast because the regular shaped and highly finished precast elements have higher quality, can be shallower, etc. but the overall geometry of the building is not regulated*

by the precast elements. (Frequentemente depende da forma do canteiro. Se o canteiro tem uma grande área e não é tão alta, então o trabalho pode ser feito em vários locais ao mesmo tempo, e o pré-fabricado não tem vantagem. Mas se o edifício é pequeno e baixo, então o moldado no local é mais lento porque você tem que aguardar o concreto desenvolver resistência, etc. e os elementos pré-fabricados podem ser fixados, digamos, em 1000 m² por semana. A velocidade de construção do híbrido é um pouco mais lenta do que o pré-fabricado, embora dependa de onde o moldado no local é utilizado. Minha solução favorita – igual na África do Sul – é um pavimento único com pilares moldados no local, vigas protendidas suportadas no topo dos pilares em almofadas, uso do aço na parte superior e inferior para obter a continuidade da viga sobre os pilares, lajes alveolares protendidas ou duplo t \hat{e} simplesmente apoiadas nas vigas. A relação vão/profundidade será por volta de 30 para escritórios. Uso de capa de 7 cm, caso exceda 10 pavimentos, devido as ligações necessárias para a prevenção do colapso progressivo. Escadas moldadas no local, e painéis fachada pré-fabricados. Até 8 pavimentos, o pórtico pode ser projetado de forma não vinculada fazendo uso de ligação semirrígida viga-pilar em uma direção. Acima de 8 pavimentos, a estabilidade é assegurada por paredes de cisalhamento ou núcleo moldado no local e também pelos pilares moldados no local. Não use paredes de cisalhamento pré-fabricados com pilares moldados no local. Híbrido tem a vantagem sobre o pré-fabricado porque a forma regular e o alto acabamento dos elementos pré-fabricados tem maior qualidade, pode ser menos superficial, etc., mas a geometria geral do edifício não é regulamentada pelos elementos pré-fabricados.

Charles Goodchild: *Versatility, robustness, out funny shaped structures.* (Versatilidade, robustez, estruturas com formatos divertidos)

Jan Vambersky: *There is no general rule to say that one construction method is better than the other one. All have their advantages and disadvantages. It depends on the type of structure, the experience of the contractor, local prices, the availability of labour (skilled or unskilled labourers), labour price, availability of materials, availability and costs of machinery, the type of building, the wishes of the client, and more. Per project, land and location these aspects will vary, have to be considered and will determine whether or not one construction technology is more suitable than the other one.* (Não há uma regra geral para dizer qual método construtivo

é melhor do que o outro. Todos têm suas vantagens e desvantagens. Depende do tipo da estrutura, da experiência do contratante, preços locais, disponibilidade de trabalho (trabalhadores capacitados ou não), custo do trabalho, disponibilidade de materiais, disponibilidade e custos de maquinários, o tipo de edifício, os desejos do cliente e mais. Por projeto, região e localização estes aspectos irão variar, tem que ser considerados e irão determinar se uma tecnologia construtiva é mais adequada que outra ou não).

3.5 Exemplos de Estruturas com Sistema Construtivo Híbrido pelo Mundo e no Brasil

Ao longo dos tópicos são apresentados de maneira rápida e ilustrativa alguns dos exemplos do uso do sistema construtivo híbrido ao redor do mundo, demonstrando as diversas opções que o mesmo proporciona à estrutura.

3.5.1 Estrutura híbridas internacionais

Ao redor do mundo há muitos exemplos do uso do sistema construtivo híbrido. Há os predominantes nos moldes do uso de pré-fabricados com moldado no local e há outros que vão além. Muitas vezes, utilizam arquiteturas que pretendem desafiar as alturas, outras querem representar algo como o “torcer do corpo humano”, dentre outras concepções.

O que se percebe nos vários empreendimentos é que a utilização de diversos materiais, que possuem desde função estética até de algum tipo de contraventamento, faz com que seja alcançada algum tipo de destaque sobre as outras edificações. Apesar do uso de outros materiais, a essência da estrutura se baseia em alguma variação do sistema híbrido, seja com modelos similares aos apresentados ao longo do trabalho ou elementos pré-fabricados e núcleos rígidos moldados no local.

3.5.1.1 Turning Torso

- Localização: Malmo, Suécia;
- Altura e andares: 190 metros e 54 andares;
- Inauguração: 2005;
- Características: combinação de elementos pré-fabricados com núcleo rígido de concreto moldado no local, com elementos de contraventamento em aço;
- Ilustrações do edifício nas Figuras 3-33 a 3-36.

Figura 3-33 - Edifício Turning Torso



Fonte - <http://architectism.com/the-stunning-turning-torso-in-malmo-sweden/>

Figura 3-34 - Construção do Turning Torso



Fonte - <http://pranchetadearquitecto.blogspot.com.br/2016/05/proj-ed-residencial-turning-torso-malmo.html>

Figura 3-35 – Visão aérea da construção do Turning Torso



Fonte - <https://www.peri.pt/projects/projectos-internacionais/turning-torso.html#&gid=1&pid=2>

Figura 3-36 – Construção do Turning Torso



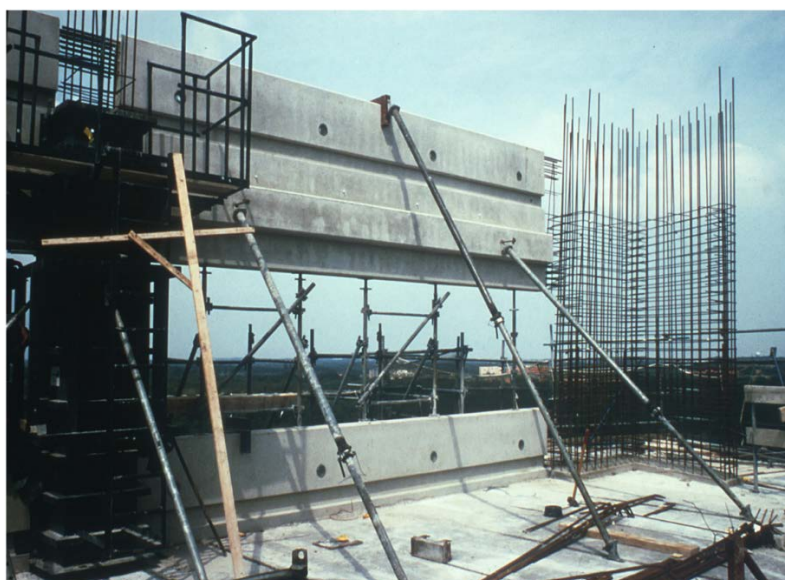
Fonte - <https://www.peri.pt/projects/projectos-internacionais/turning-torso.html#&gid=1&pid=1>

3.5.1.2 The Malietoren

- Localização: Den Haag, Holanda;
- Altura: 75 metros;
- Inauguração: 1996;
- Características: vigas pré-fabricadas com o intuito de se fazer o pavimento destinado ao trabalho rapidamente (já que a estrutura está sobre uma rodovia). Lajes alveolares protendidas, pilares de canto moldados no local e elementos de fachada de contraventamento em aço;
- Ilustrações do edifício nas Figuras 3-37 a 3-40 (Observação: Figura 3-38 já utilizada anteriormente).

Figura 3-37 - Edifício The Malietoren

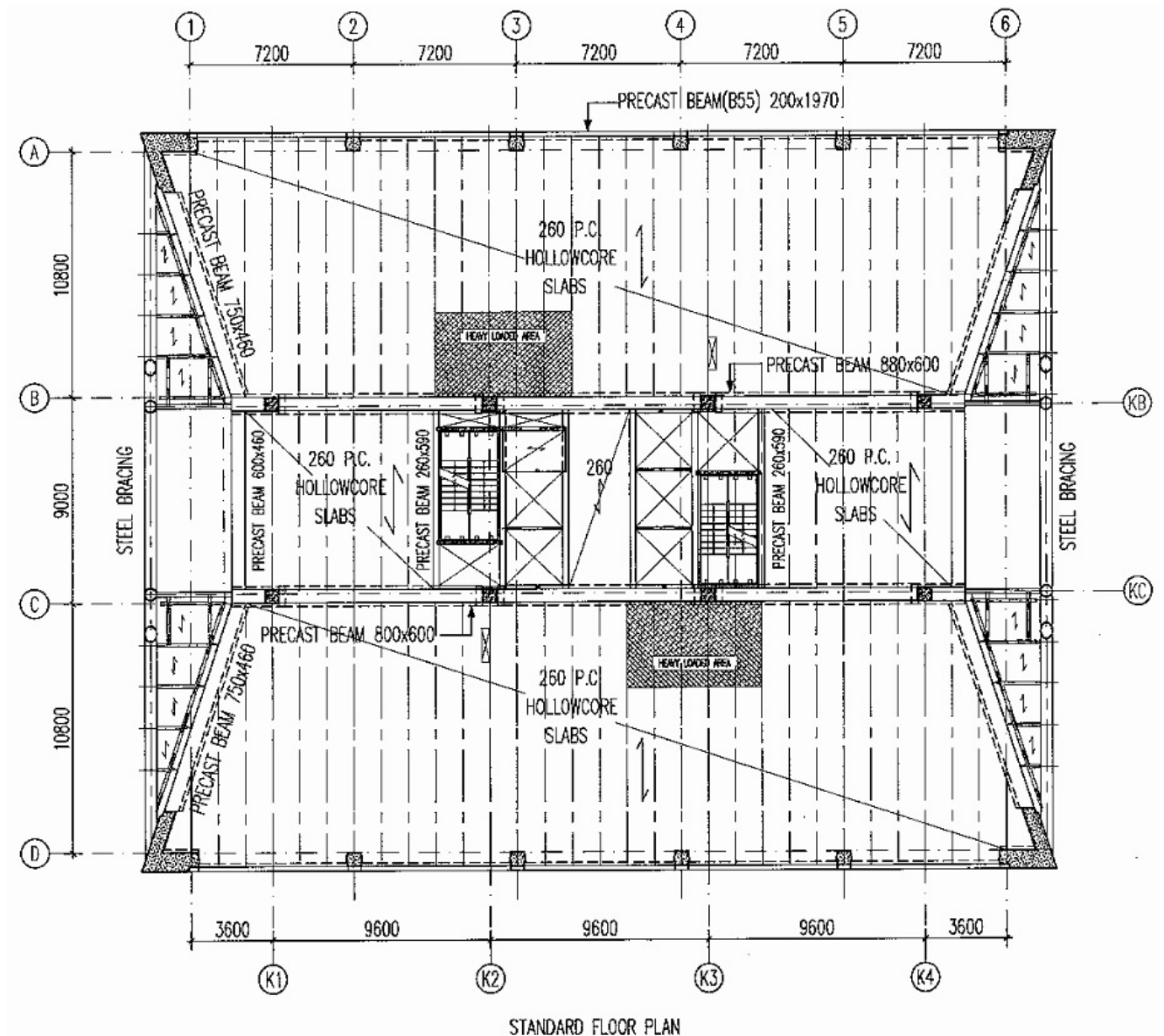
Fonte - Arquivo pessoal professor Dr. Kim Elliott¹⁹

Figura 3-38 - Configuração de vigas pré-fabricadas com pilar moldado no local o The Malietoren

Fonte - Arquivo pessoal professor Dr. Kim Elliott²⁰

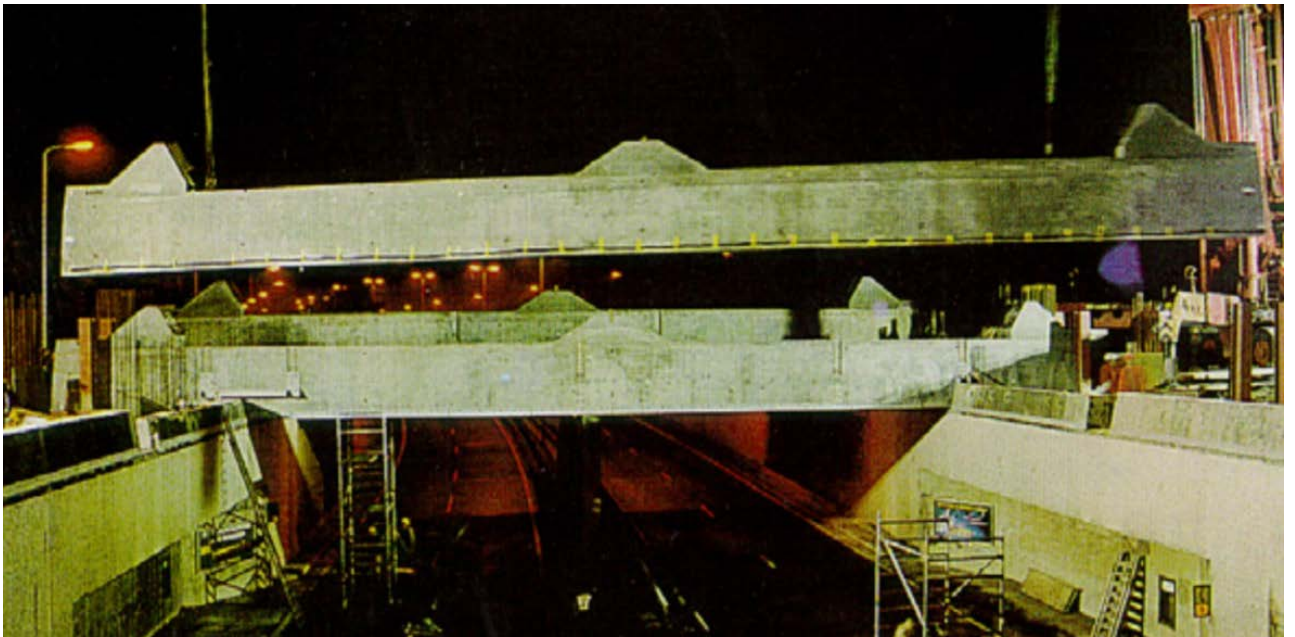
^{19, 20} Documento fotográfico cedido gentilmente pelo Professor Dr. Kim Elliott via email

Figura 3-39 - Esquema estrutural do pavimento do edifício, com vigas pré-fabricadas e lajes alveolares protendidas



Fonte - VAMBERSKY (2004)

Figura 3-40 - Posicionamento das vigas pré-fabricadas do edifício



Fonte - VAMBERSKY (2004)

3.5.1.3 KPN Tower

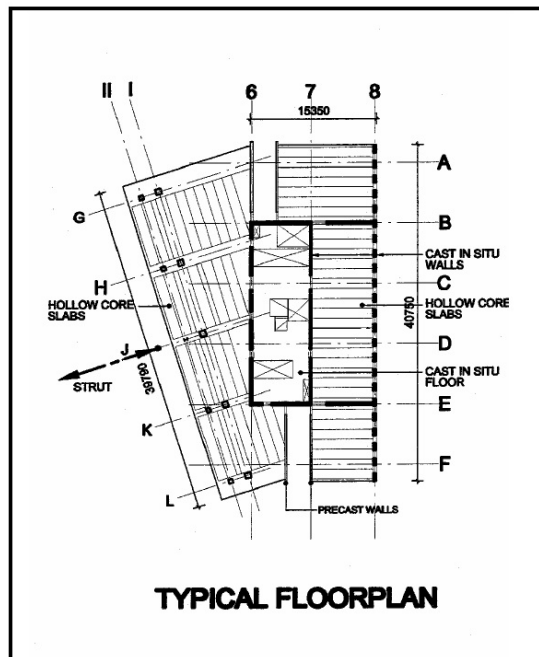
- Localização: Rotterdam, Holanda;
- Altura: 96,5 metros;
- Inauguração: 2000;
- Características: Seção vertical do edifício com sistema moldado no local, lajes alveolares protendidas pré-fabricadas. A parte inclinada da edificação foi feita com pilares pré-fabricados e vigas e lajes alveolares protendidas pré-fabricadas;
- Ilustração do edifício nas Figuras 3-41 a 3-43 (Observação: Figura 3-42 já utilizada anteriormente).

Figura 3-41 - Edifício KPN Tower



Fonte - http://straatkaart.nl/3072MA-Prinsendam/media_fotos/toren-zuid-kpn-gebouw-rotterdam-4jV/

Figura 3-42 - Esquema estrutural do edifício



Fonte - VAMBERSKY (2004)

Figura 3-43 - Construção do edifício



Fonte - VAMBERSKY (2004)

3.5.2 Estruturas híbridas no Brasil

No Brasil há alguns casos que podem ser citados para ilustrar o sistema construtivo híbrido. Além dos dois já apresentados nos ciclos de execução ainda é possível descrever outro.

3.5.2.1 Pátio Dom Luis

- Localização: Fortaleza, Ceará;
- Inauguração: 2010;
- Informações: duas torres comerciais (com salas modulares de 30 a 720 m²), duas torres residenciais (com área de 93,30 a 192,60 m²) e shopping (com 97 lojas)
- Características: volume de concreto pré-fabricado de 7.600 m³, lajes alveolares e pilares moldados no local;
- Ilustração do edifício: Figuras 3-44 a 3-47.

Figura 3-44 - Shopping em Fortaleza



Fonte - http://www.afa.arq.br/wp-content/uploads/2014/03/PDL_total2-1075x715.jpg

Figura 3-45 - Construção do Shopping

Fonte - Arquivo T&A Pré-Fabricados²¹

Figura 3-46 - Panorama do canteiro de obras

Fonte - Arquivo T&A Pré-Fabricados²²

^{21,22} Documento fotográfico cedido gentilmente pela Professora Dra. Angela Hadade via email

Figura 3-47 - Pilares moldados no local com vigas e lajes pré-fabricadas



Fonte - Arquivo T&A Pré-Fabricados²³

²³ Documento fotográfico cedido gentilmente pela Professora Dra. Angela Hadade via email

4 ESTUDO DE CASO EM MODELOS PARA BASE COMPARATIVA

A escolha de um sistema estrutural de uma edificação de múltiplos pavimentos depende de muitos fatores. Pode-se citar o projeto arquitetônico, a localização do empreendimento, os materiais a serem utilizados, a classe de agressividade, a velocidade da obra, a mão de obra disponível na região, os equipamentos dentre outros.

Uma solução estrutural adotada no projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade.

Nesta situação, para que tal solução seja alcançada, diversos fatores devem ser analisados.

No sistema construtivo híbrido, como há uma combinação de mais de um sistema construtivo, as decisões são mais amplas e devem ser estudadas previamente o projeto, assim como sua execução. A ligação escolhida para o cálculo é a rígida já que se busca o monolitismo da estrutura moldada no local. A rigidez é alcançada através da concretagem feita no local, como já apresentado na Figura 3.30 do Capítulo 3.

4.1 Critérios considerados na avaliação dos sistemas estruturais

Por se tratar de um tema muito amplo que proporciona diversas discussões, apenas alguns dos assuntos são tratados e com o enfoque específico à proposta do trabalho. Os pontos escolhidos para avaliação são descritos nos próximos itens. Os critérios de avaliação descritos serão aplicados aos modelos propostos como indicadores de desempenho da estrutura.

4.2 Estabilidade global, deslocabilidade lateral

O objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações dos estados limites últimos e de serviço. Essa análise permite estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em elementos, partes ou em toda a estrutura. Para isso, as solicitações de cálculo devem ser determinadas a partir de combinações das ações consideradas, de acordo com a análise estrutural.

(CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2015, p.60)

Um dos critérios para a avaliação de um sistema estrutural é a estabilidade global e a deslocabilidade lateral. Dependendo do sistema construtivo escolhido, pode ser mais difícil conseguir estruturas pouco deslocáveis lateralmente. É o caso, por exemplo, se comparar uma estrutura pré-fabricada com rótula na ligação viga-pilar com uma moldada no local com vigas e pilares ligados continuamente.

Para se entender o desempenho na deslocabilidade lateral de uma estrutura é necessário que o conceito de estabilidade global seja apresentado.

Há diversos itens que devem ser levados em conta para que as análises estruturais sejam corretamente estudadas. Há estudos e livros que abordam mais profundamente o assunto mostrando como isto pode ser operacionalizado, tais como PINHEIRO (2004) e CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2015).

As estruturas durante sua vida útil sofrem efeitos de ações e deformações. Basicamente, há a necessidade de se definir os efeitos de primeira e segunda ordem. O primeiro são os efeitos que são calculados a partir da geometria inicial da estrutura, sem as deformações. O segundo é quando há a deformação da estrutura.

Nas estruturas de concreto armado, o estado-limite último de instabilidade é atingido sempre que, ao crescer a intensidade do carregamento e, portanto, das deformações, há elementos submetidos a flexo-compressão em que o aumento da capacidade resistente passa a ser inferior ao aumento da solicitação.

(NBR 6118: 2014, 2014, p. 99)

A definição da norma sobre os efeitos de segunda ordem é:

Efeitos de 2° ordem são aqueles que se somam aos obtidos em uma análise de primeira ordem (em que o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial), quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada. Os efeitos de 2° ordem, em cuja determinação deve ser considerado o comportamento não linear dos materiais, podem ser desprezados sempre que não representarem acréscimo superior a 10% nas reações e nas solicitações relevantes na estrutura.

(NBR 6118:2014, 2014, p. 100)

A análise da estrutura de uma maneira global é necessária para garantir a estabilidade. Para isso é importante apresentar outros conceitos para tal entendimento.

Sob a ação das cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura deslocam-se horizontalmente. Os esforços de 2° ordem decorrentes desses deslocamentos são chamados efeitos globais de 2° ordem. Nas barras da estrutura, como um lance de pilar, os respectivos eixos não se mantêm retilíneos, surgindo aí efeitos de 2° ordem em que, em princípio, afetam principalmente os esforços solicitantes ao longo delas.

(NBR 6118:2014, 2014, p. 101)

Assim se chega a um coeficiente chamado gama z (γ_z), que dá importância aos esforços de segunda ordem globais.

As considerações utilizadas são de $\gamma_z \leq 1,1$ para a estrutura ser considerada de nós fixos. Caso contrário os efeitos globais de segunda ordem devem ser considerados.

Na análise estrutural de nós móveis, devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não linearidade geométrica e da não linearidade física, e no dimensionamento devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos globais e locais de segunda ordem.

(NBR 6118:2014, 2014, p. 106)

Uma solução aproximada para determinação dos esforços globais de segunda ordem consiste na avaliação dos esforços finais (1° ordem + 2° ordem) a partir da majoração adicional dos esforços horizontais da combinação de carregamento considerada por $0,95\gamma_z$. Esse processo é válido para $\gamma_z \leq 1,3$.

O parâmetro γ_z também é utilizado para classificar a estrutura quanto a sua deslocabilidade, especialmente quando as mesmas são regulares. Uma estrutura é considerada como de nós fixos se $\gamma_z \leq 1,1$ e de nós móveis quando $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$. Caso sejam obtidos valores acima de 1,3, o procedimento apresentado não é válido.

(CAMARGO, 2012, p.71)

Assim, todas as estruturas devem ser verificadas à instabilidade.

Nas edificações de múltiplos pavimentos por exemplo, dependendo do projeto arquitetônico e estrutural, o γ_z aceitável por normas é conseguido com um custo maior ou menor.

Para o trabalho será apresentado o coeficiente γ_z por ser calculado através do programa de cálculo estrutural comercial Cypecad versão 2014. Os modelos propostos com sistemas estruturais distintos terão seus desempenhos analisados pelo coeficiente indicado, assim como pelo deslocamento lateral.

Os efeitos de segunda ordem considerados no programa são feitos através de um processo iterativo, o P- Δ , em que as ações de primeira ordem (P) provocam deformações (Δ) que originam esforços provocando novas deformações de maneira sucessiva.

Já outro fator a ser levado em consideração é a restrição do deslocamento lateral máximo permitido (no estado limite de serviço) previstos em normas conforme mostram as Figuras 4-1 e 4-2.

Figura 4-1 - Limite para deslocamento pela NBR 6118

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell/350 + \text{contraflecha}^b$
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400^g$ e 15 mm

Fonte - NBR 6118:2014

Figura 4-2 - Deslocamentos máximos pela NBR 9062

Caso	Tipo de edificação	Deslocamentos horizontais globais máximos (Combinação frequente)
A	Edifício térreo	$H/600^{(1)}$
B	Edifício com um pavimento (mezanino)	$H/600$ ou $H_i/750^{(2)}$
C	Edifício com múltiplos pavimentos	$H/1200$ ou $H_i/750^{(2)}$ ou $H_2/600^{(3)}$

onde:
(1) H corresponde a altura total do edifício;
(2) H_i corresponde ao desnível entre dois pisos consecutivos;
(3) H_2 corresponde ao desnível entre o último piso e face inferior da laje da cobertura.

Fonte - NBR 9062:2006

Os valores adotados são:

- $H/1700$ para estruturas moldadas no local em concreto armado;
- $H/1200$ para estruturas pré-fabricadas.

A norma ainda afirma que o limite se aplica ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares.

4.3 Estudo Comparativo de Estabilidade Global e Deslocamento Lateral das Estruturas Moldadas no local, Híbridas e Pré-Fabricadas

Para se ter uma base comparativa para os sistemas construtivos moldados no local, híbrido e pré-fabricado foram criados dois modelos com o intuito de se apresentar as diferenças baseadas nos critérios citados no tópico anterior.

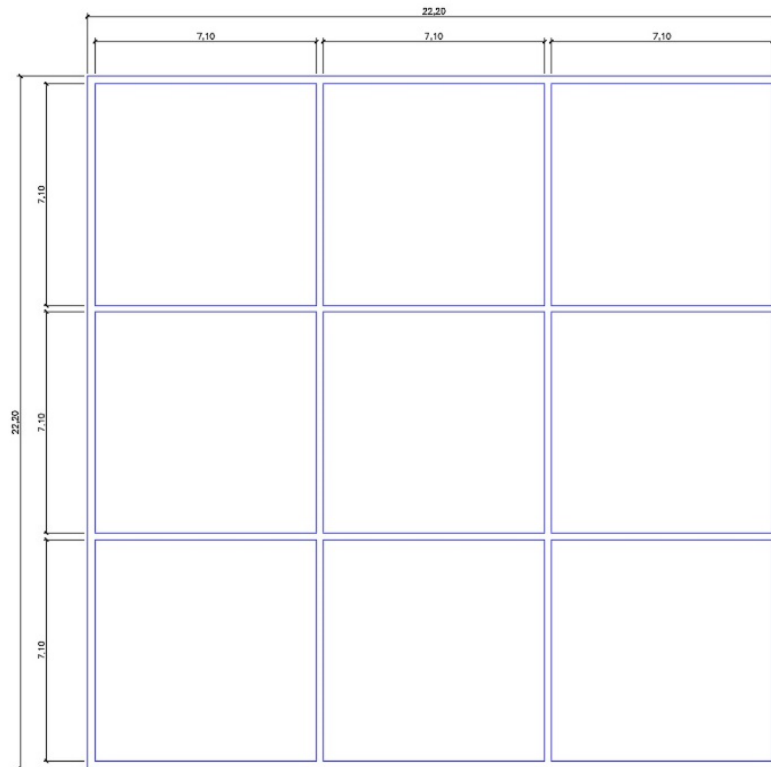
Os principais parâmetros analisados são o γ_z e o deslocamento lateral da estrutura. A partir de um modelo pré-estabelecido foram feitos os cálculos necessários para se obter tais valores. Após a verificação, as mudanças possíveis foram feitas para se adequar às normas vigentes quando necessárias. E por fim os ajustes das seções dos pilares, vigas e lajes, além das armaduras para se chegar ao quantitativo e se obter algumas informações adicionais sobre os sistemas envolvidos.

Para isso utilizou-se de dois modelos que consistem em:

Modelo 1:

- Arquitetura geral para base comparativa (Figura 4-3 – que é apresentada posteriormente em um tamanho maior);
-

Figura 4-3 - Arquitetura geral do modelo 1



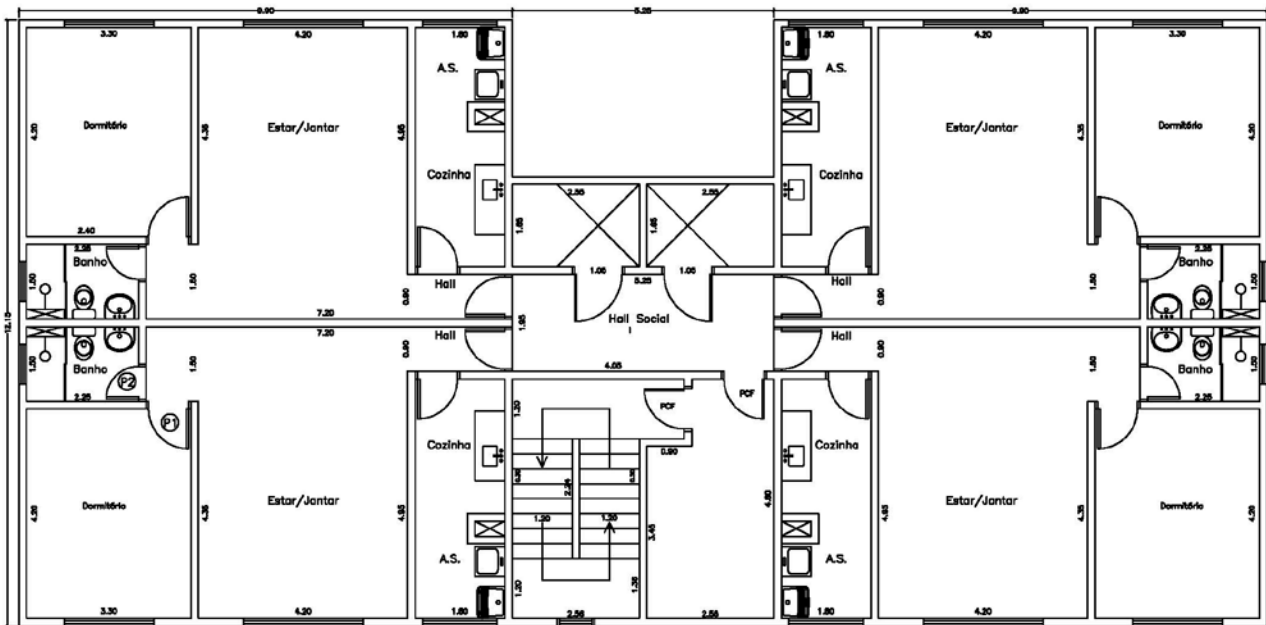
Fonte - Próprio autor

- Estrutura com 4 e 7 andares;
 - Situação 1: estrutura com 4 andares, sistema construtivo moldado no local, com lajes maciças;
 - Situação 2: estrutura com 4 andares, sistema construtivo híbrido, com lajes alveolares e vigas pré-fabricadas;
 - Situação 3: estrutura com 4 andares, sistema construtivo pré-fabricado, com lajes alveolares e rotulada;
 - Situação 4: estrutura com 7 andares, sistema construtivo moldado no local, com lajes maciças;
 - Situação 5: estrutura com 7 andares, sistema construtivo híbrido, com lajes alveolares e vigas pré-fabricadas;
 - Situação 6: estrutura com 7 andares, sistema construtivo pré-fabricado, com lajes alveolares e rotulada.

Modelo 2:

- Arquitetura real de uma edificação em alvenaria estrutural alterada para os sistemas construtivos estudados (Figura 4-4, que é apresentada posteriormente em um tamanho maior);

Figura 4-4 - Arquitetura do modelo 2



Fonte - Próprio autor

- Estrutura com 4 e 7 andares para análise comparativa;
 - Situação 1: estrutura com 4 andares, sistema construtivo moldado no local, com lajes maciças;
 - Situação 2: estrutura com 4 andares, sistema construtivo híbrido, com lajes alveolares e vigas pré-fabricadas;
 - Situação 3: estrutura com 4 andares, sistema construtivo pré-fabricado, com lajes alveolares e rotulada;
 - Situação 4: estrutura com 7 andares, sistema construtivo moldado no local, com lajes maciças;
 - Situação 5: estrutura com 7 andares, sistema construtivo híbrido, com lajes alveolares e vigas pré-fabricadas;

- o Situação 6: estrutura com 7 andares, sistema construtivo pré-fabricado, com lajes alveolares e rotulada.

Em um primeiro instante para a comparação pretendeu-se comparar os deslocamentos laterais obtidos com a norma vigente. Quando não está de acordo, as seções da estrutura são alteradas para que a estrutura seja considerada estável. Isso implica em γ_z diferentes para cada uma delas. Mas o critério estabelecido como meta é atingir a seção mínima para que o deslocamento lateral seja aceitável e próximos uns dos outros para se ter uma base comparativa apropriada. Para um segundo momento no próprio exemplo, foi estabelecido um valor de γ_z para analisar o que o fator implica nas seções e como afeta a estrutura.

4.3.1 Procedimento Geral

Primeiramente a estrutura foi lançada no programa CYPECAD (versão 2014) com os dados gerais dos modelos. Valores pré idealizados das seções de viga, pilar e laje foram introduzidos. Após isso é calculada a estrutura.

Com o término desta etapa, se obtém os valores das seções, dos deslocamentos laterais e do γ_z . As considerações particulares (quando há), o f_{ck} do concreto e da quantidade de andares da estrutura são apresentados caso a caso.

A intenção é partir de um modelo para se chegar aos valores que possam criar parâmetros, delimitar e quantificar as estruturas moldadas no local, híbrida e pré-fabricada para se ter uma base comparativa entre elas para se ter um valor significativo.

Os valores gerados pelo programa CYPECAD são analisados e confrontados com as normas vigentes. É necessário frisar que os valores dos deslocamentos laterais apresentados nos modelos são os mais críticos da estrutura.

Outro ponto a ser analisado é o valor atribuído à carga de vento. Pela Figura 4-5 é possível ver que na norma NBR 6118:2014 se recomenda uma consideração de 30% das ações de vento nas estruturas residenciais.

Figura 4-5 - Valores do coeficiente de vento utilizado no cálculo da estrutura para o deslocamento lateral

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1^a	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23. ^b Edifícios residenciais. ^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.				

Fonte - NBR 6118:2014

Dessa maneira o cálculo se deu da seguinte maneira: foram introduzidos os carregamentos na estrutura e o vento atuante, posteriormente se fez uma redução para 30% de ação de vento (previsto na norma) atuante e se calculou a estrutura. A partir desta combinação se chegou ao valor dos deslocamentos laterais, que estão atuando no estado limite de serviço. Os valores das dimensões dos pilares, vigas, lajes, esquema 3D e a representação dos deslocamentos são apresentados nas figuras. As análises comparativas dos dados obtidos no programa e da norma são feitas. Posteriormente, voltou-se aos valores totais de ação de vento para o cálculo da estrutura no estado limite último, onde se obtém os quantitativos dos elementos da estrutura como vigas, lajes e pilares, além do γ_z . Há alguns casos em que é necessário aumentar a seção do pilar para suportar o aumento do carregamento.

Os valores finais das dimensões dos pilares, calculados no estado limite último, são representados nas plantas de fôrmas ao longo dos exemplos.

A apresentação dos modelos 1 e 2 citados são feitas nos próximos itens.

4.3.2 Modelo 1

Dados iniciais:

- O edifício a ser analisado é uma construção residencial de 4 andares (térreo + 4 andares) na cidade de São Paulo;
- Em planta o edifício possui dimensões de 22,20 por 22,20 metros, com 492,84 m² por pavimento;
- Aço: CA-50;
- $f_{ck} = 30$ MPA para lajes e vigas;
- $f_{ck} = 30$ MPA para pilares;
- Carregamentos:
 - Sobrecarga = 2,5 KN/m²
 - Carga permanente = 2,0 KN/m²
 - Alvenaria = 6,3 KN/m²
- Vento = 45m/s (consideração do vento no Cypecad na Figura 4-6);

Figura 4-6 - Considerações adotadas nas cargas de vento

NBR 6123
NB-599. Forças devidas ao vento em edificações

Ação de vento segundo X + X 0.30 - X 0.30
 Ação de vento segundo Y + Y 0.30 - Y 0.30

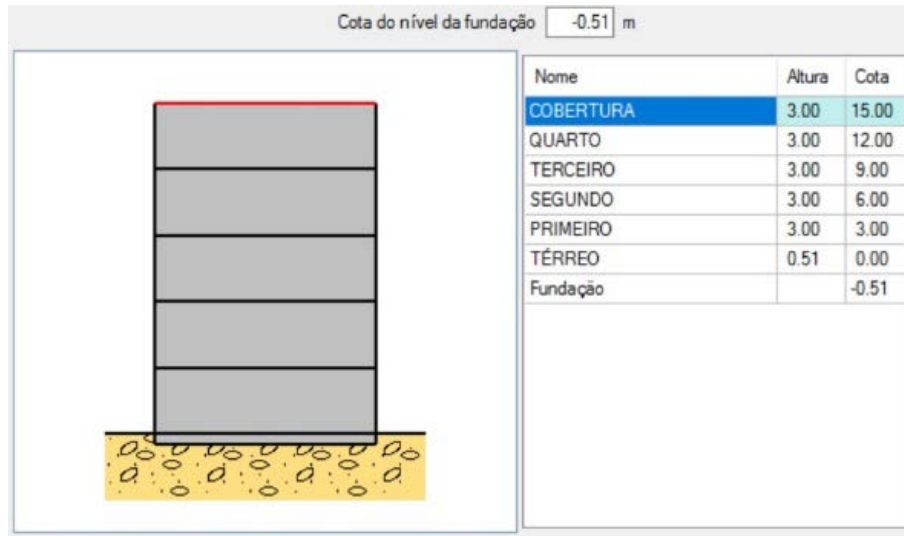
Larguras de faixa: Y 22.20 X 22.20 Por planta

Velocidade Básica: 45.0 m/s
 Categoria: IV
 Classe: B
 Fator Probabilístico: Grupo 2
 Fator Topográfico +x: 1.0
 Fator Topográfico -x: 1.0
 Fator Topográfico +y: 1.0
 Fator Topográfico -y: 1.0

Fonte - Próprio autor

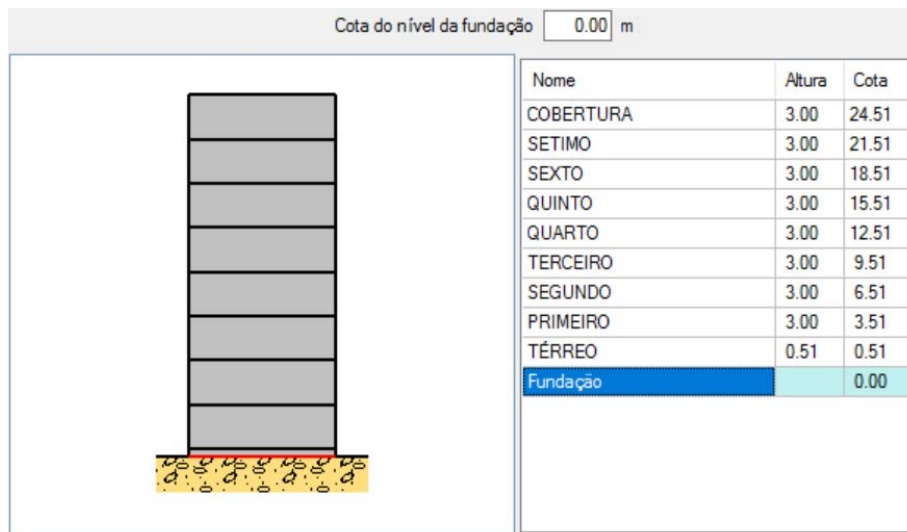
- Laje maciça: altura = 15 cm;
- Altura total do edifício = 15,00 m (para 4 andares – Figura 4-7) e 24,51 (para 7 andares – Figura 4-8);

Figura 4-7 - Cotas da estrutura de 4 andares



Fonte - Próprio autor

Figura 4-8 - Cotas da estrutura de 7 andares



Fonte - Próprio autor

- Outras considerações:
 - Distância de piso a piso = 3 m;
 - Densidade média do bloco = 1300 kg/m³
 - Largura do bloco = 19 cm;
 - Altura da parede = 3 m – 0,5 m (viga, quando utilizada viga de 50 cm) = 2,5 m;

- A partir daí se tem a carga da parede considerada:

$$2,5 \text{ m} \times 0,19 \text{ m} \times 1300 \text{ kg/m}^3 = 617 \text{ kg/m} = 0,62 \text{ KN/m};$$

- No último andar, considerando uma platibanda no perímetro:

$$1,0 \text{ m} \times 0,19 \text{ m} \times 1300 \text{ kg/m}^3 = 247 \text{ kg/m} = 2,47 \text{ KN/m}.$$

Os valores dos carregamentos são apresentados na Figura 4-9.

Figura 4-9 - Carregamentos utilizados para o cálculo da estrutura

N...	Categorias de uso	SCU (kN/m ²)	CP (kN/m ²)	Processo construtivo
CO...	Uso 1	1.96	0.00	Editar
QU...	Uso 1	3.92	0.98	Editar
TE...	Uso 1	3.92	0.98	Editar
SE...	Uso 1	3.92	0.98	Editar
PRI...	Uso 1	3.92	0.98	Editar
TÉ...	Uso 1	0.00	0.00	Editar
Fun...	Uso 1	0.00	0.00	

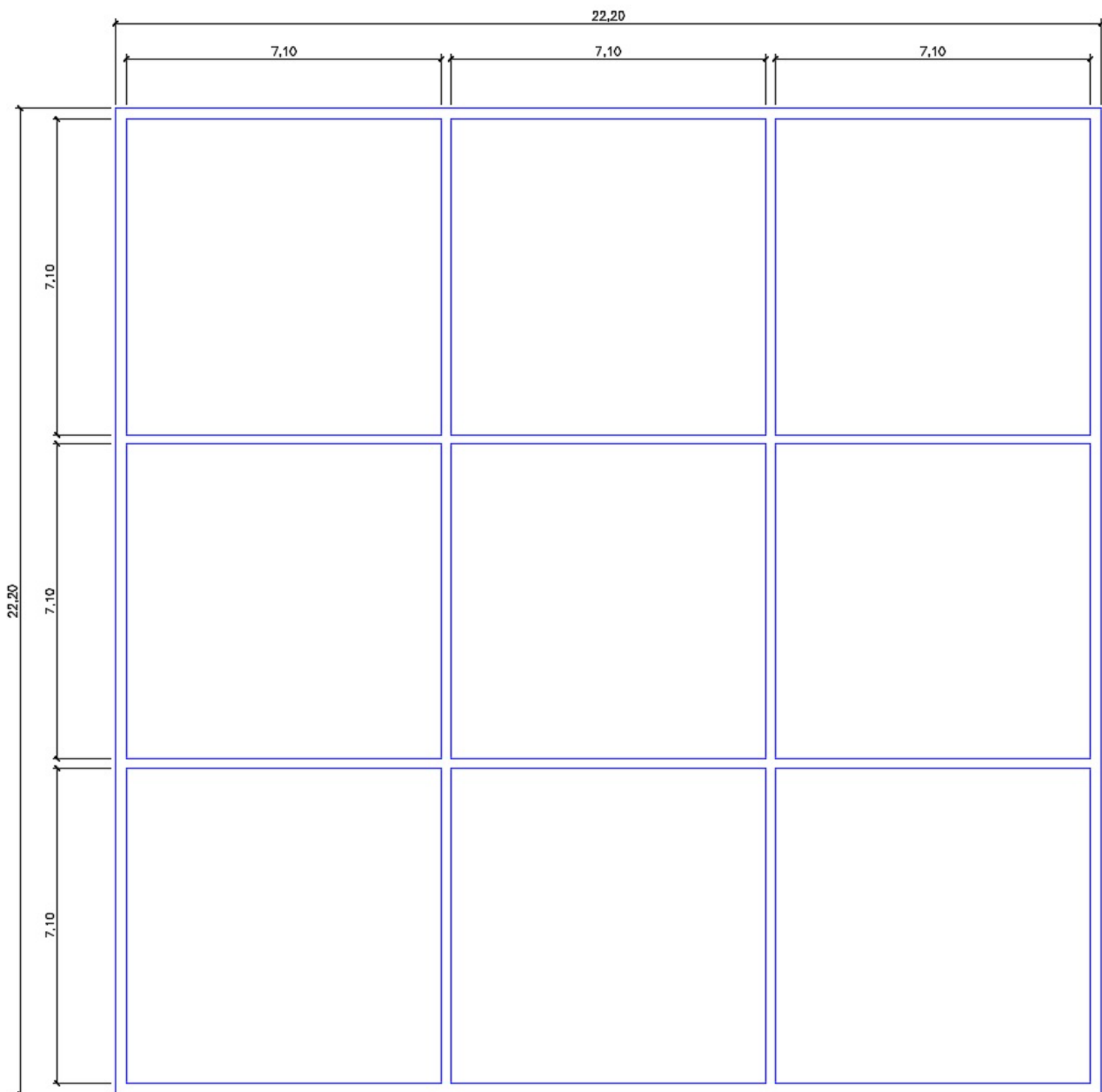
Categorias de uso	
1.	Edificações residenciais

O diagrama mostra uma seção vertical de uma estrutura com cinco níveis. Cada nível é representado por um retângulo cinza. A base da estrutura é uma camada amarela com uma textura de concreto. O nível superior é uma platibanda.

Fonte - Próprio autor

Já a arquitetura geral idealizada é apresentada na Figura 4-10.

Figura 4-10 - Arquitetura do modelo 1

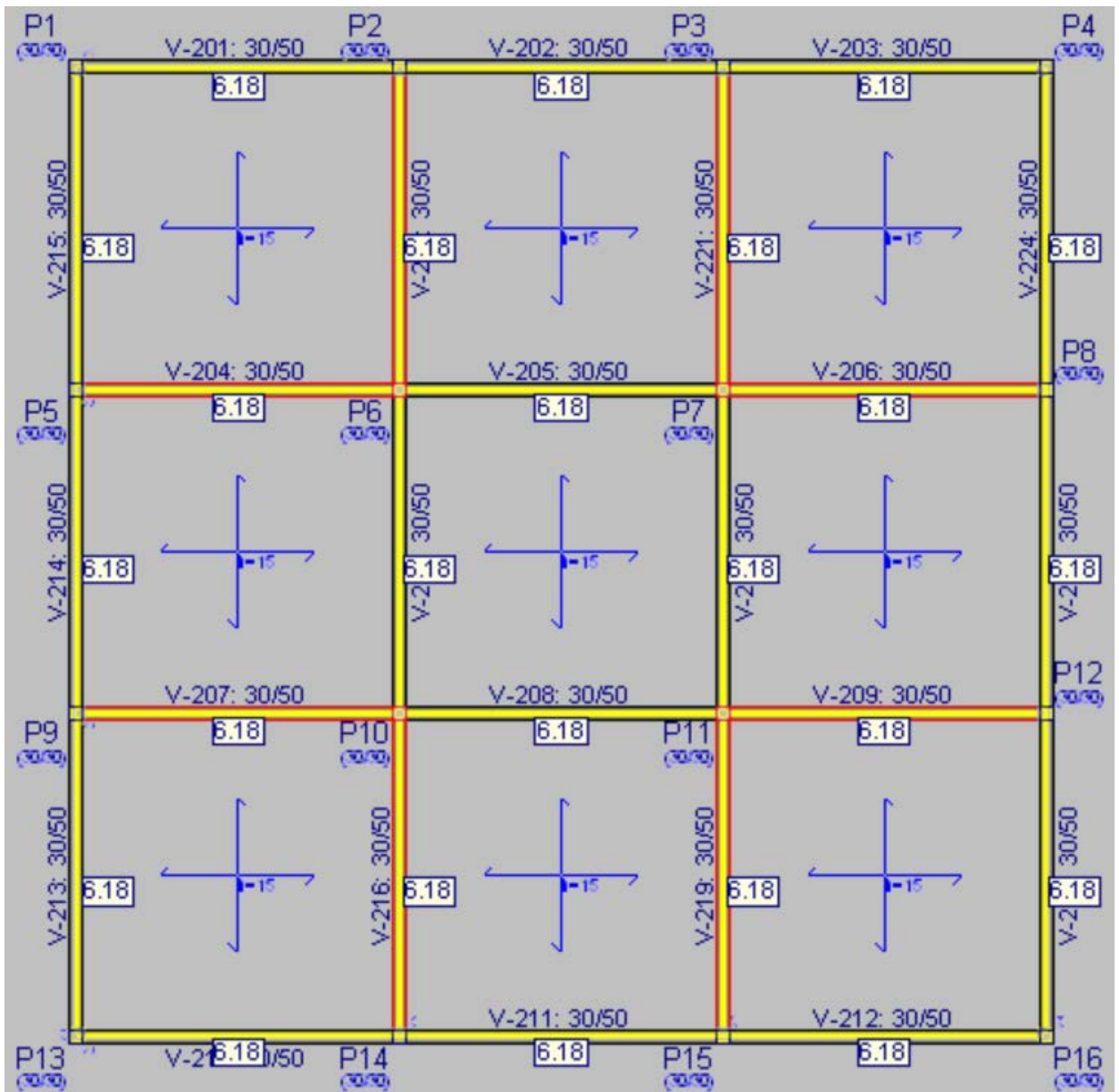


Fonte - Próprio autor

4.3.2.1 Situação 1 – Estrutura em concreto armado moldada no local – 4 andares

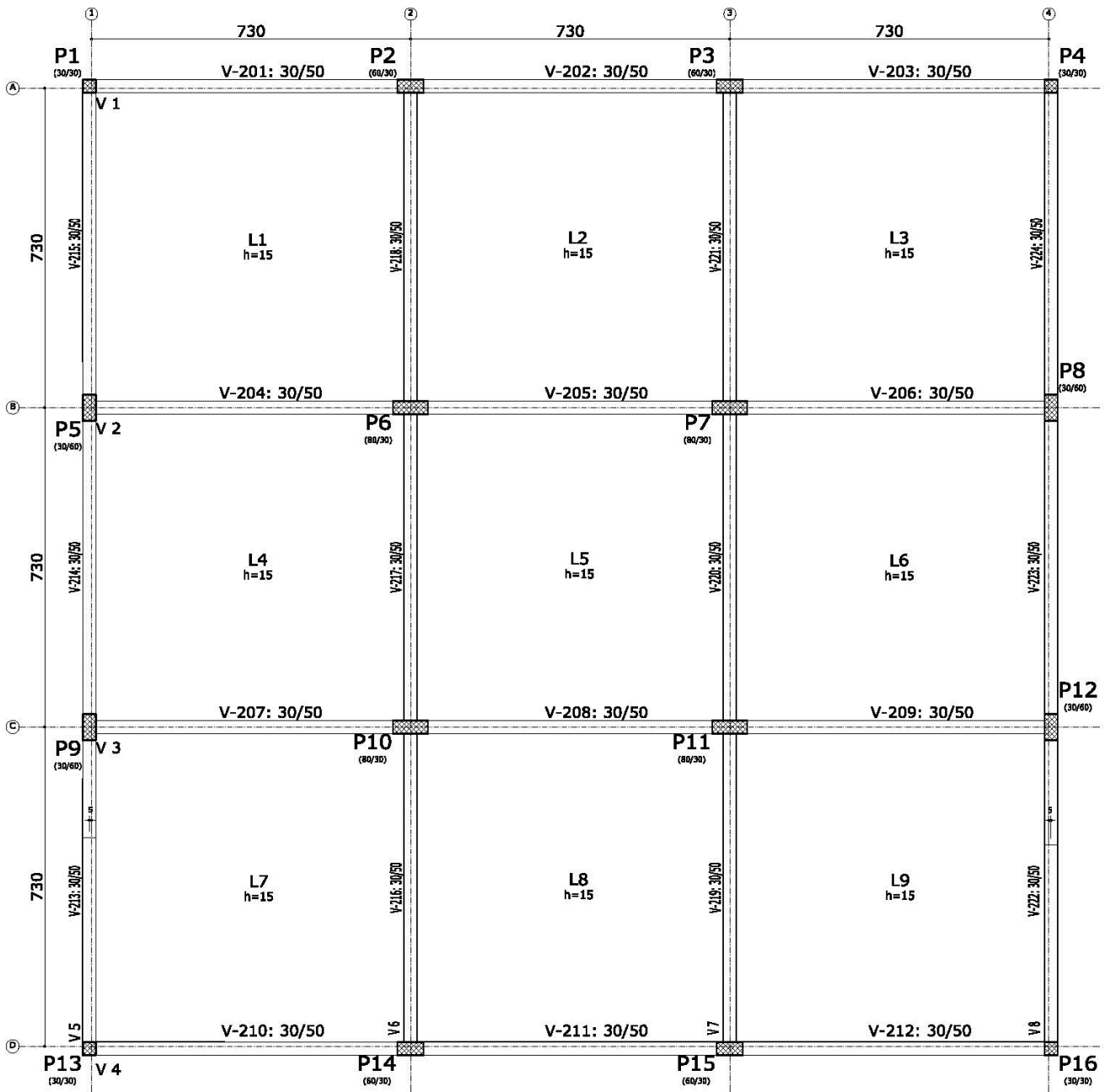
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-11, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-12, enquanto o modelo 3D na Figura 4-13.

Figura 4-11 - Dimensões de vigas, pilares e lajes



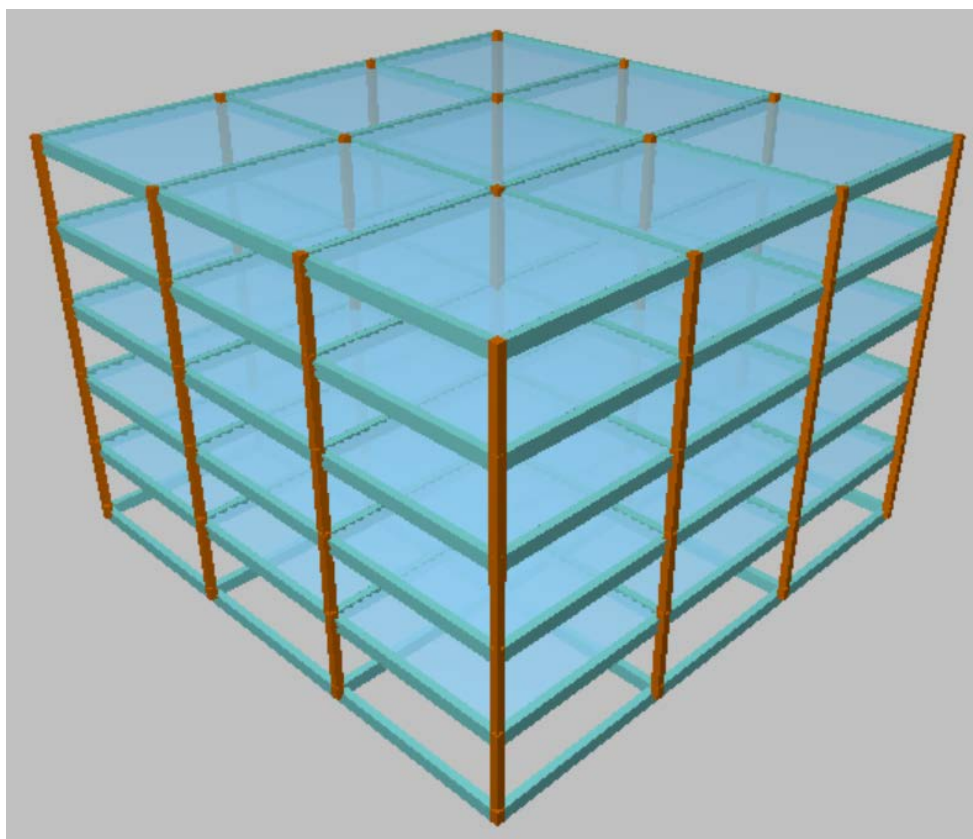
Fonte - Próprio autor

Figura 4-12 - Planta de fôrmas da estrutura



Fonte - Próprio autor

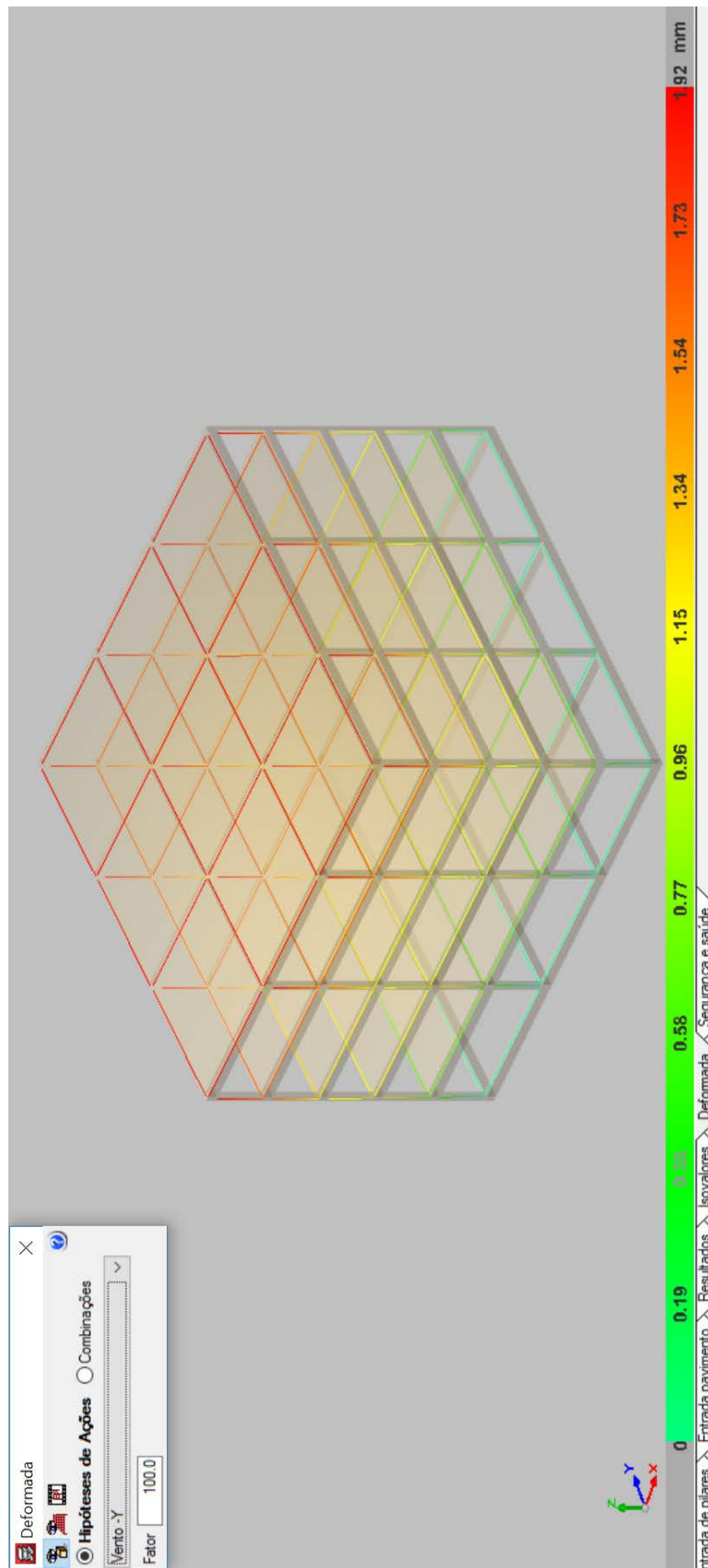
Figura 4-13 - Modelo 3D da estrutura



Fonte - Próprio autor

Os valores do deslocamento lateral mais crítico e do γ_z são vistos nas Figuras 4-14 e 4-15.

Figura 4-14 - Deslocamento lateral da estrutura



Fonte - Próprio autor

Figura 4-15 - Valores do gama z

Vento +X	1.117
Vento -X	1.117
Vento +Y	1.117
Vento -Y	1.117

Fonte - Próprio autor

Fazendo a verificação do deslocamento aceitável pelas normas se têm:

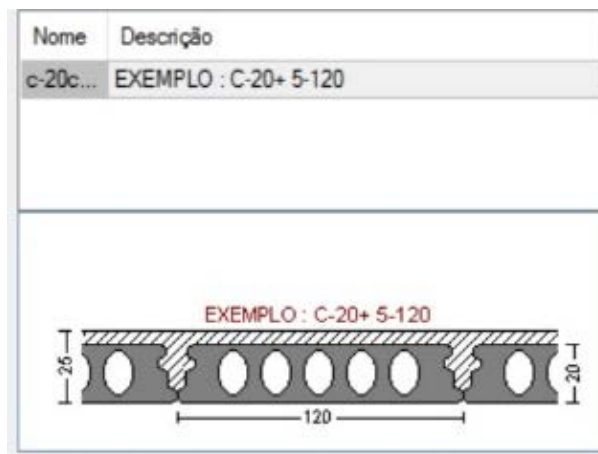
$$\frac{H}{1700} = \frac{15}{1700} = 0,008824 = 8,824 \text{ mm (norma)} > 1,92 \text{ mm (programa)}$$

A verificação está de acordo com a norma.

4.3.2.2 Situação 2 – Estrutura no sistema construtivo híbrido – 4 andares

Para a situação 2 foi adicionada a laje alveolar e as vigas pré-fabricadas. A consideração feita para a laje foi de altura de 20 centímetros mais capeamento de 5 centímetros conforme ilustra a Figura 4-16.

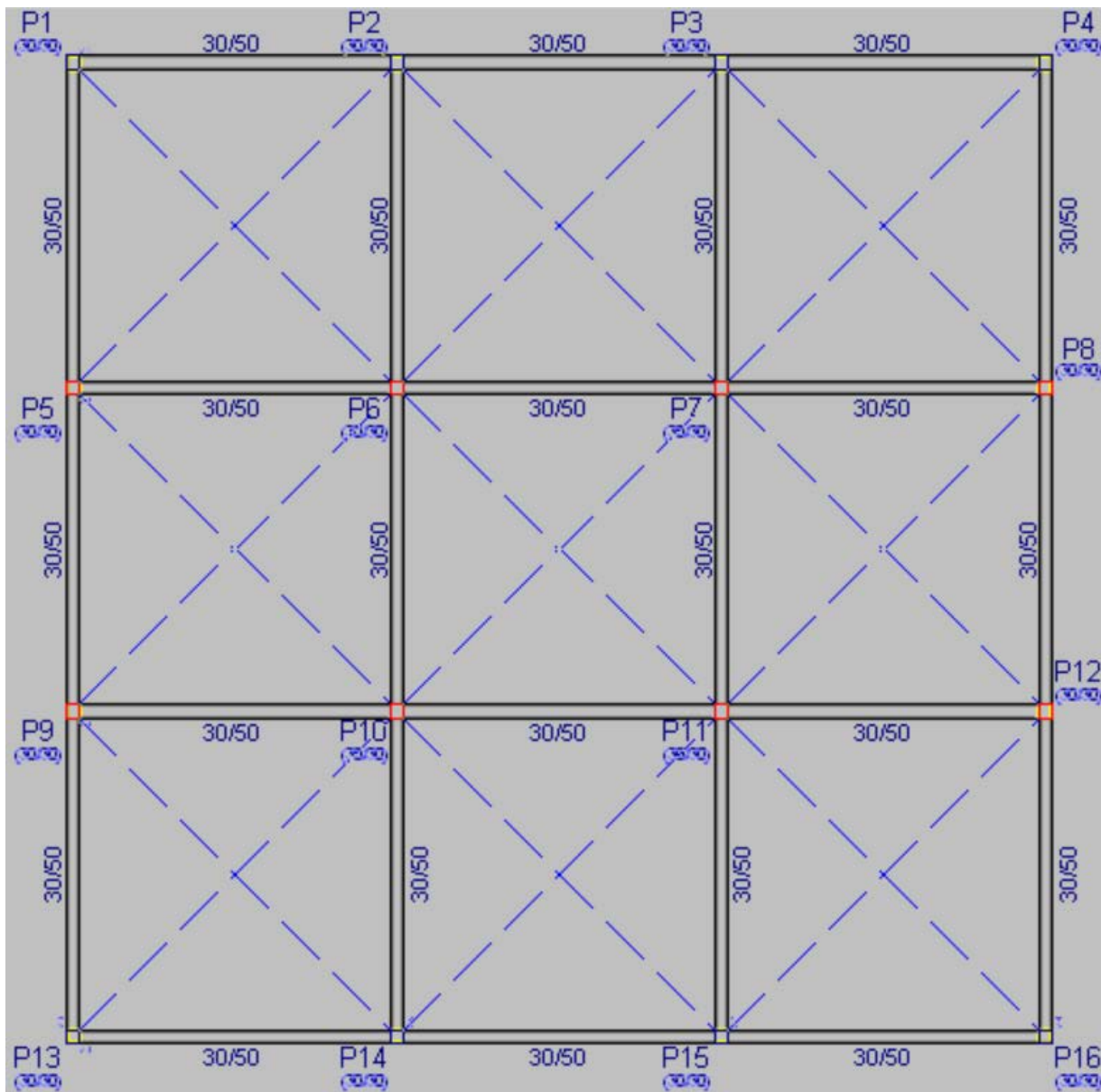
Figura 4-16 - Característica da laje alveolar utilizada



Fonte - Próprio autor

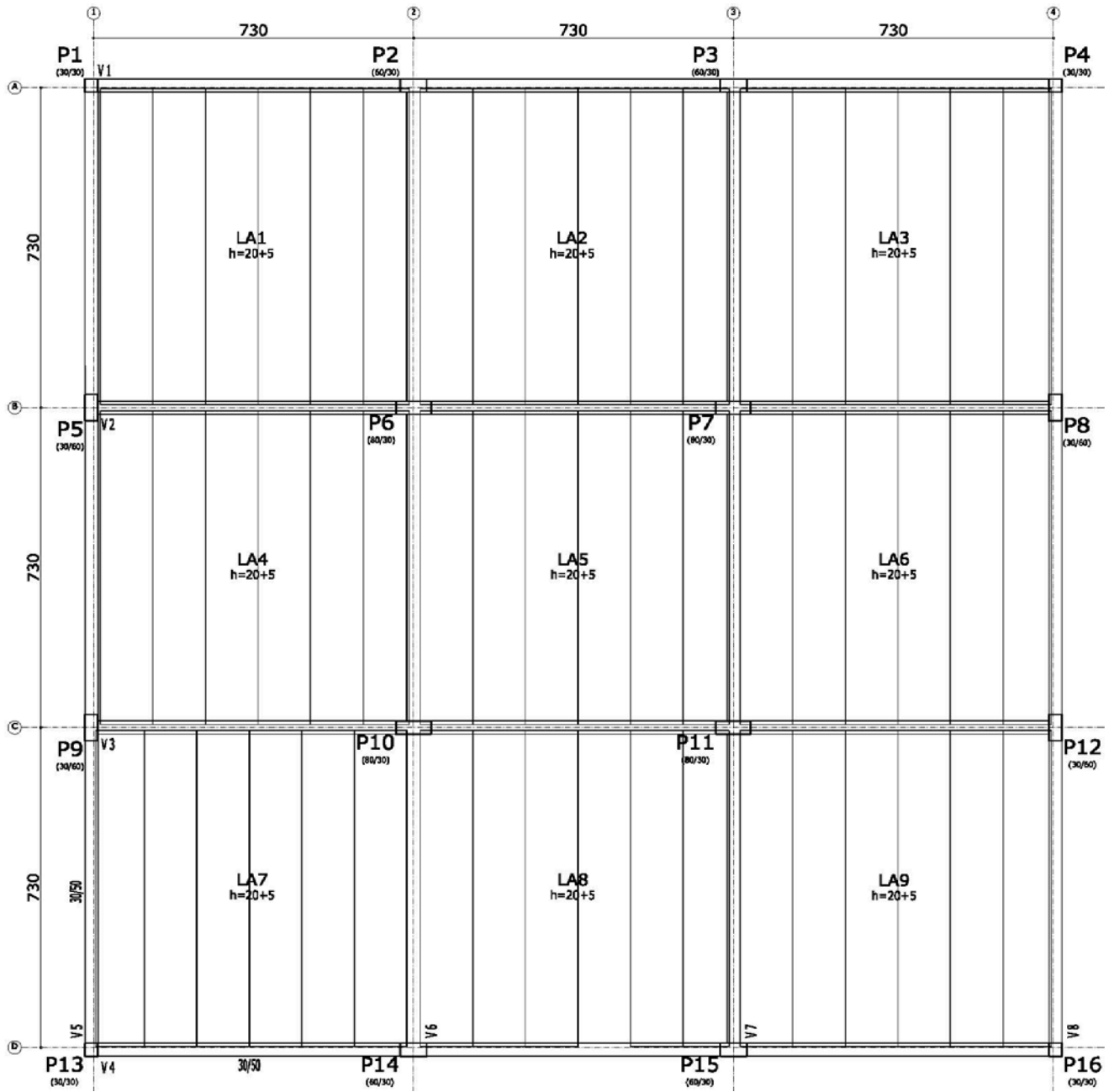
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-17, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-18, enquanto o modelo 3D na Figura 4-19.

Figura 4-17 - Dimensões das vigas e pilares da estrutura

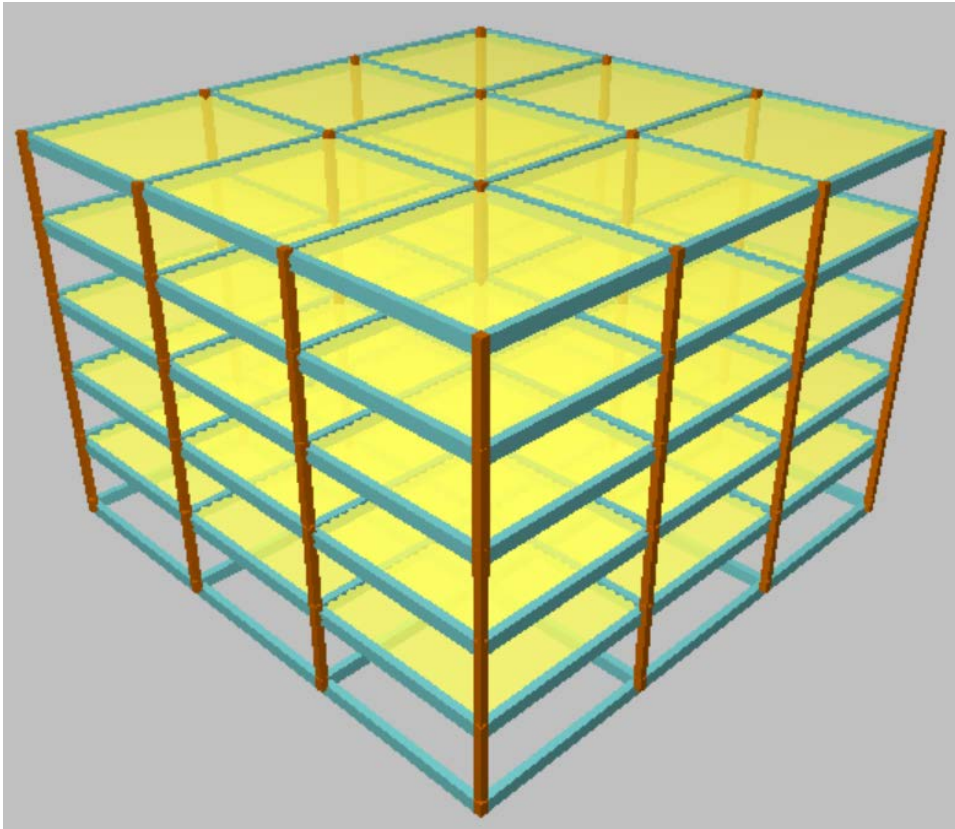


Fonte - Próprio autor

Figura 4-18 - Planta de fôrmas da estrutura com a disposição da laje alveolar



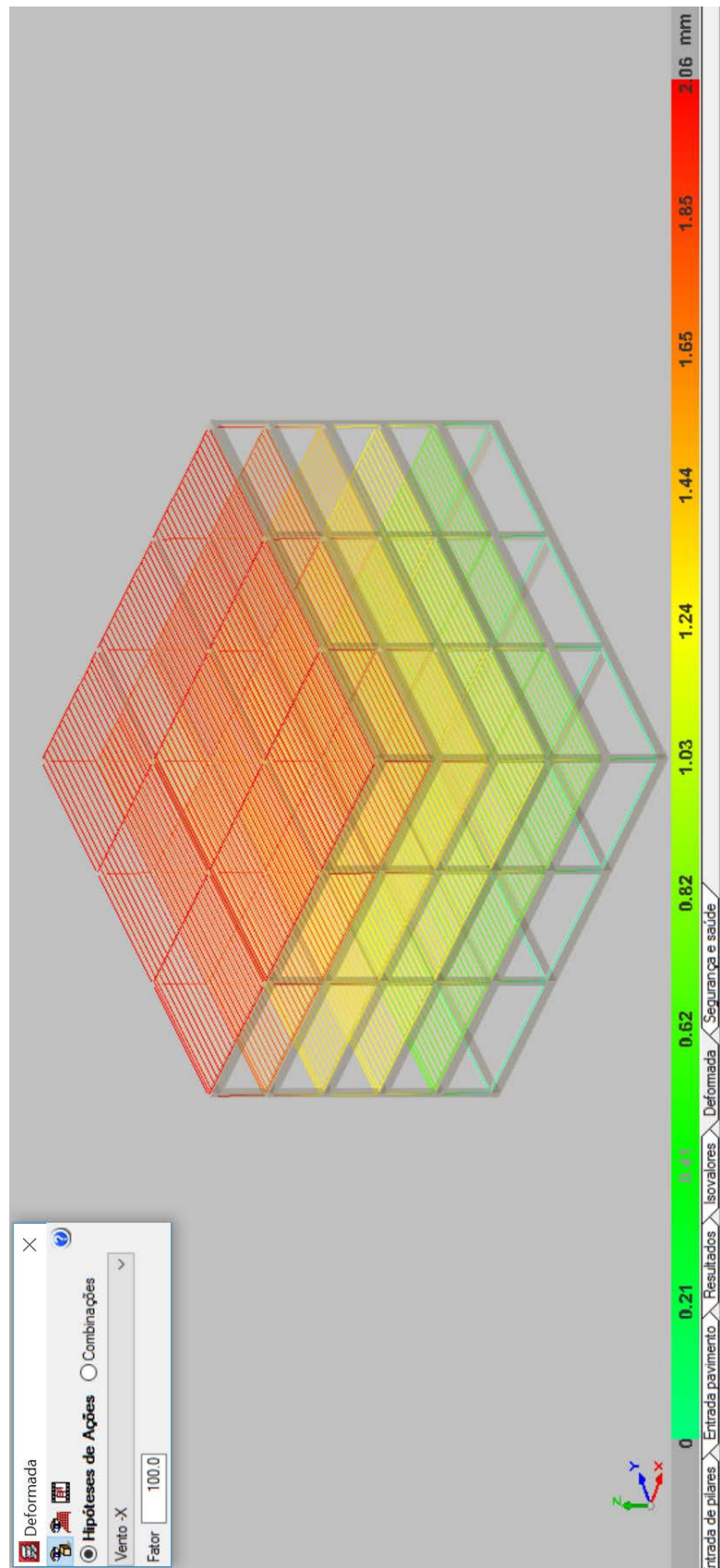
Fonte - Próprio autor

Figura 4-19 - Esquema 3D da estrutura

Fonte - Próprio autor

Com isso se chegou aos valores de deslocamento lateral e γ_z apresentados nas Figuras 4-20 e 4-21.

Figura 4-20 - Deslocamento lateral da estrutura



Fonte - Próprio autor

Figura 4-21 - Valores do gama z

Vento +X	1.134
Vento -X	1.134
Vento +Y	1.133
Vento -Y	1.133

Fonte - Próprio autor

Fazendo a verificação do deslocamento lateral mais crítico têm-se:

$$\frac{H}{1700} = \frac{15}{1700} = 0,008824 = 8,824 \text{ mm (norma)} > 2,06 \text{ mm (programa)}$$

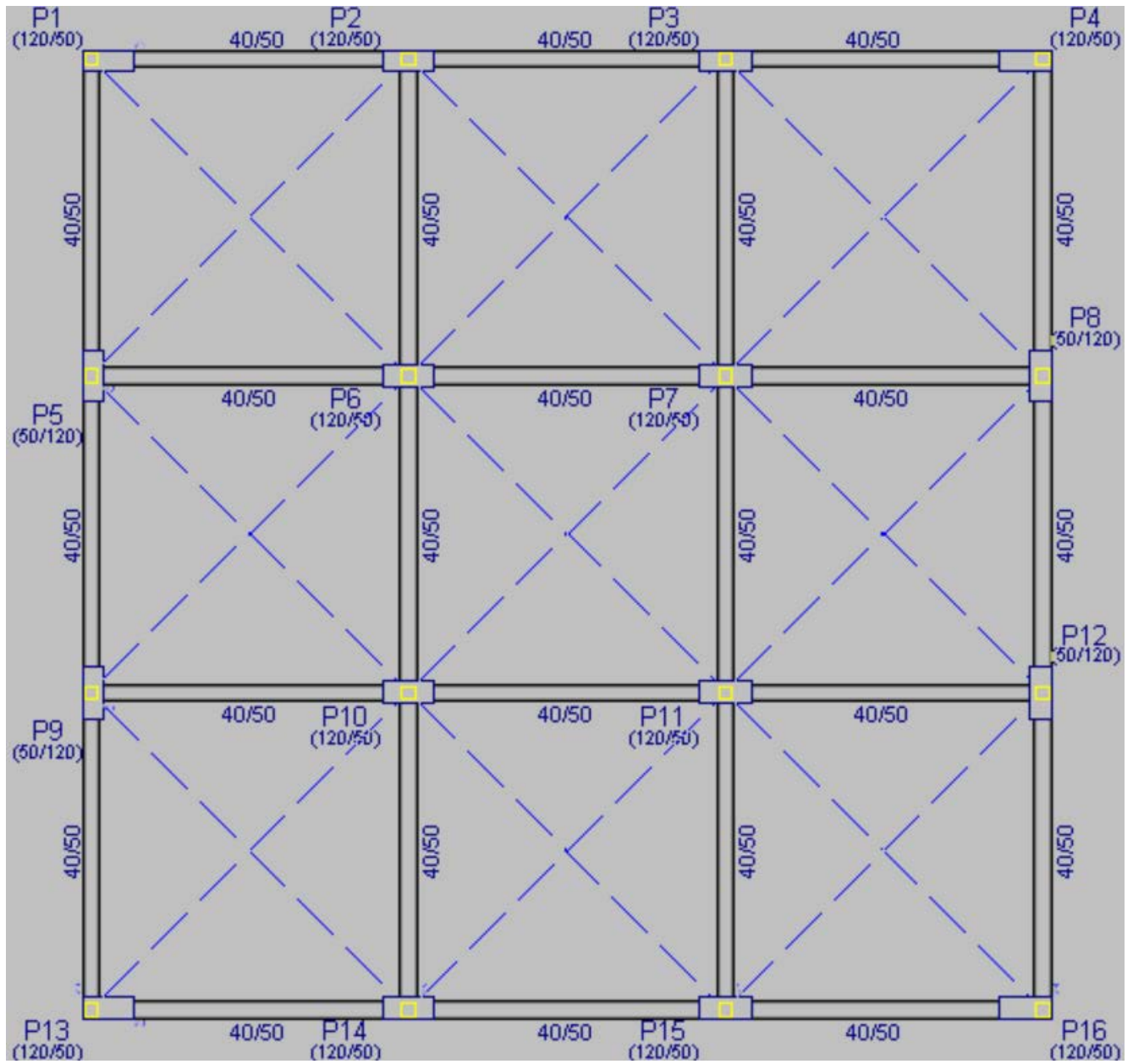
O valor atende ao solicitado em norma.

4.3.2.3 Situação 3 – Estrutura pré-fabricada – 4 andares

Para a estrutura pré-fabricada foi considerada a mesma configuração das lajes da situação anterior com altura de 20 cm e capa de 5 cm. As ligações consideradas são rotuladas.

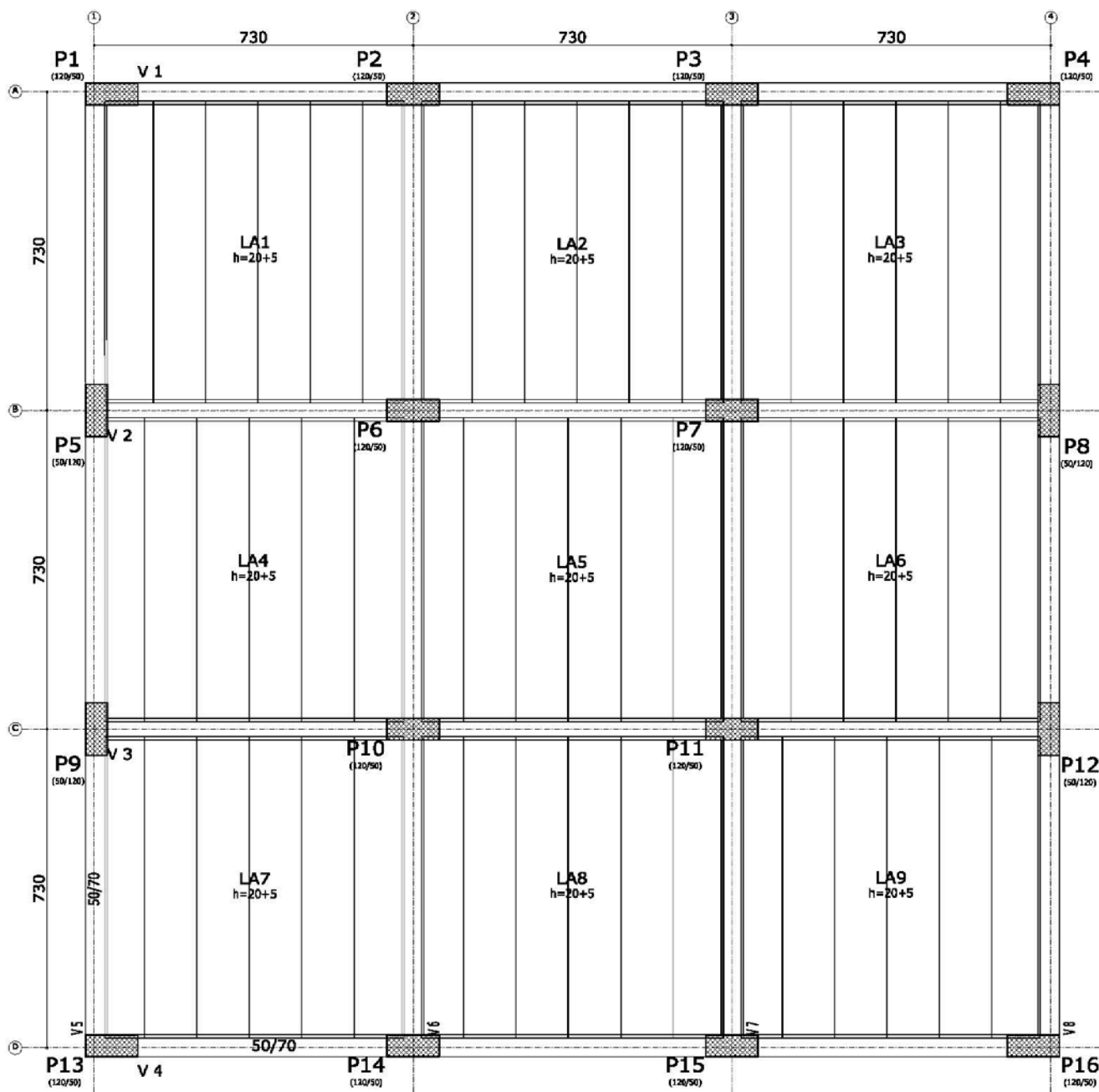
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-22, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-23, enquanto o modelo 3D na Figura 4-24.

Figura 4-22 - Dimensões de vigas e pilares

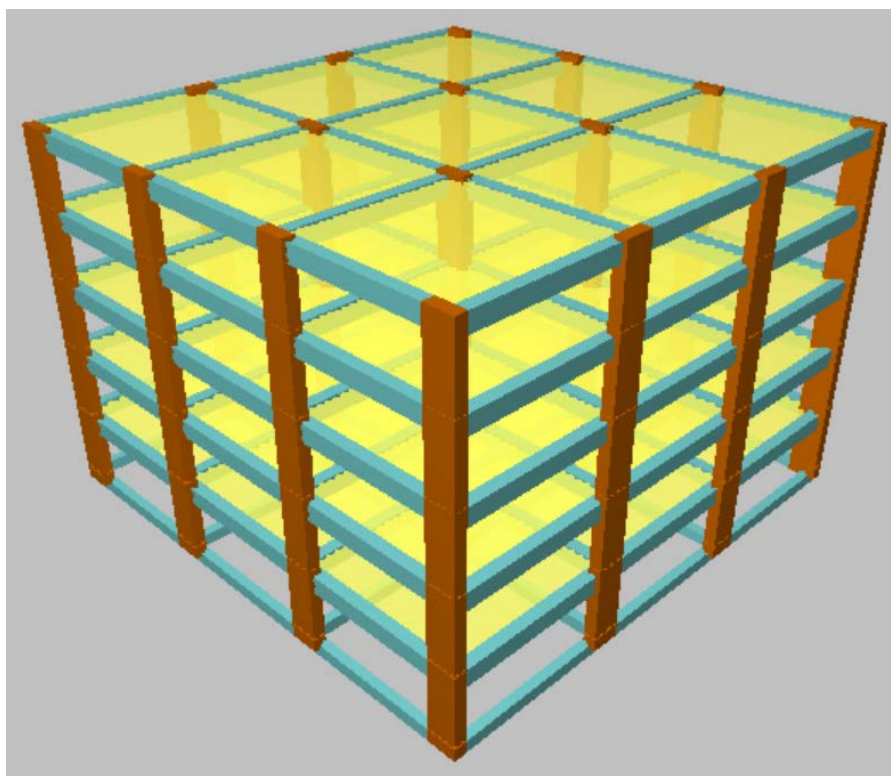


Fonte - Próprio autor

Figura 4-23 - Planta de fôrmas da estrutura para representar a disposição das lajes alveolares



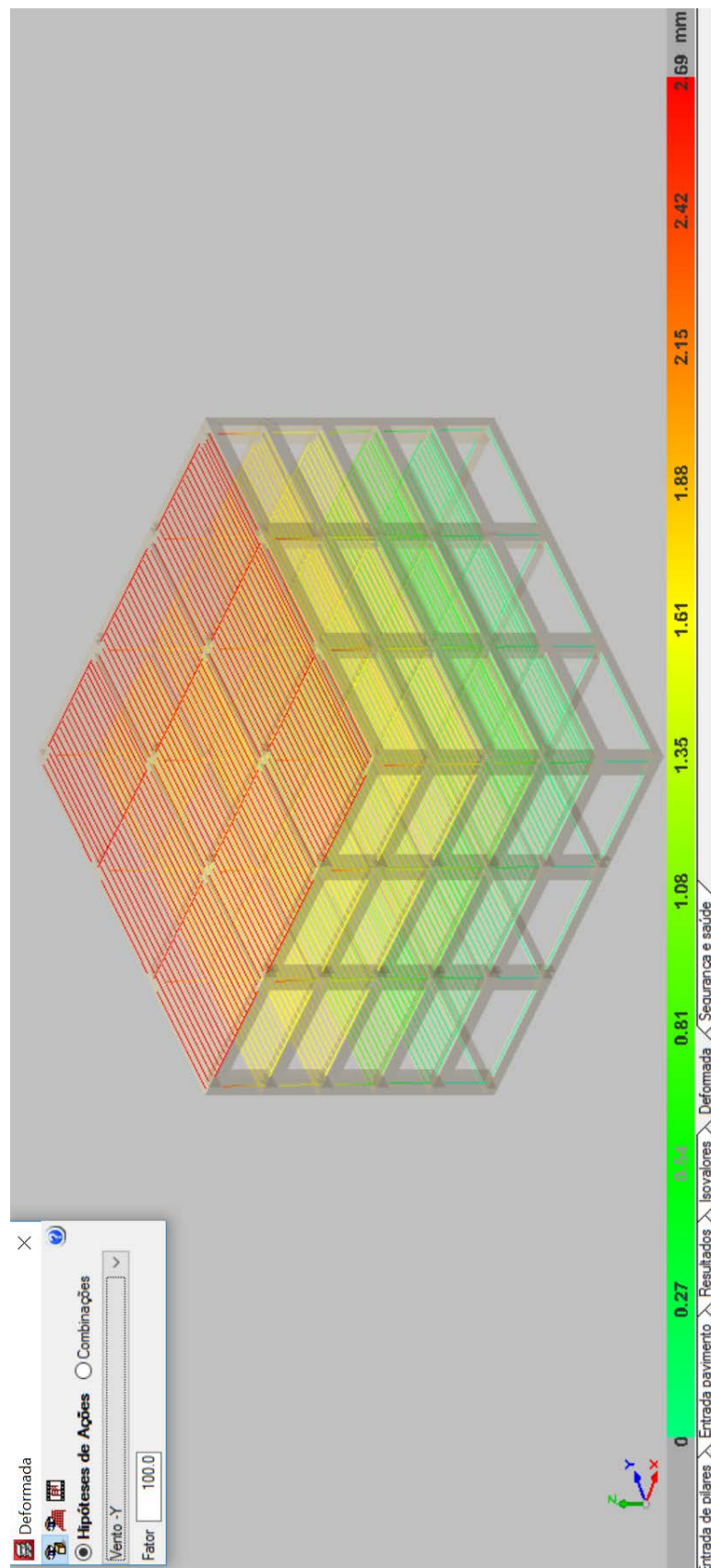
Fonte - Próprio autor

Figura 4-24 - Esquema 3D da estrutura

Fonte - Próprio autor

Já os valores do deslocamento lateral e do γ_z são apresentados nas Figuras 4-25 e 4-26.

Figura 4-25 - Deslocamento lateral da estrutura



Fonte - Próprio autor

Figura 4-26 - Valores do gama z

Vento +X	1.067
Vento -X	1.067
Vento +Y	1.146
Vento -Y	1.146

Fonte - Próprio autor

Fazendo as verificações do deslocamento lateral com relação à norma se chega em:

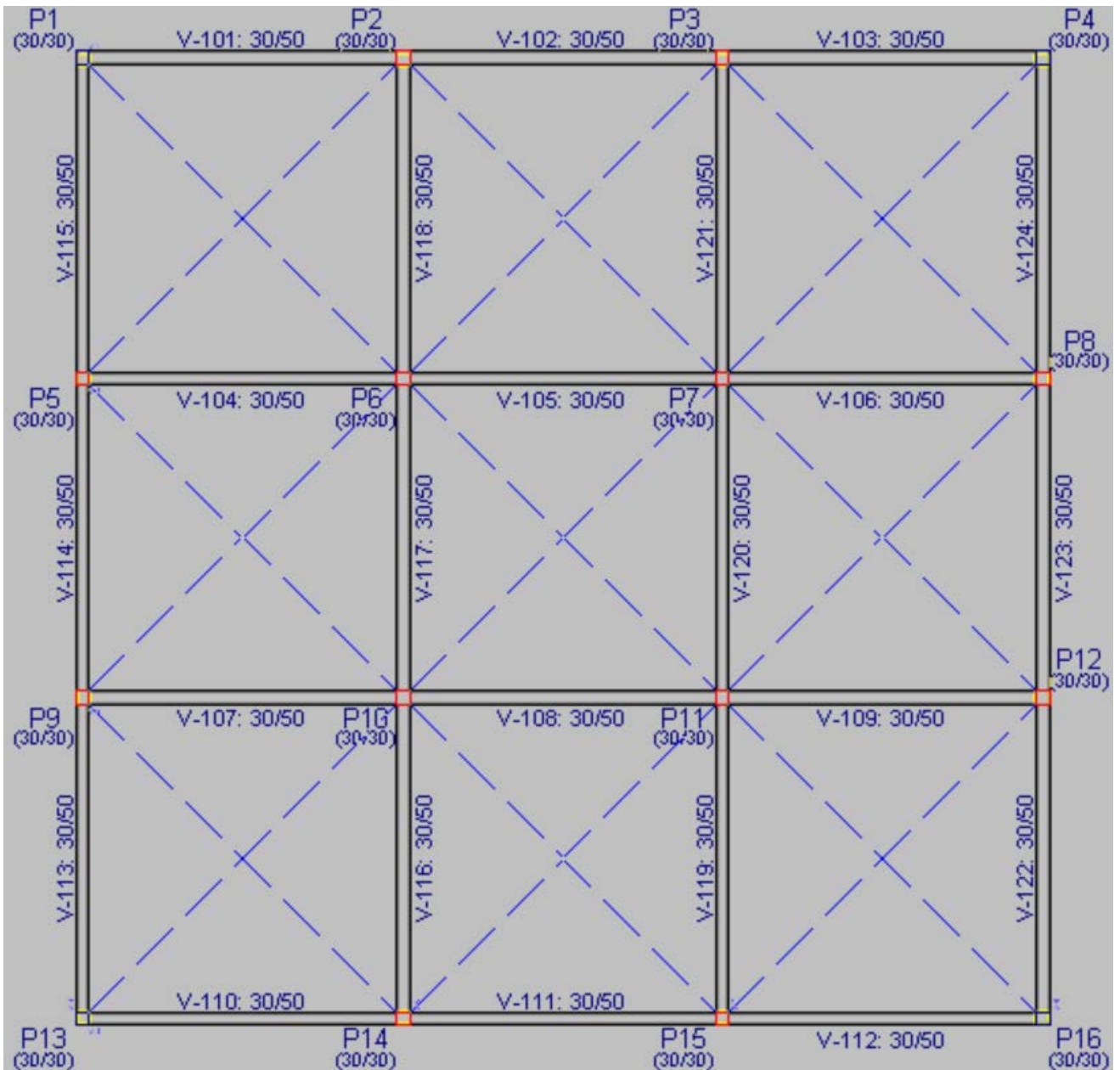
$$\frac{H}{1200} = \frac{15}{1200} = 0,0125 = 12,5 \text{ mm (norma)} > 2,69 \text{ mm (programa)}$$

O valor atende aos requisitos de norma.

4.3.2.4 Situação 4 – Estrutura moldada no local em concreto armado – 7 andares

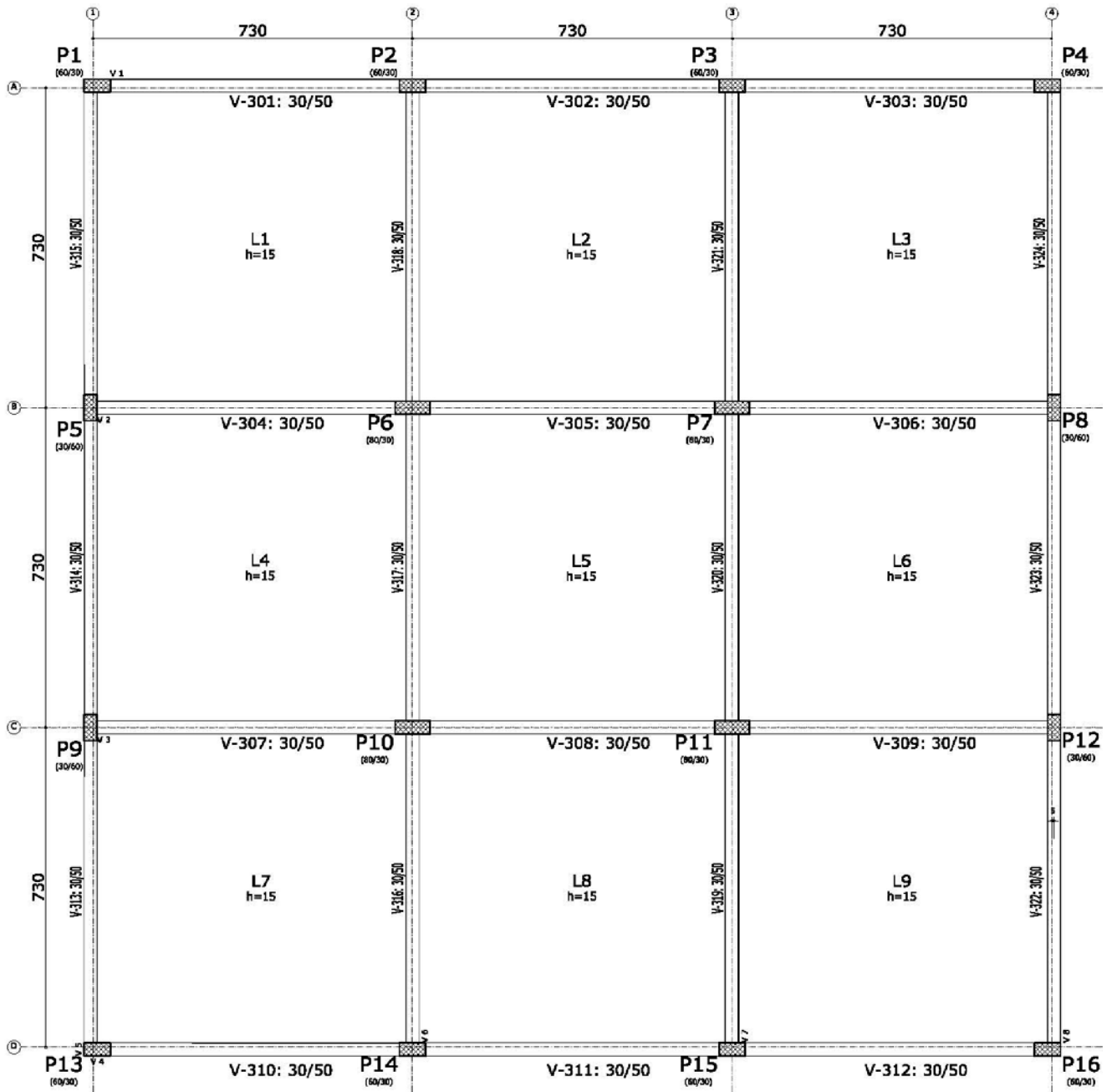
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-27, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-28, enquanto o modelo 3D na Figura 4-29.

Figura 4-27 - Dimensões de vigas e pilares

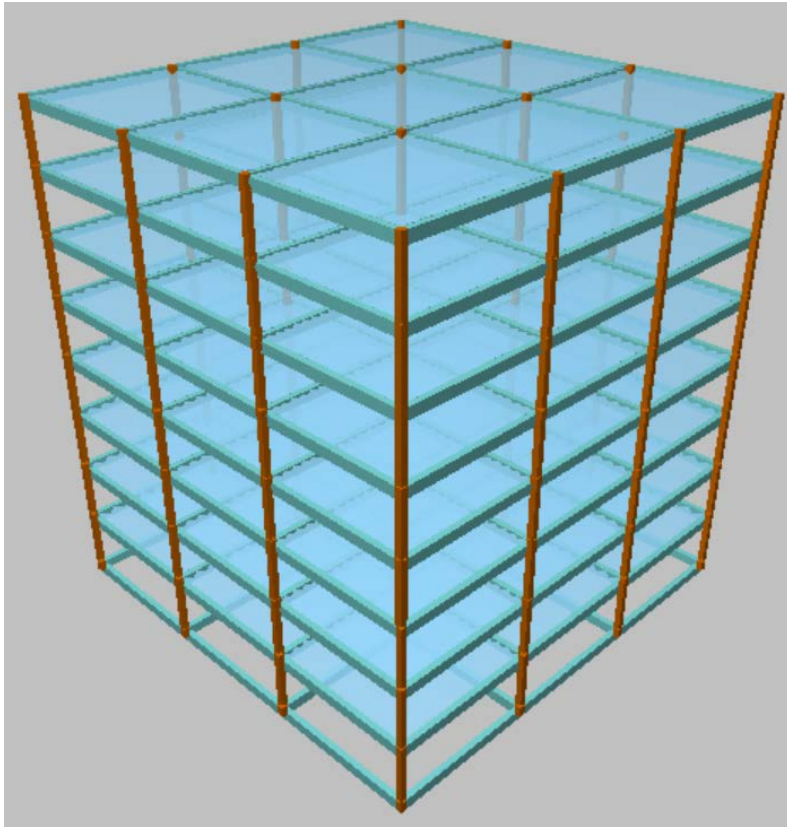


Fonte - Próprio autor

Figura 4-28 - Planta de fôrmas da estrutura



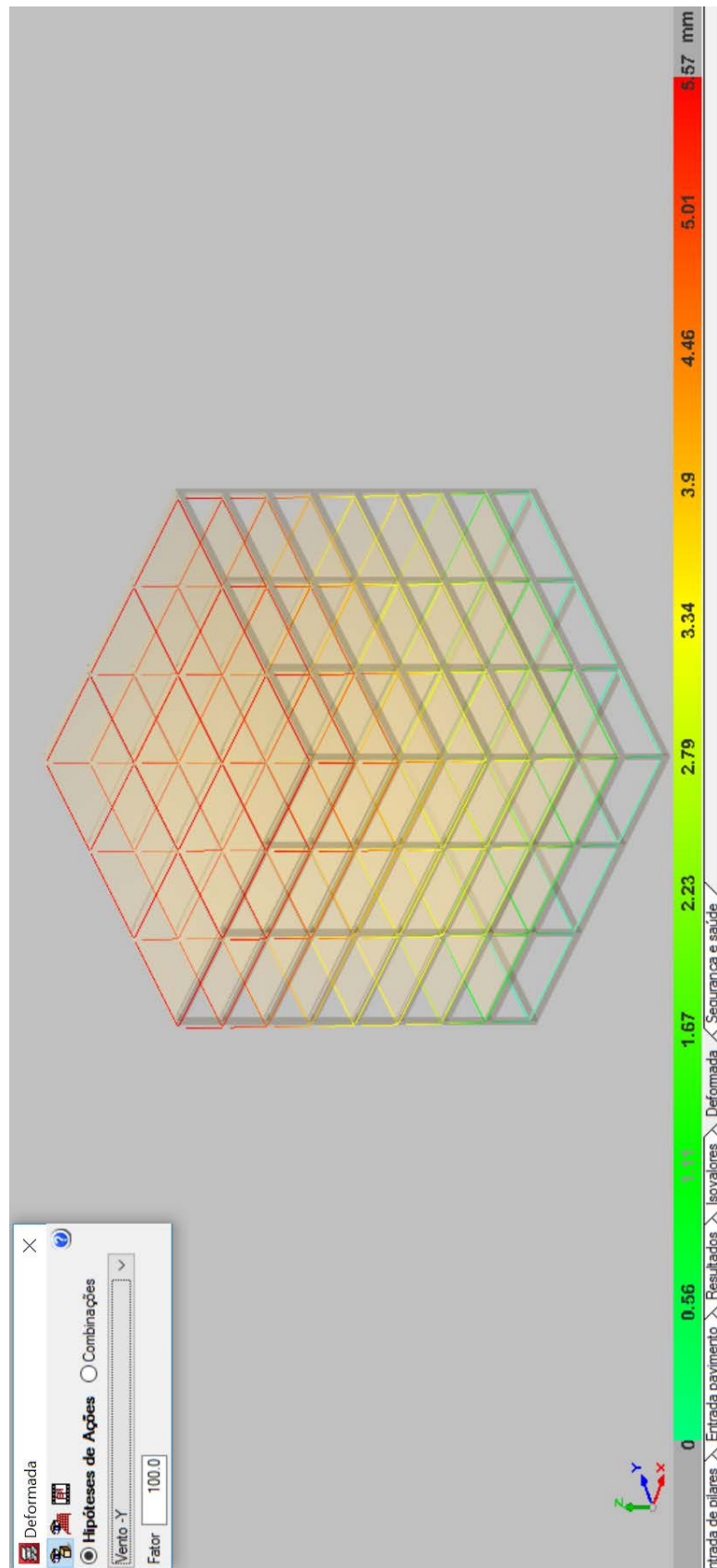
Fonte - Próprio autor

Figura 4-29 - Esquema 3D da estrutura

Fonte - Próprio autor

O deslocamento lateral e o γ_z são apresentados nas Figuras 4-30 e 4-31.

Figura 4-30 - Deslocamento lateral da estrutura



Fonte - Próprio autor

Figura 4-31 - Valores do gama z

Vento +X	1.216
Vento -X	1.216
Vento +Y	1.216
Vento -Y	1.216

Fonte - Próprio autor

A verificação do deslocamento lateral é dada por:

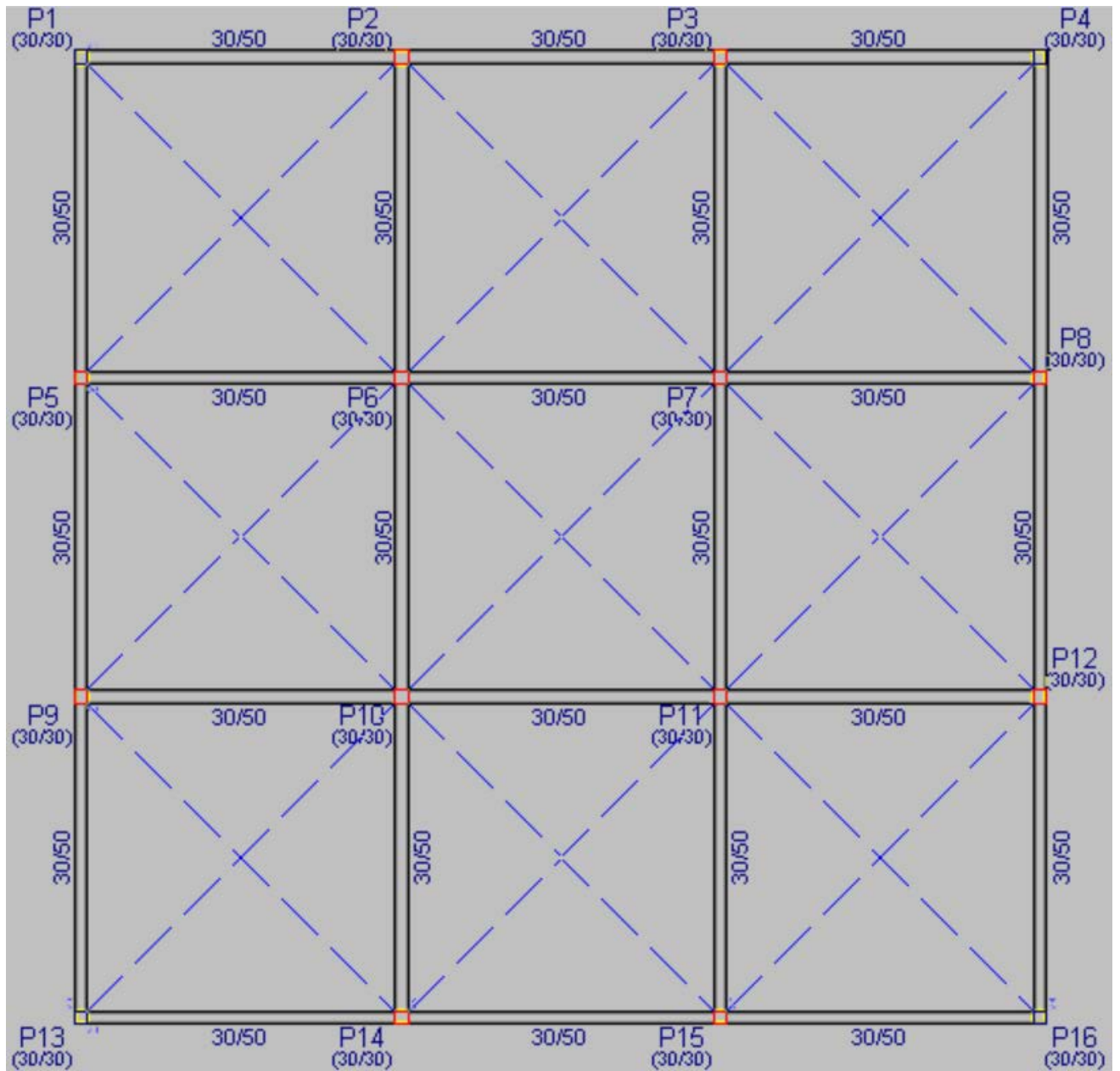
$$\frac{H}{1700} = \frac{24}{1700} = 0,0144 = 14,4 \text{ mm (norma)} > 5,57 \text{ mm (programa)}$$

O valor atende ao solicitado em norma.

4.3.2.5 Situação 5 – Estrutura híbrida – 7 andares

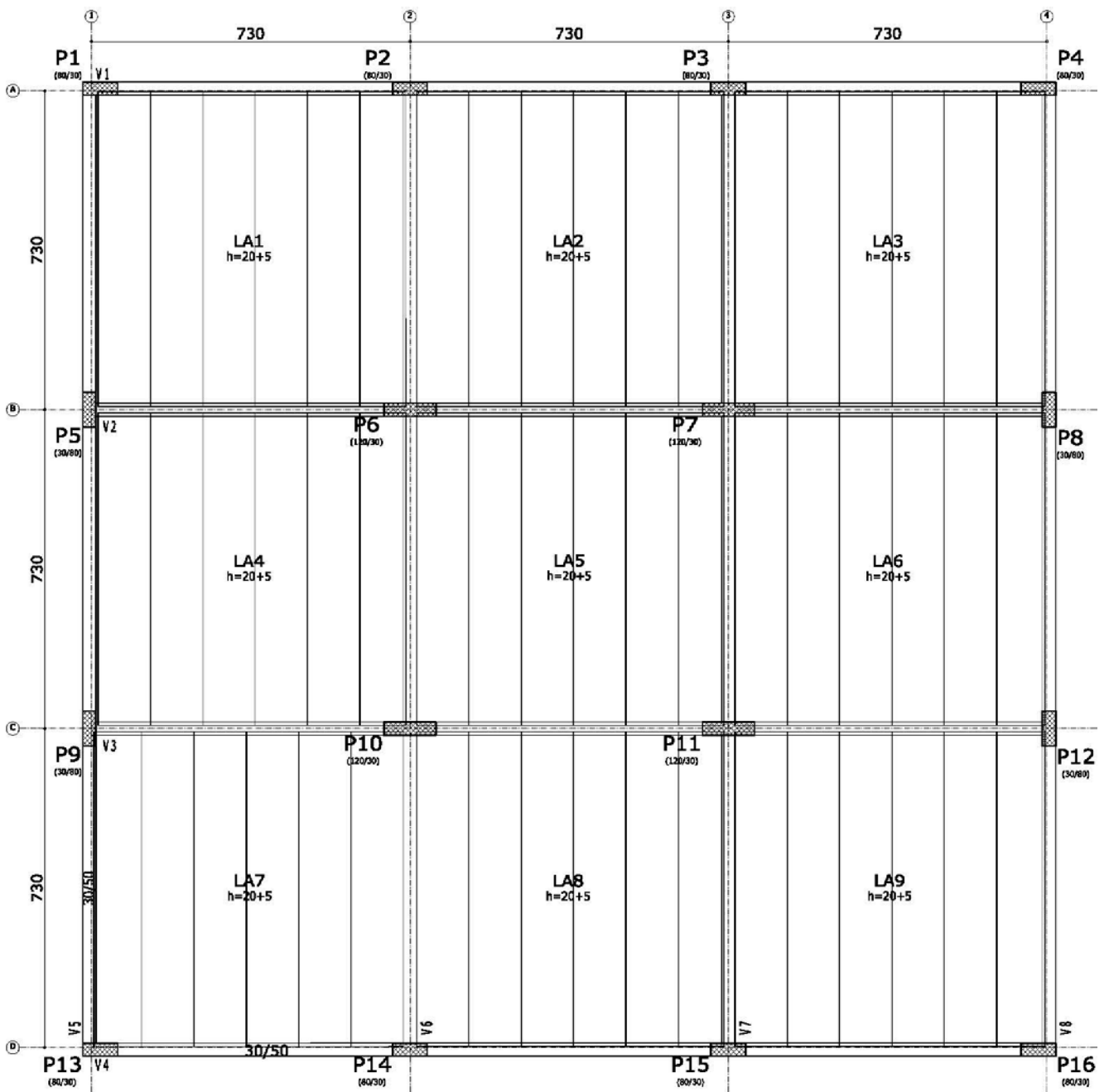
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-32, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-33, enquanto o modelo 3D na Figura 4-34.

Figura 4-32 - Dimensões de vigas e pilares



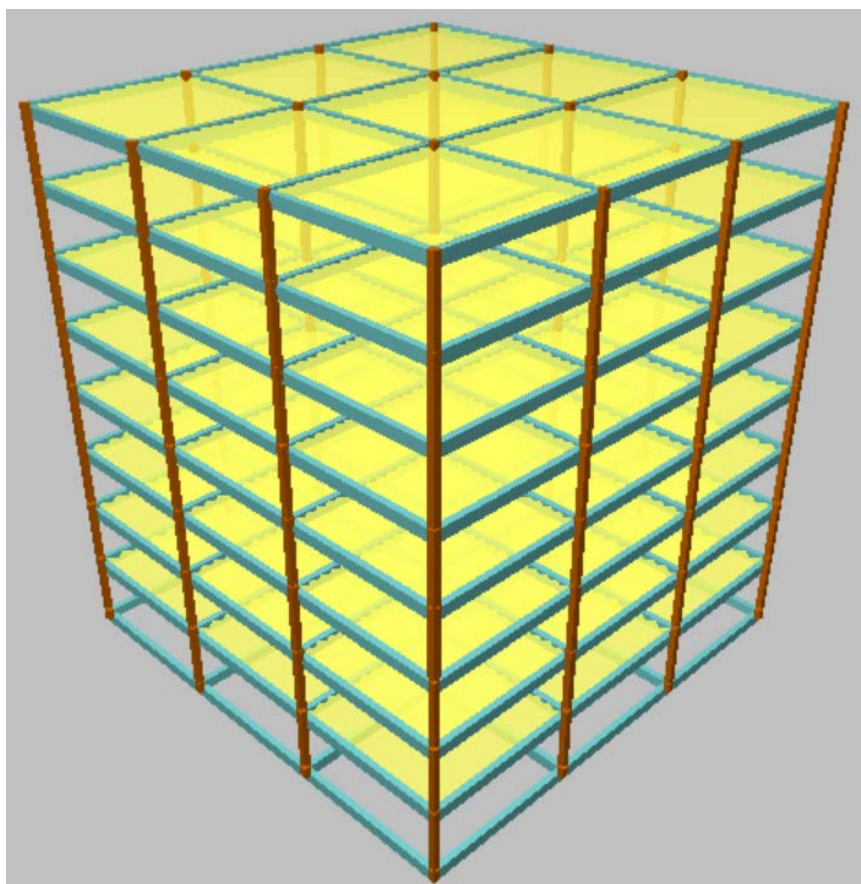
Fonte - Próprio autor

Figura 4-33 - Planta de fôrmas da estrutura para representar a disposição das lajes alveolares



Fonte - Próprio autor

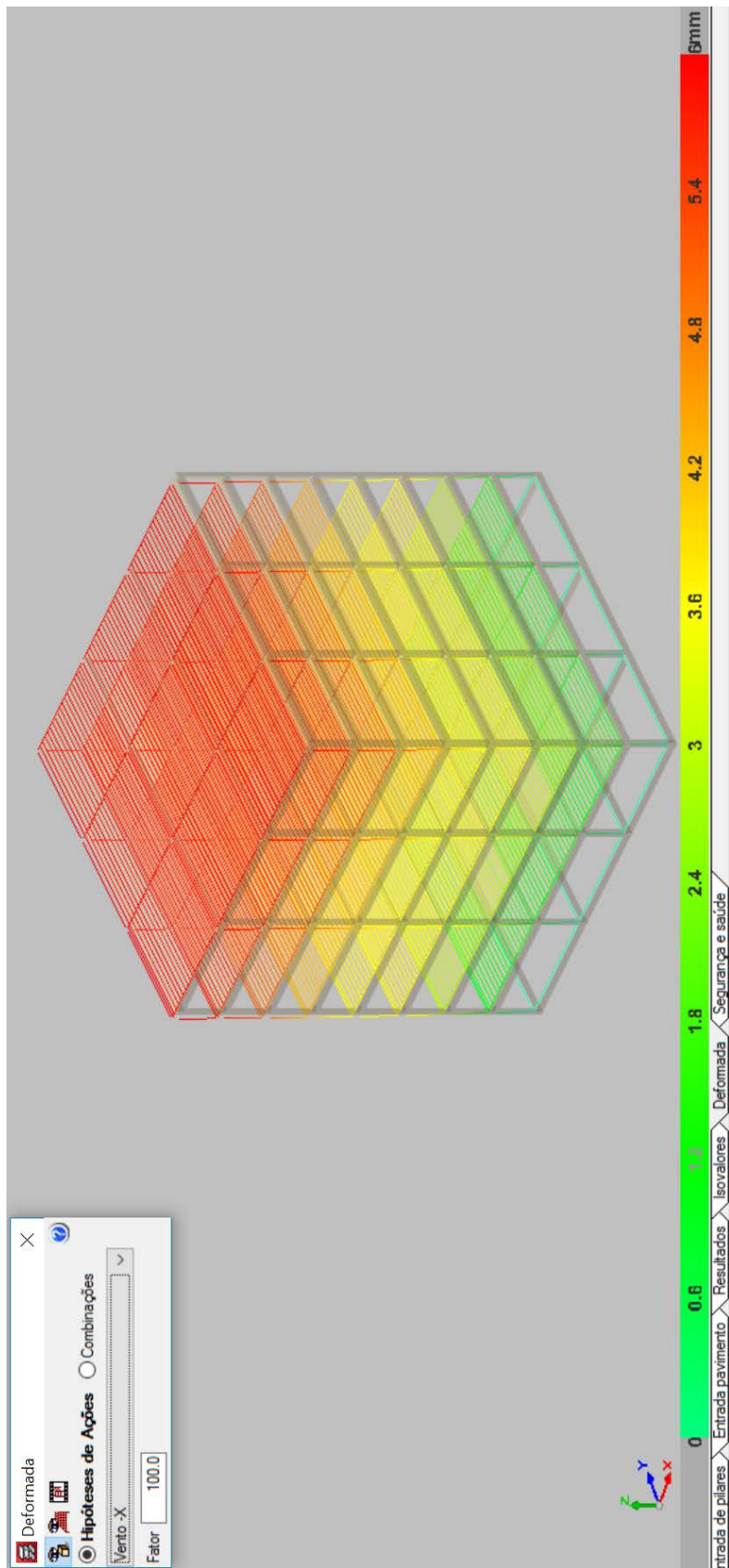
Figura 4-34 - Esquema 3D da estrutura



Fonte - Próprio autor

O deslocamento lateral e o γ_z são apresentados nas Figuras 4-35 e 4-36.

Figura 4-35 - Deslocamento lateral da estrutura



Fonte - Próprio autor

Figura 4-36 - Valores do gama z

Vento +X	1.251
Vento -X	1.251
Vento +Y	1.248
Vento -Y	1.248

Fonte - Próprio autor

A verificação do deslocamento lateral é:

$$\frac{H}{1700} = \frac{24,51}{1700} = 0,0144 = 14,4 \text{ mm (norma)} > 6 \text{ mm (programa)}$$

Portanto está de acordo com a norma.

4.3.2.6 Situação 6 – Estrutura pré-fabricada – 7 andares

A estrutura pré-fabricada de 7 andares não tem estabilidade global aceitável em normas, conforme é possível ver na Figura 4-37, e é necessário adotar outro tipo de ligação para que possa ser viabilizada.

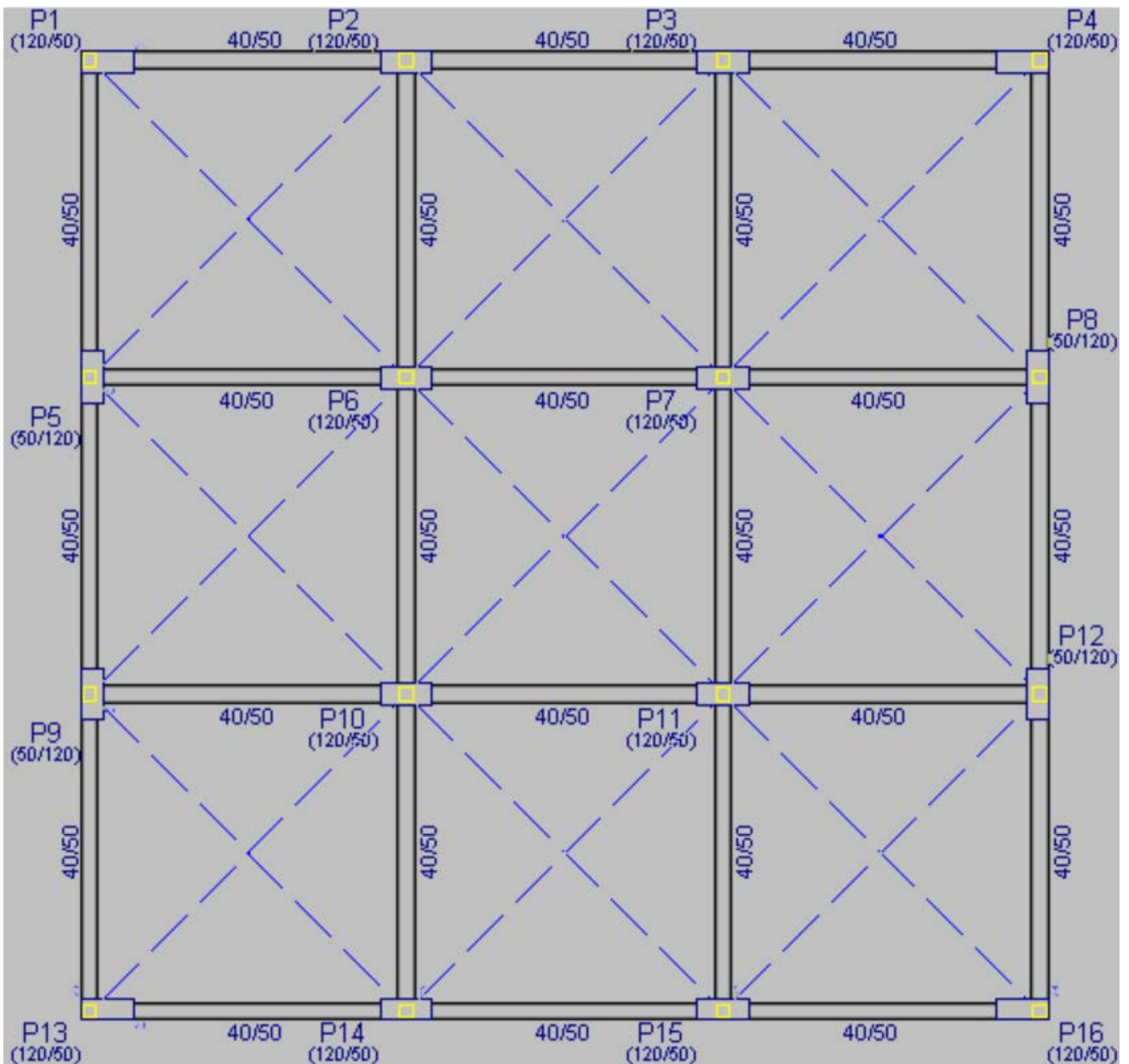
Figura 4-37 - Erro identificado ao se calcular a estrutura pelo Cypecad

Erros de cálculo da obra 'MESTRADO Pre fabricado restricao gama z 7 andares' (Versão 2014.h)
 GamaZ >= 1.3. É aconselhável enrijecer a estrutura, já que é muito deslocável
 O coeficiente de amplificação de esforços devido aos efeitos de 2a ordem é maior que 1.33. Aconselha-se enrijecer a estrutura e calculá-la novamente. Lembre-se de que o método aplicado para considerar os efeitos de 2a ordem tem um campo de aplicação limitado, devendo ser aplicado, neste caso, um método mais geral de cálculo dos efeitos de 2a ordem.

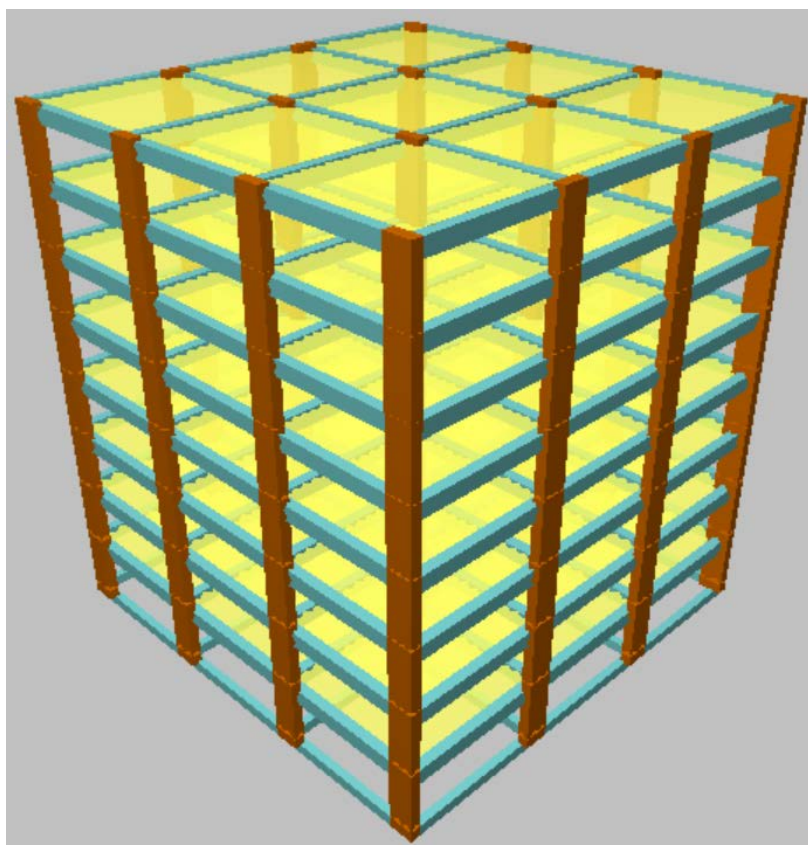
Fonte - Próprio autor

As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-38, enquanto o modelo 3D na Figura 4-39.

Figura 4-38 - Dimensões de vigas e pilares



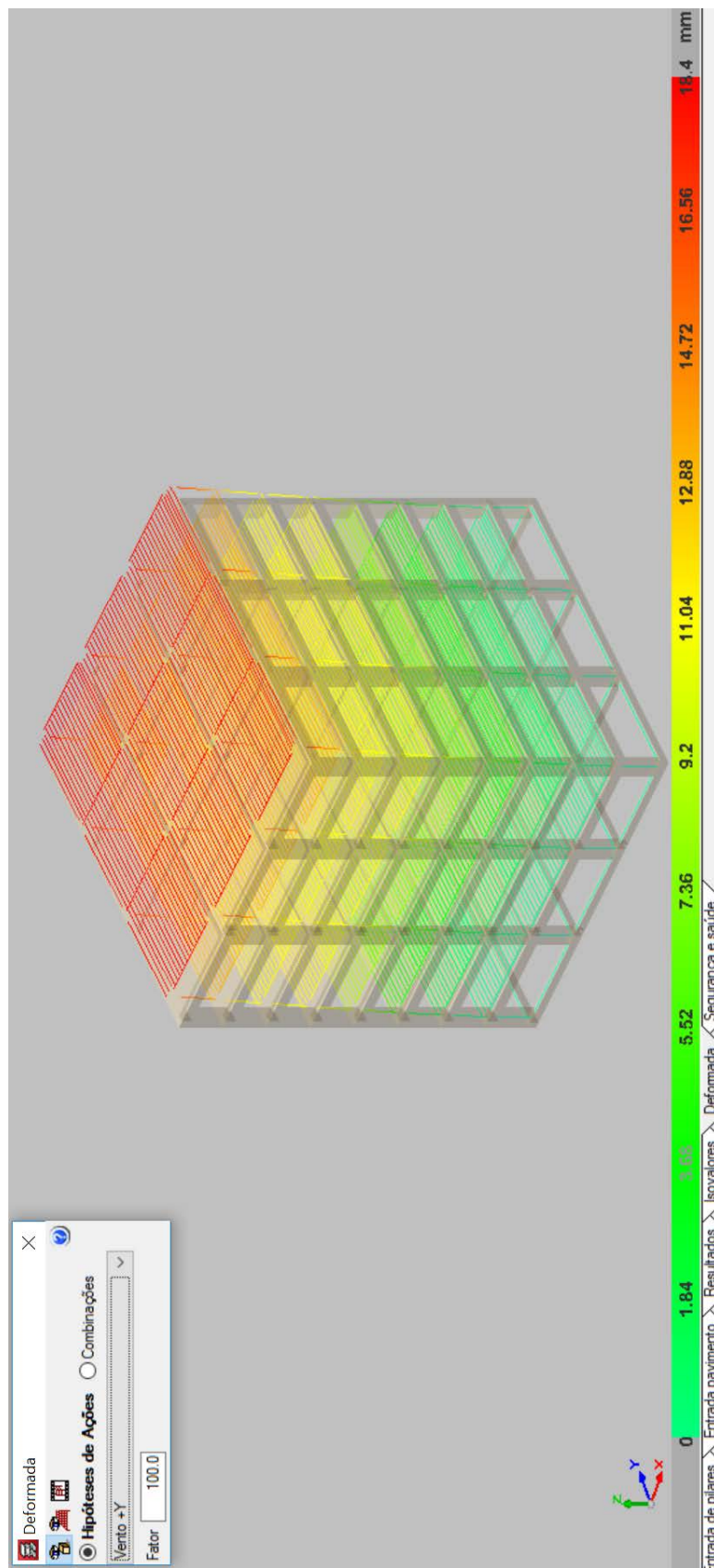
Fonte - Próprio autor

Figura 4-39 - Esquema 3D da estrutura

Fonte - Próprio autor

O deslocamento lateral e o γ_z são apresentados nas Figuras 4-40 e 4-41.

Figura 4-40 - Deslocamento lateral da estrutura



Fonte - Próprio autor

Figura 4-41 - Valores do gama z

Vento +X	1.320
Vento -X	1.320
Vento +Y	1.918
Vento -Y	1.918

Fonte - Próprio autor

A verificação do deslocamento lateral

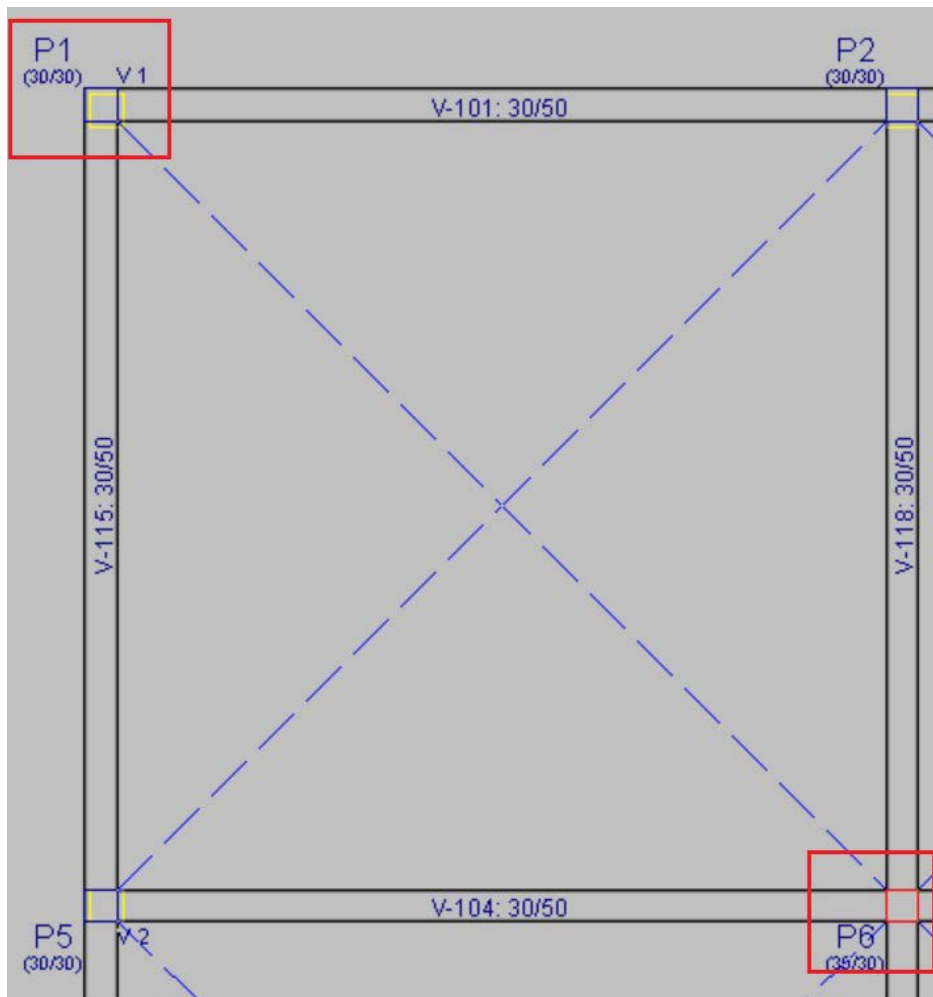
$$\frac{H}{1200} = \frac{24,51}{1200} = 0,0204 = 20,4 \text{ mm (norma)} > 18,4 \text{ mm (programa)}$$

Por norma, o deslocamento lateral é aceitável. Mas a estrutura não apresenta o γ_z mínimo para garantir a estabilidade global da estrutura.

4.3.2.7 Análise dos dados da situação 1

Para melhor compreensão das modificações efetuadas nas estruturas, foram escolhidos dois pilares (Figura 4-42) para análise dos dados das estruturas de 4 e 7 andares que originou as Tabelas 1 e 2.

Figura 4-42 - Pilares escolhidos para análise



Fonte - Próprio autor

Tabela 1 - Comparativo das dimensões dos pilares (em cm) da estrutura de 4 andares

	Moldado no Local	Híbrido	Pré-fabricado
Pilar P1	30x30	30x30	120x50
Pilar P6	80x30	80x30	120x50

Tabela 2 - Comparativo das dimensões dos pilares (em cm) da estrutura de 7 andares

	Moldado no Local	Híbrido	Pré-fabricado
Pilar P1	60x30	80x30	-
Pilar P6	80x30	120x30	-

As variações das dimensões dos pilares das três situações (moldado no local, híbrido e pré-fabricado, mostrados na tabela anterior) apresentam algumas diferenças entre os sistemas. Os valores das dimensões dos pilares foram alterados para que a estrutura estivesse de acordo com as necessidades de cálculo fossem atendidas.

No exemplo de quatro andares é possível perceber que o híbrido é idêntico ao moldado no local e que o pré-fabricado apresenta grandes seções. Já no exemplo de sete andares, o mesmo não ocorre, sendo necessário aumentar as seções do híbrido para garantir as condições de cálculo da estrutura. O pré-fabricado não atende as condições de cálculo para a combinação escolhida.

Outra análise feita a partir do cálculo efetuado se obteve os deslocamentos laterais e o γ_z que são os indicadores escolhidos para a comparação nos modelos. Com isso os Gráficos 1 e 2 foram criados para melhor visualização comparativa dos sistemas construtivos escolhidos.

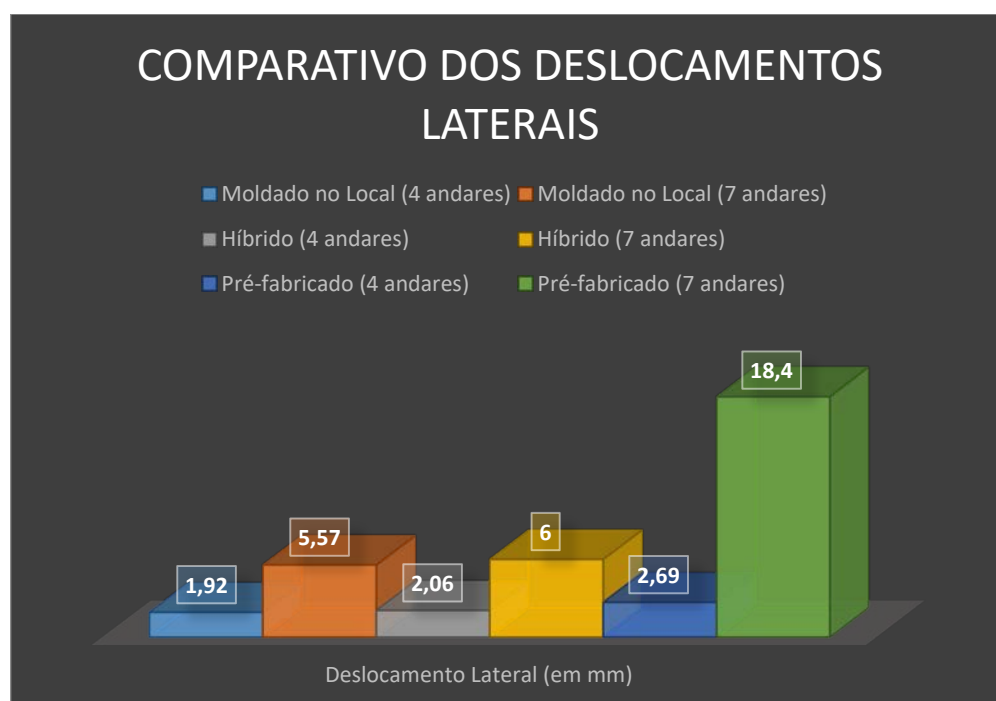


Gráfico 1 - Comparativo dos deslocamentos laterais dos modelos propostos



Gráfico 2 - Comparativo do gama z dos modelos propostos

O gráfico representa uma situação em que o γ_z resultante está acima do valor 1,1, o que implica em um cálculo mais sofisticado e considerando os efeitos de segunda ordem para a estrutura. Já no deslocamento lateral é possível perceber que, para a estrutura pré-fabricada ser compatível em termos de desempenho, é necessário que grandes seções sejam aplicadas, o que gera um consumo de material maior do que as outras duas opções. Como a análise feita não está sendo englobada no fator tempo, é importante afirmar que a opção pelo sistema pré-fabricado implica em um outro estudo de viabilidade, mas que nas situações mencionadas o consumo de material é muito maior.

4.3.3 Modelo 2

Dados iniciais:

- O edifício a ser analisado é uma construção residencial de:
 - 4 andares (térreo + 4 andares) na cidade de São Paulo;
 - 7 andares (térreo + 7 andares) na cidade de São Paulo.

Capítulo 4 – Estudo de Caso em Modelos para Base Comparativa

- Em planta o edifício possui dimensões de 12,15 por 23,55 metros, com 286,13 m² por pavimento;
- f_{ck} = 30 MPA para lajes e vigas;
- f_{ck} = 30 MPA para pilares;
- Aço: CA-50
- Carregamentos:
 - Sobrecarga = 2,5 KN/m²
 - Carga permanente = 2,0 KN/m²
 - Alvenaria = 6,3 KN/m²
 - Vento = 45m/s (As considerações do vento são possíveis de serem vistas na Figura 4-43)

Figura 4-43 - Considerações de vento utilizadas

Ação de vento segundo X +X 1.00 -X 1.00
 Ação de vento segundo Y +Y 1.00 -Y 1.00

Larguras de faixa: Y 12.15 X 23.55 Por planta

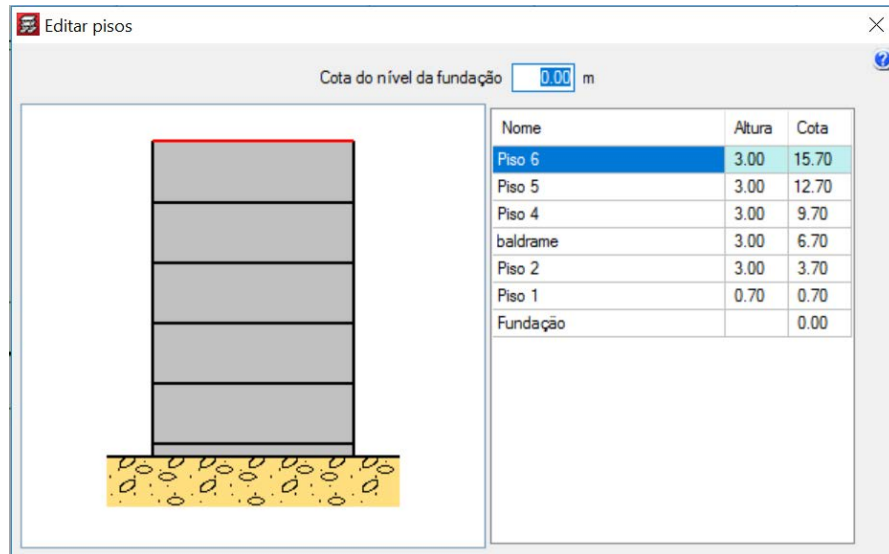
Velocidade Básica: 45.0 m/s
 Categoria: IV
 Classe: B
 Fator Probabilístico: Grupo 2
 Fator Topográfico +x: 1.0
 Fator Topográfico -x: 1.0
 Fator Topográfico +y: 1.0
 Fator Topográfico -y: 1.0

Mapa de vento: 35, 30, 30, 30, 35, 45, 50, 30, 35, 45, 50

Fonte - Próprio autor

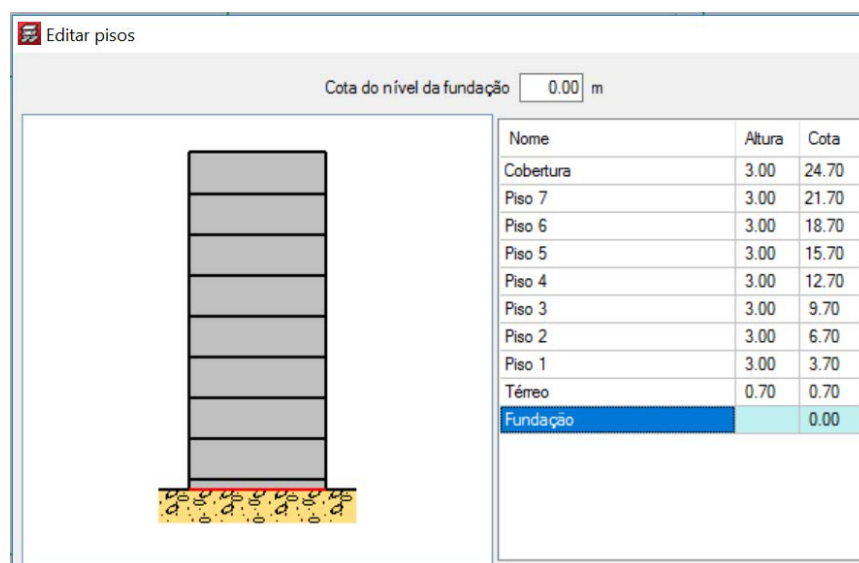
- Laje maciça: altura = 15 cm
- Laje alveolar: altura = 20 cm, adicionando 5 cm de capeamento
- Altura total do edifício = 15,75 m (para 4 andares – Figura 4-44) e 24,70 m (para 7 andares – Figura 4-45)

Figura 4-44 - Cotas da estrutura de 4 andares



Fonte - Próprio autor

Figura 4-45 - Cotas da estrutura de 7 andares



Fonte - Próprio autor

- Outras considerações:
 - Distância de piso a piso = 3 m
 - Densidade média do bloco = 1300 kg/m³
 - Largura do bloco = 19 cm

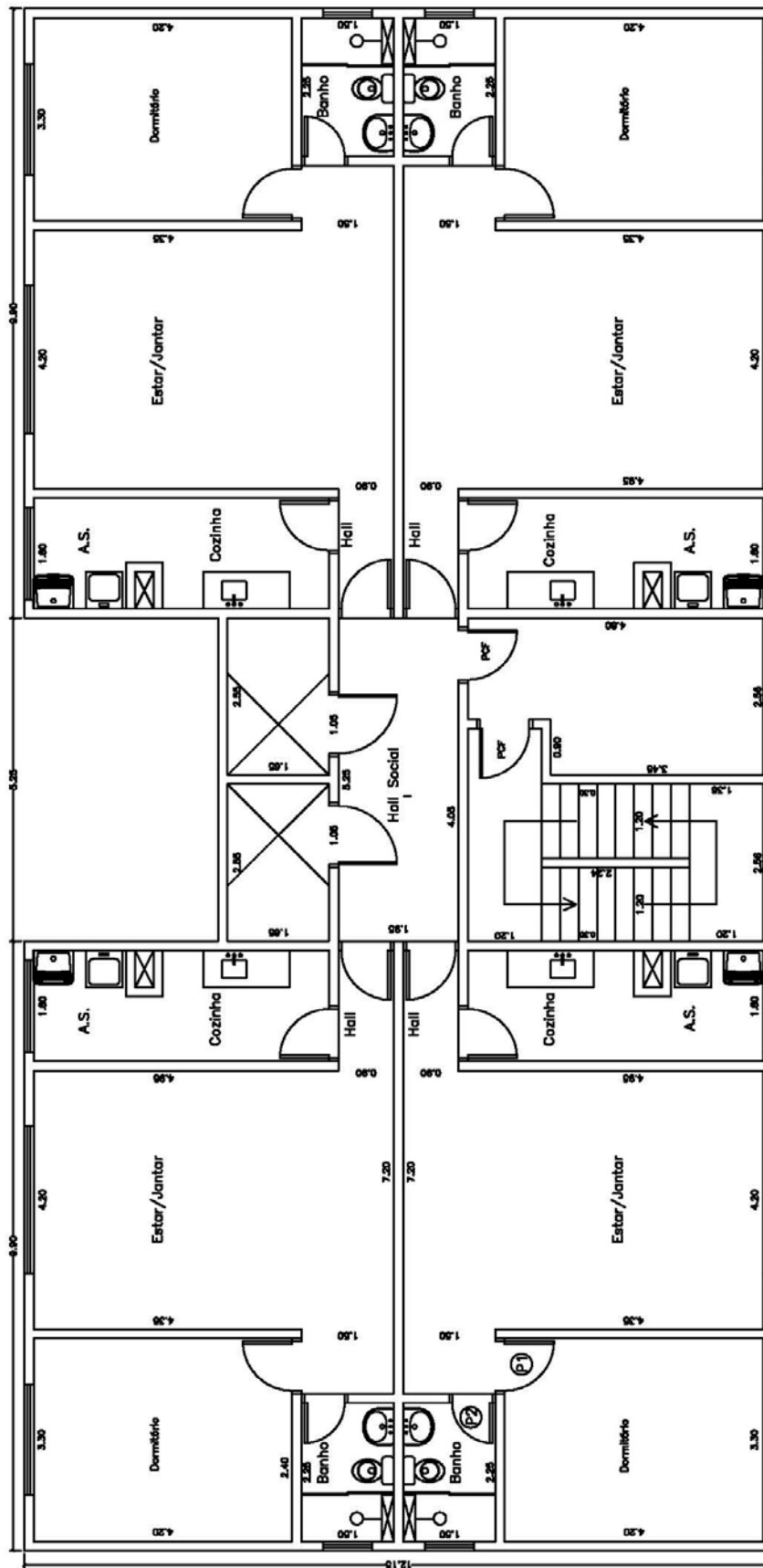
- o Altura da parede = 3 m – 0,5 m (viga, quando utilizada viga de 50 cm) = 2,5 m

- A partir daí se tem a carga da parede considerada:
 $2,5 \text{ m} \times 0,19 \text{ m} \times 1300 \text{ kg/m}^3 = 617 \text{ kg/m} = 0,62 \text{ KN/m}$

- No último andar, considerando uma platibanda no perímetro:
 $1,0 \text{ m} \times 0,19 \text{ m} \times 1300 \text{ kg/m}^3 = 247 \text{ kg/m} = 2,47 \text{ KN/m}$

A planta arquitetônica da edificação é apresentada na Figura 4-46.

Figura 4-46 - Arquitetura da edificação

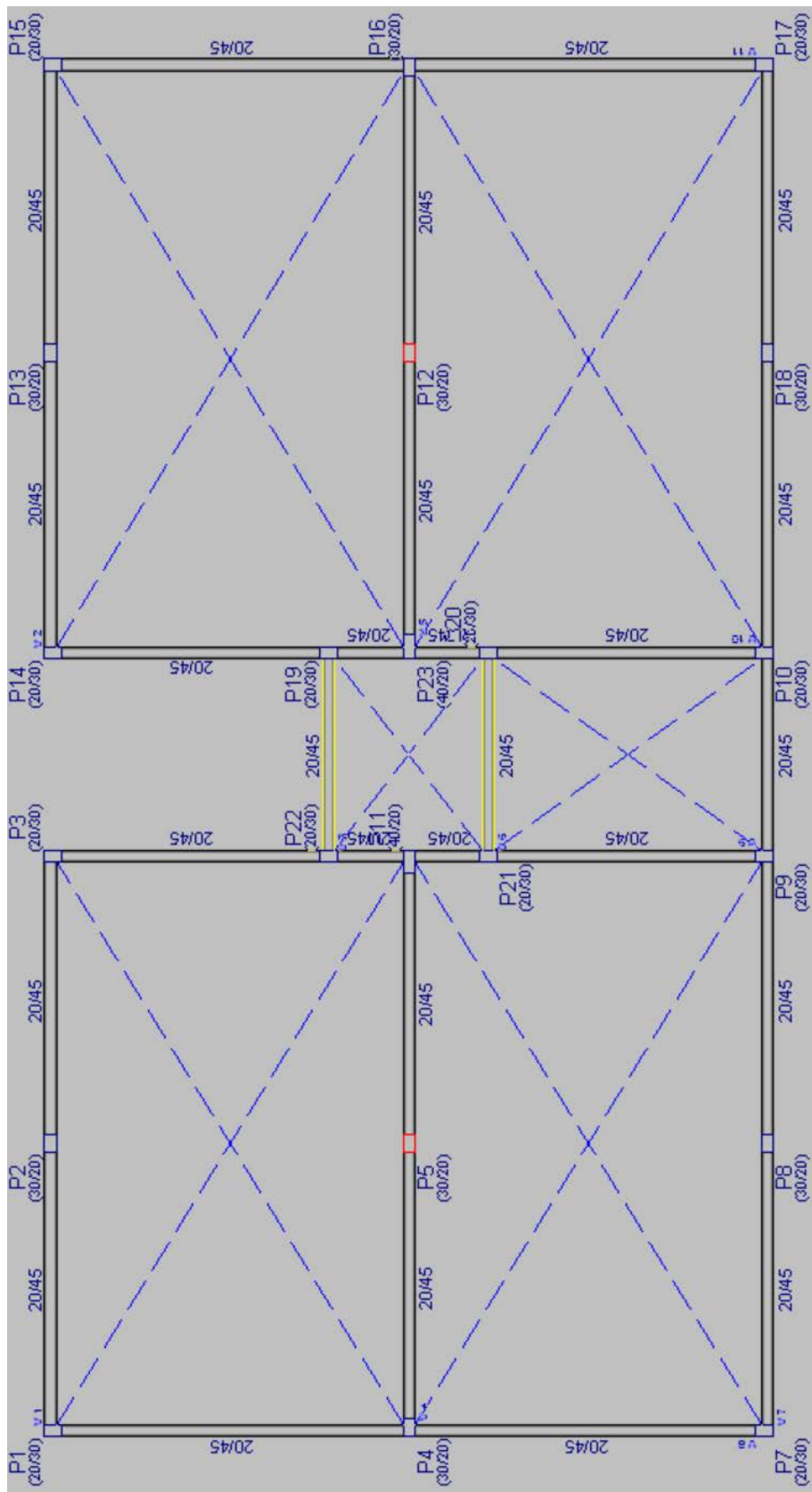


Fonte - Próprio autor

4.3.3.1 Situação 1 – Estrutura em concreto armado moldada no local – 4 andares

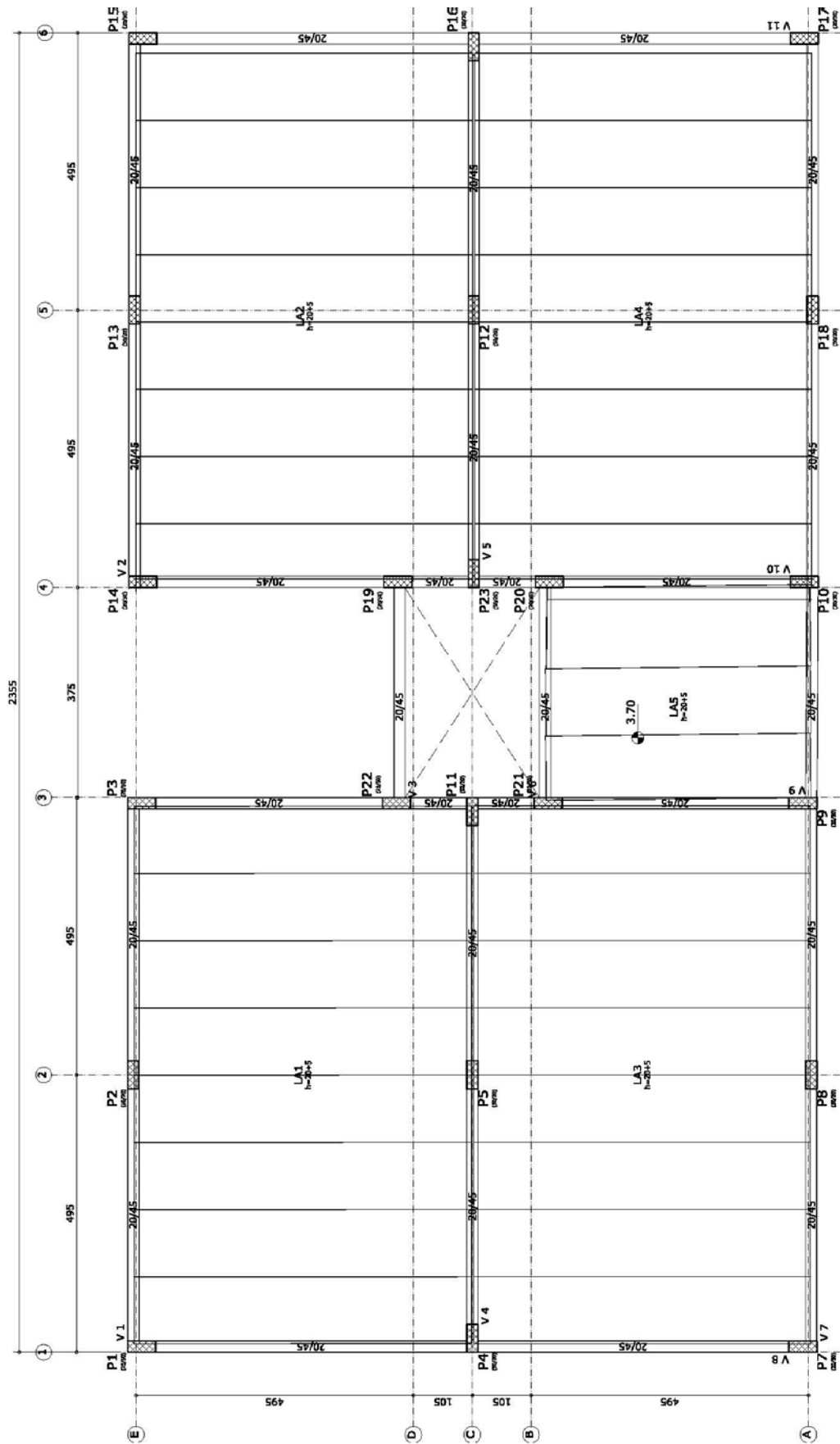
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-47, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-48, enquanto o modelo 3D na Figura 4-49.

Figura 4-47 - Dimensões de vigas e pilares



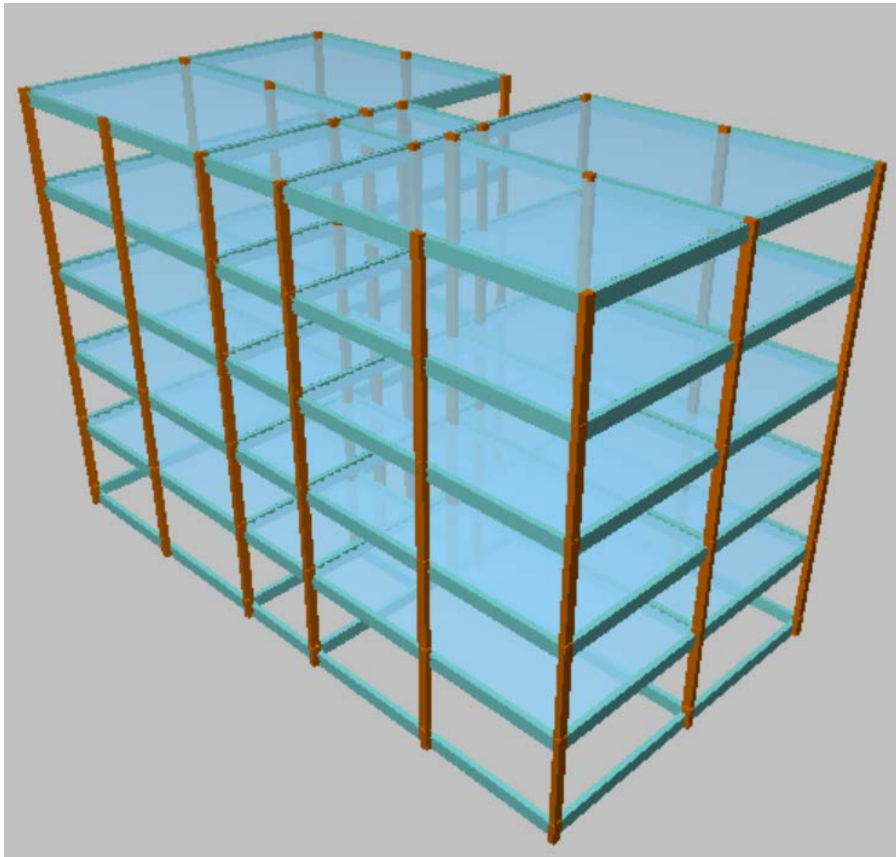
Fonte - Próprio autor

Figura 4-48 - Planta de fôrmas da estrutura



Fonte - Próprio autor

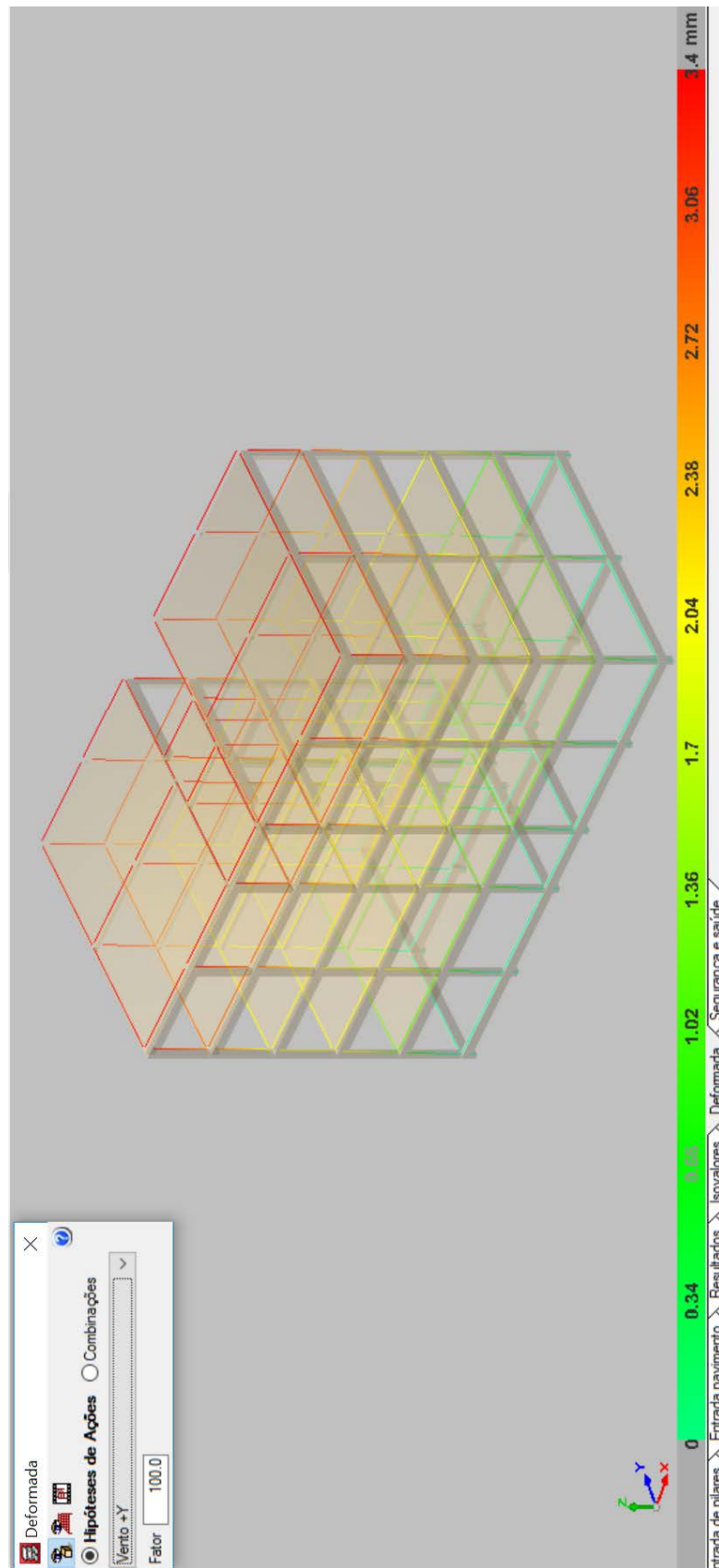
Figura 4-49 - Esquema 3D da estrutura



Fonte - Próprio autor

Os valores do deslocamento lateral e do γ_z são apresentados nas Figuras 4-50 e 4-51.

Figura 4-50 - Valores do deslocamento lateral



Fonte - Próprio autor

Figura 4-51 - Valores do gama z

Vento +X	1.078
Vento -X	1.078
Vento +Y	1.089
Vento -Y	1.089

Fonte - Próprio autor

A partir da recomendação da norma sobre deslocamento lateral tem-se

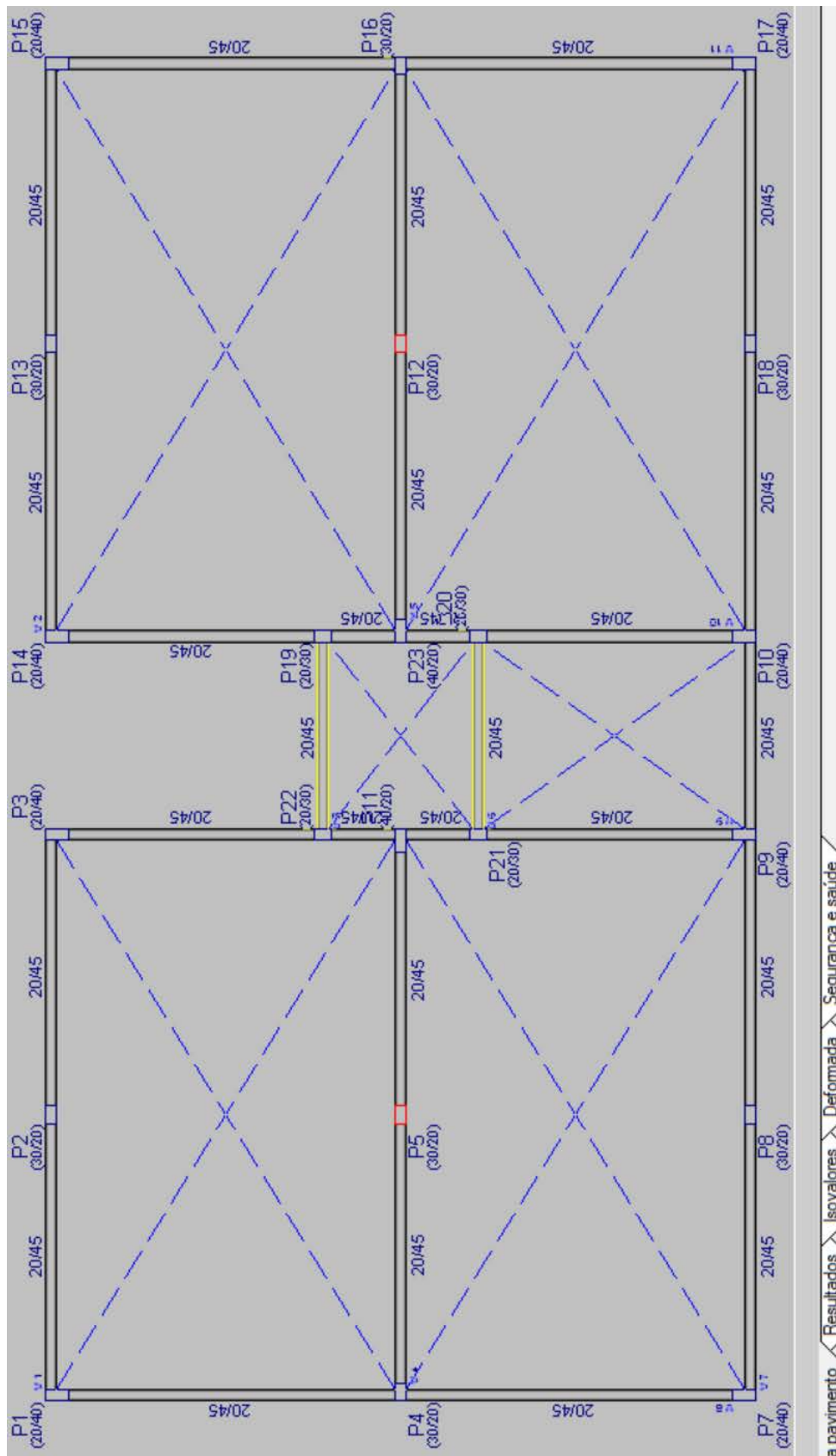
$$\frac{H}{1700} = \frac{15,75}{1700} = 0,00926 = 9,26 \text{ mm (norma)} > 3,4 \text{ mm (programa)}$$

Portanto a estrutura está de acordo com os deslocamentos laterais máximos permitidos.

4.3.3.2 Situação 2 – Estrutura no sistema construtivo híbrido – 4 andares

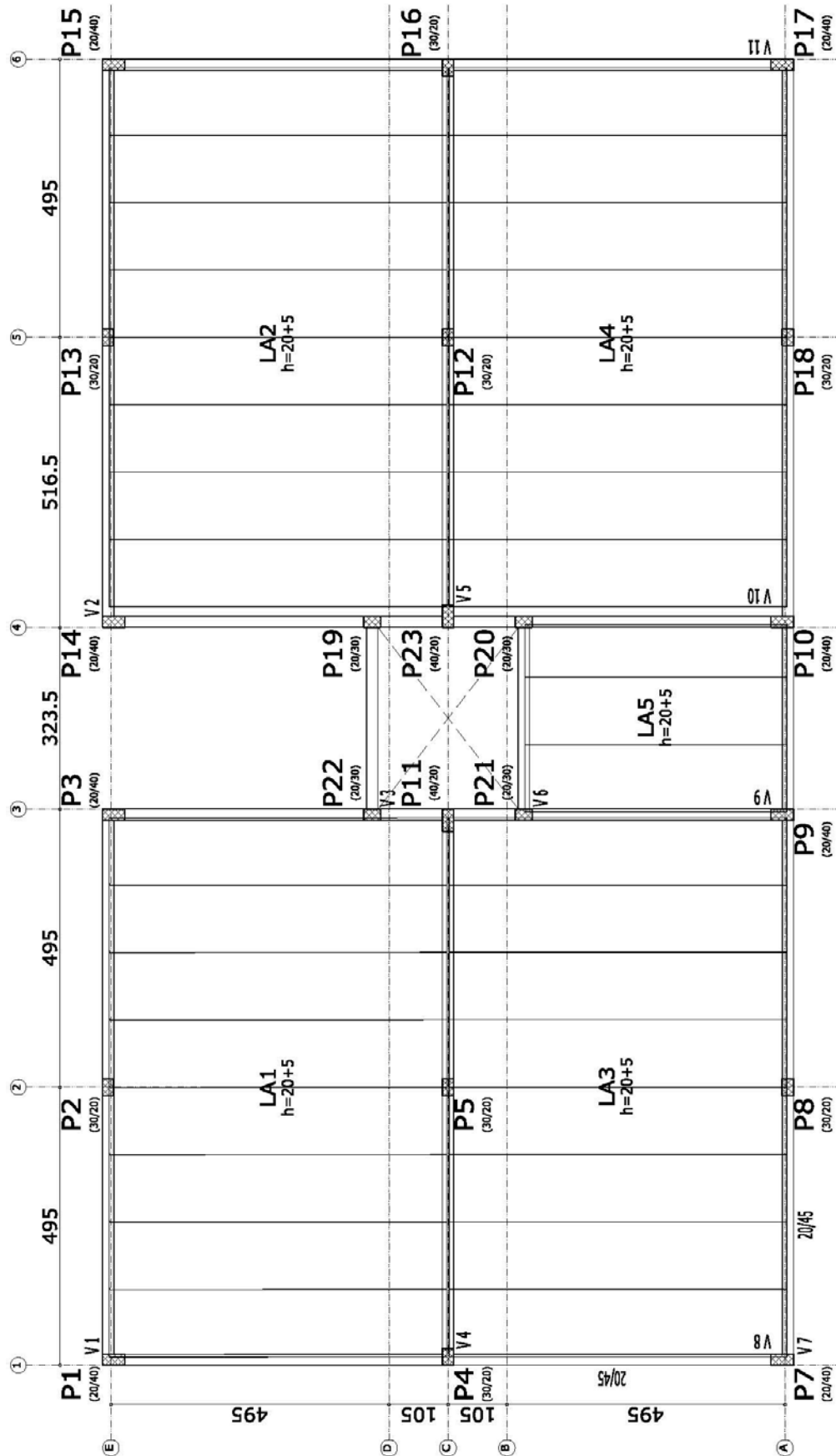
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-52, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-53, enquanto o modelo 3D na Figura 4-54.

Figura 4-52 - Dimensões de vigas e pilares

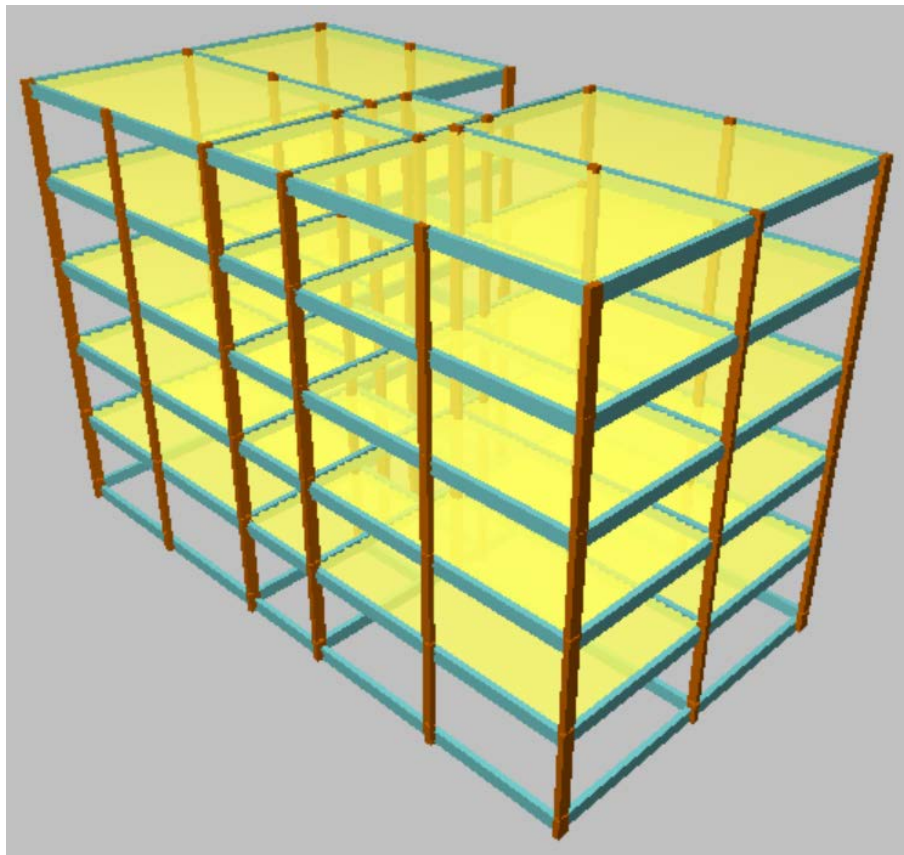


Fonte - Próprio autor

Figura 4-53 - Planta de fôrmas da estrutura para representar a disposição das lajes alveolares



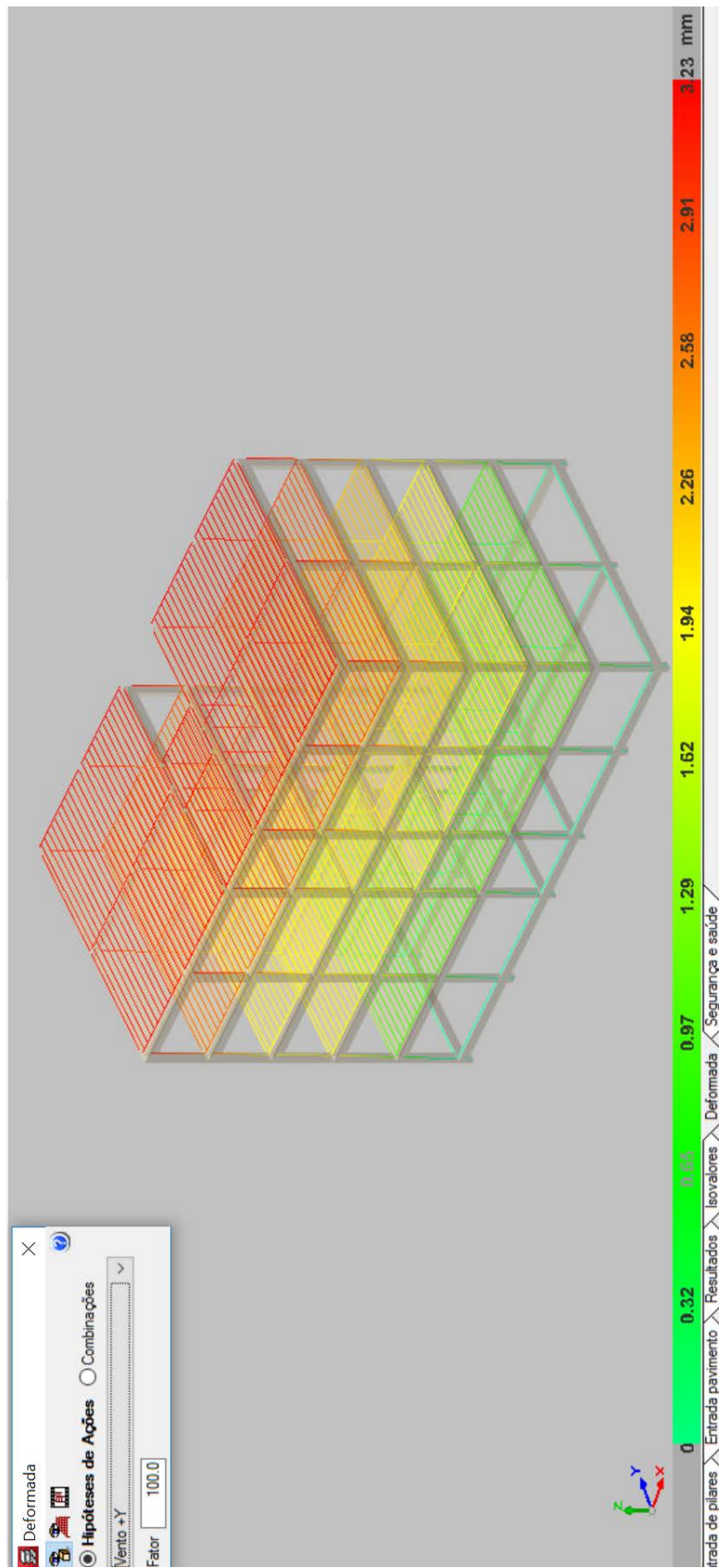
Fonte - Próprio autor

Figura 4-54 - Esquema 3D da estrutura

Fonte - Próprio autor

Os valores do deslocamento lateral e do gama são mostrados nas Figuras 4-55 e 4-56.

Figura 4-55 - Valores do deslocamento lateral



Fonte - Próprio autor

Figura 4-56 - Valores do gama z

Vento +X	1.084
Vento -X	1.084
Vento +Y	1.088
Vento -Y	1.088

Fonte - Próprio autor

Fazendo as verificações:

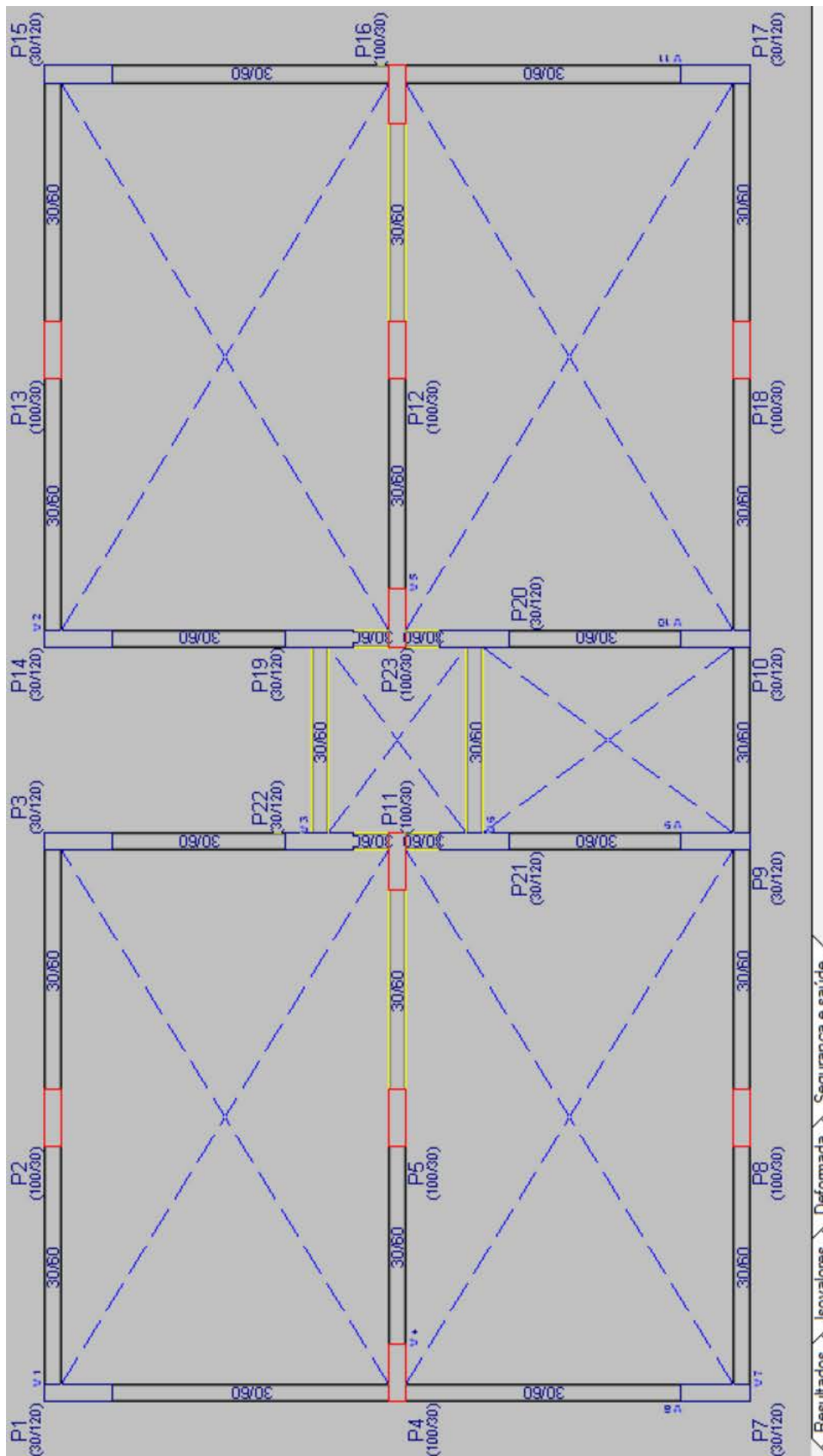
$$\frac{H}{1700} = \frac{15,75}{1700} = 0,00926 = 9,26 \text{ mm (norma)} > 3,23 \text{ mm (programa)}$$

A estrutura está de acordo com a norma com relação aos deslocamentos laterais máximos permitidos.

4.3.3.3 Situação 3 – Estrutura pré-fabricada – 4 andares

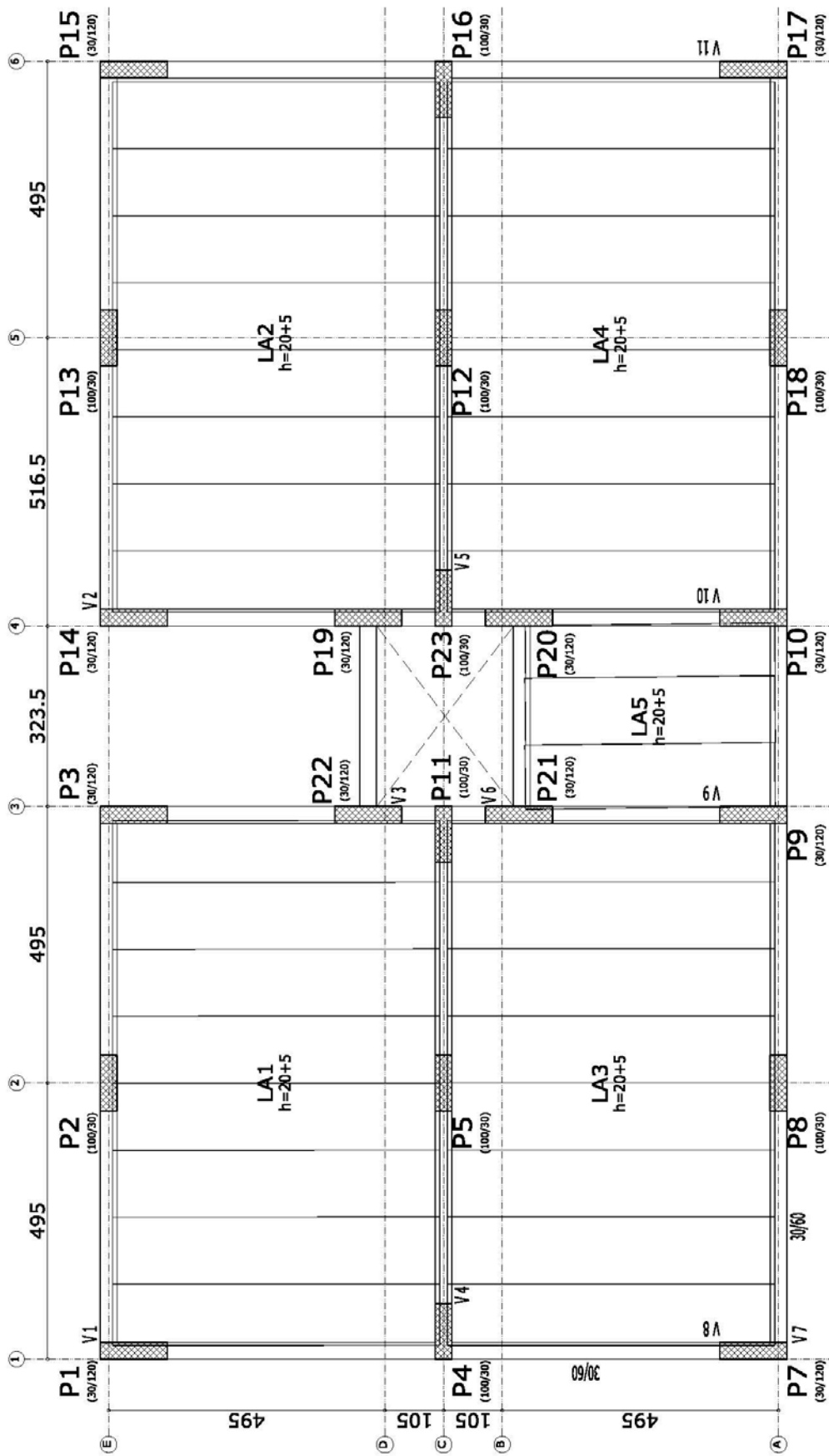
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-57, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-58, enquanto o modelo 3D na Figura 4-59.

Figura 4-57 - Dimensões de vigas e pilares



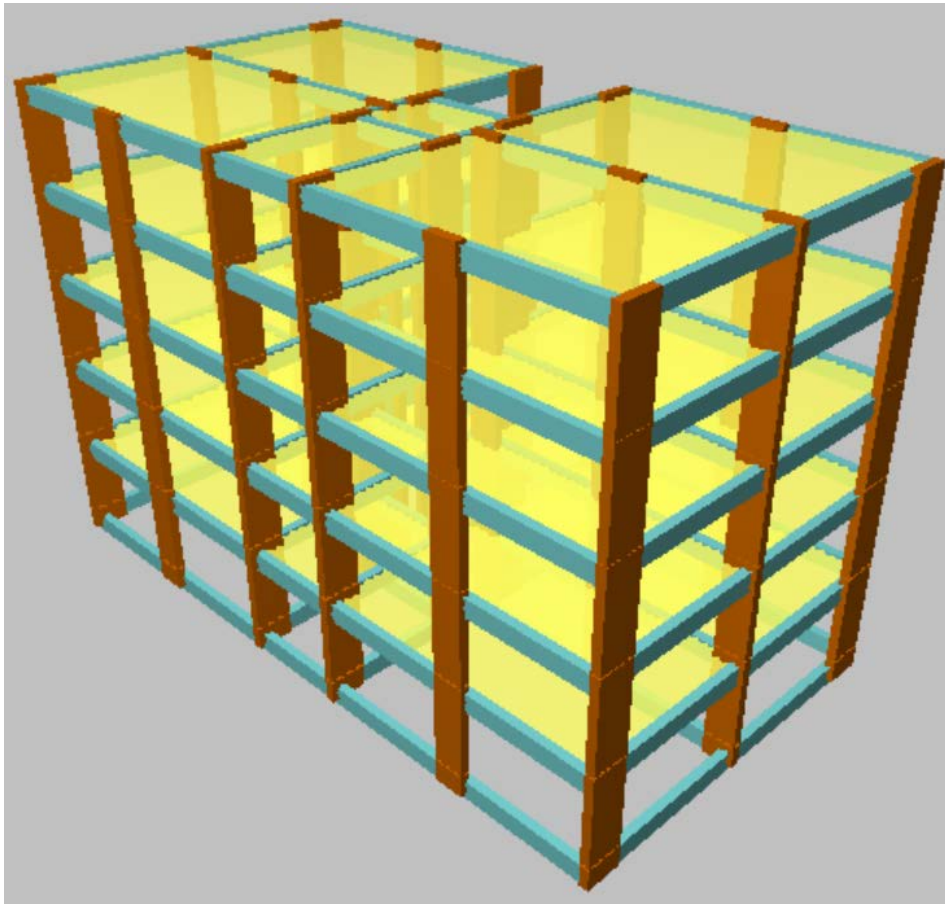
Fonte - Próprio autor

Figura 4-58 - Planta de fôrmas para representar a disposição das lajes alveolares



Fonte - Próprio autor

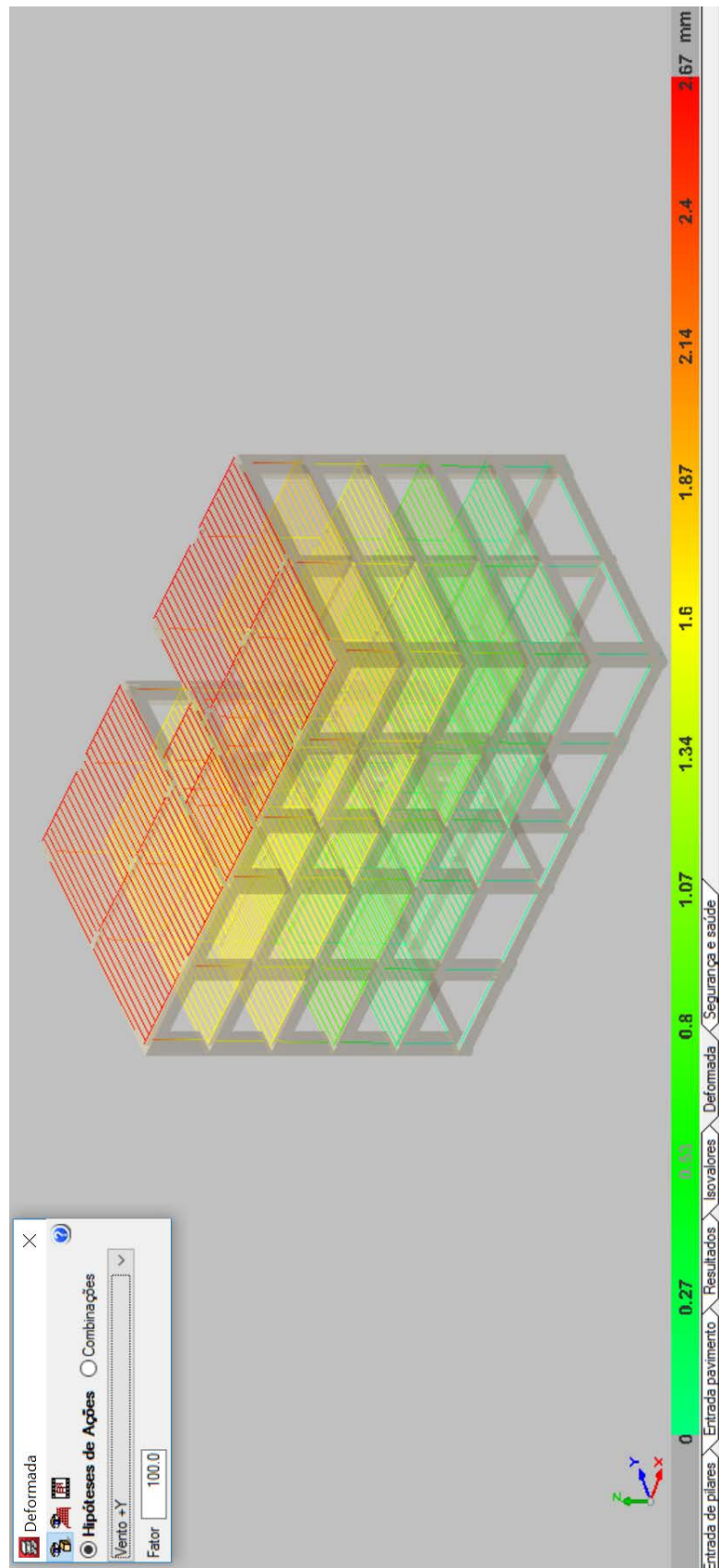
Figura 4-59 - Esquema 3D da estrutura



Fonte - Próprio autor

As Figuras 4-60 e 4-61 apresentam o deslocamento lateral e o γ_z respectivamente.

Figura 4-60 - Valores do deslocamento lateral



Fonte - Próprio autor

Figura 4-61 - Valores do gama z

Vento +X	1.120
Vento -X	1.120
Vento +Y	1.059
Vento -Y	1.059

Fonte - Próprio autor

A verificação é:

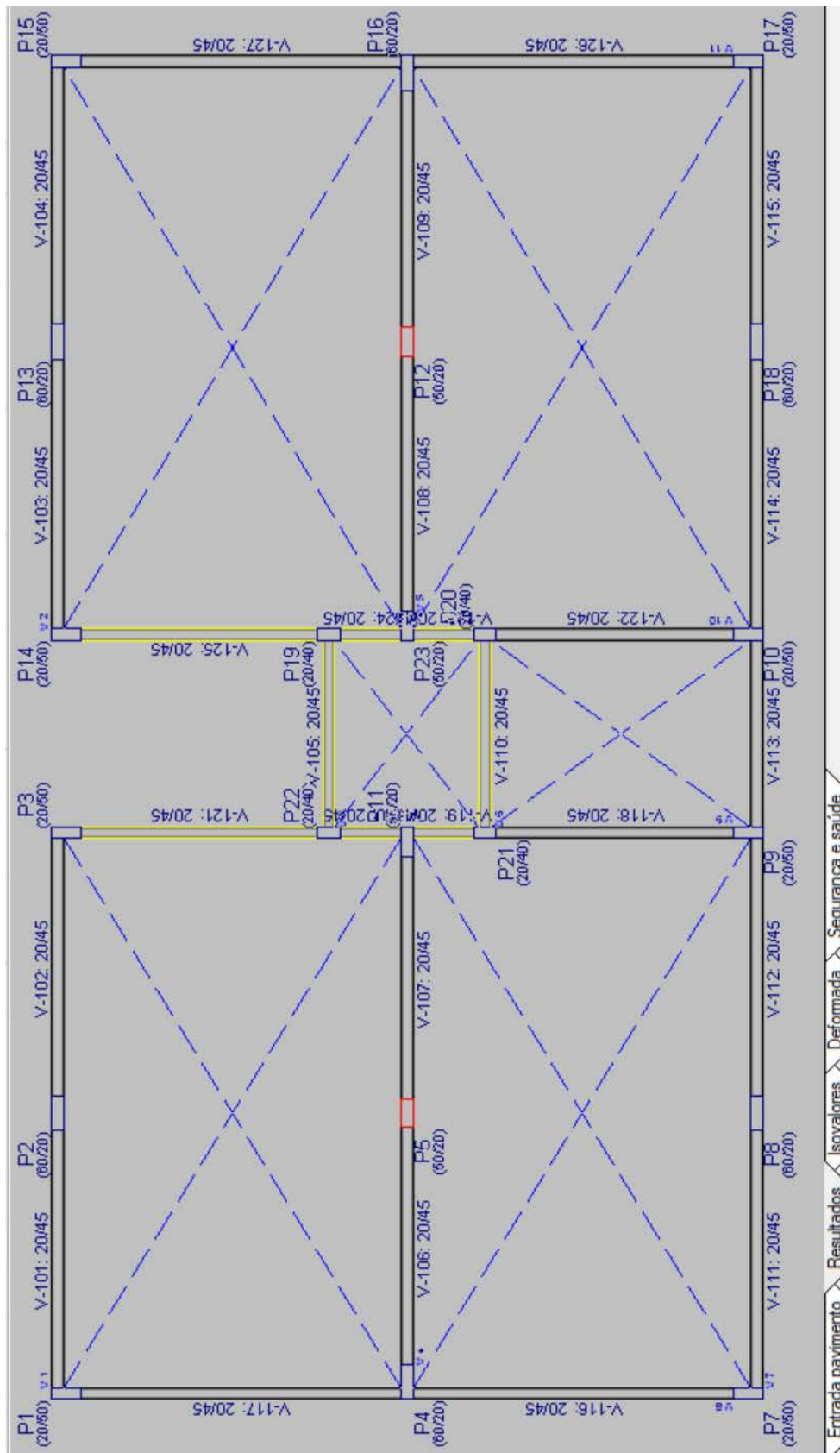
$$\frac{H}{1200} = \frac{15,75}{1200} = 0,013125 = 13,125 \text{ mm (norma)} > 2,67 \text{ mm (programa)}$$

O deslocamento lateral está de acordo com as normas.

4.3.3.4 Situação 4 – Estrutura em concreto armado moldada no local – 7 andares

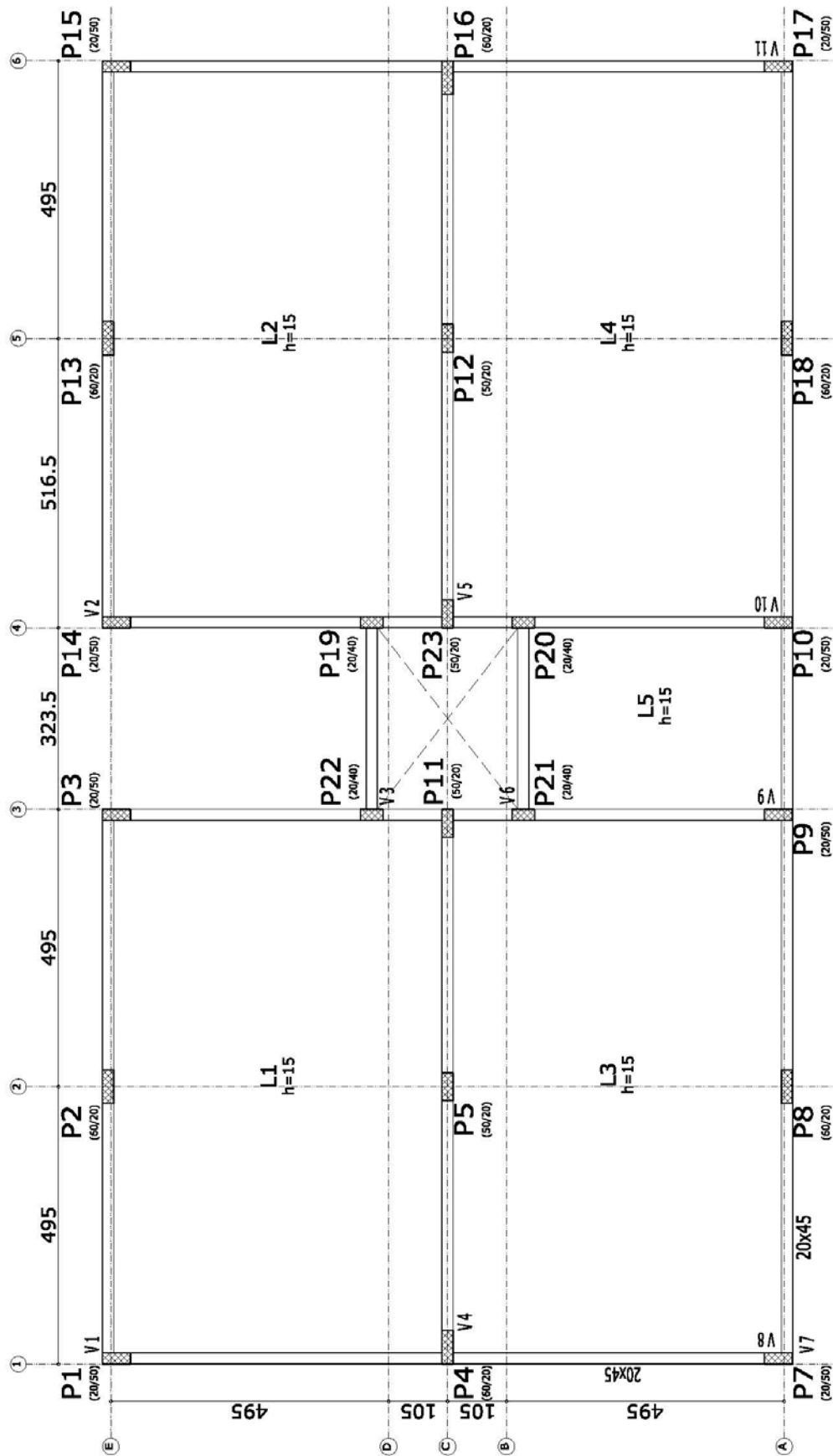
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-62, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-63, enquanto o modelo 3D na Figura 4-64.

Figura 4-62 - Dimensões de vigas e pilares



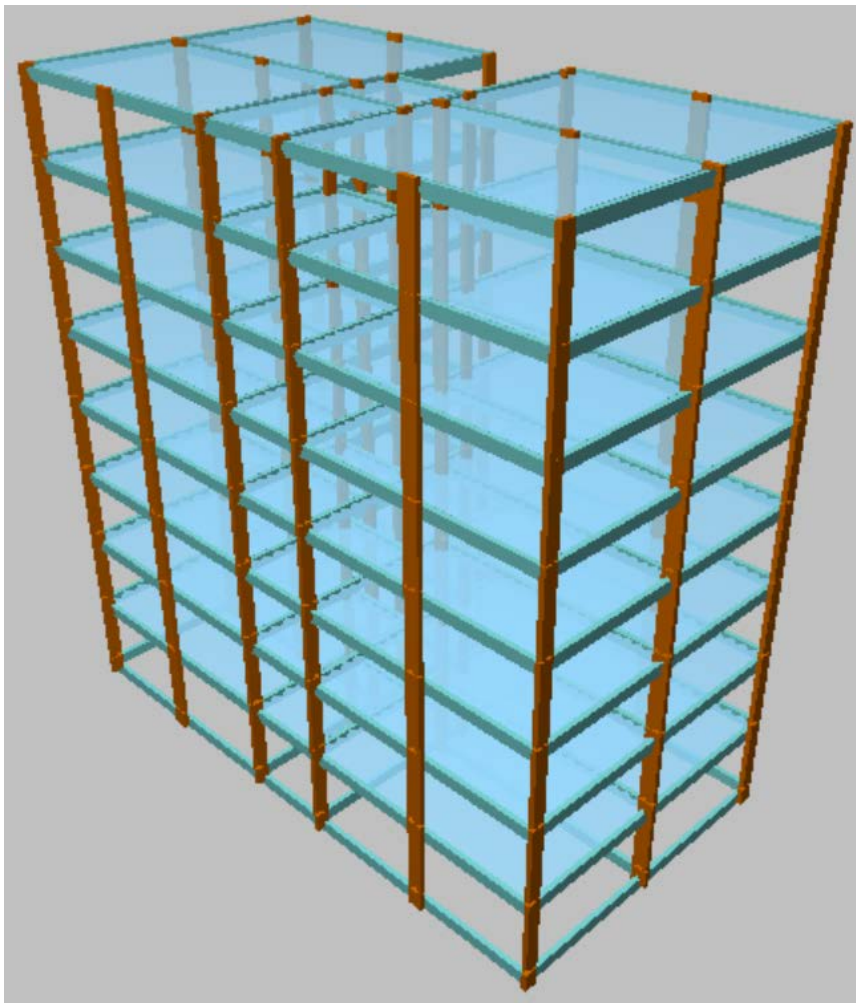
Fonte - Próprio autor

Figura 4-63 - Planta de fôrmas da estrutura



Fonte - Próprio autor

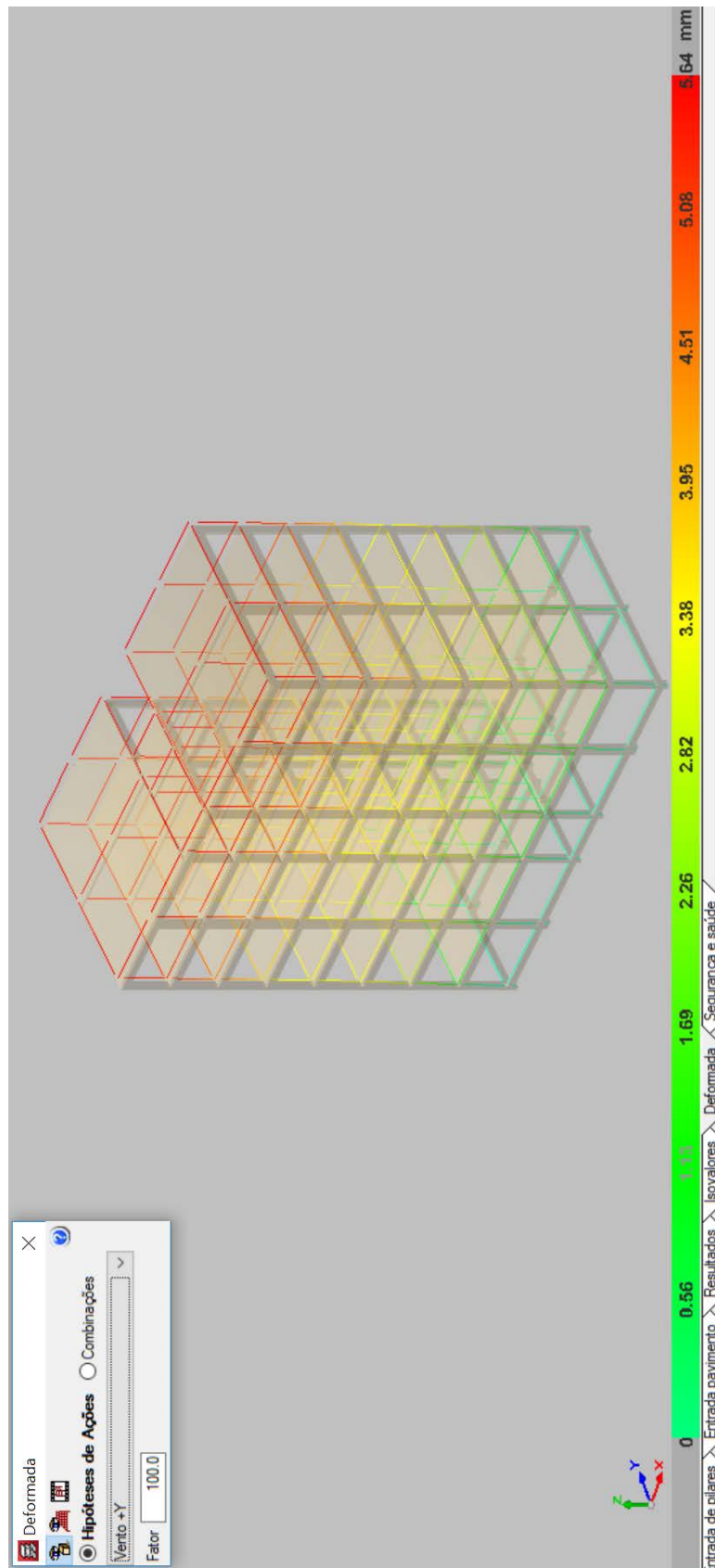
Figura 4-64 - Esquema 3D da estrutura



Fonte - Próprio autor

As Figuras 4-65 e 4-66 apresentam os valores do deslocamento lateral e do γ_z .

Figura 4-65 - Valores do deslocamento lateral



Fonte - Próprio autor

Figura 4-66 - Valores do gama z

Vento +X	1.066
Vento -X	1.066
Vento +Y	1.085
Vento -Y	1.085

Fonte - Próprio autor

A verificação:

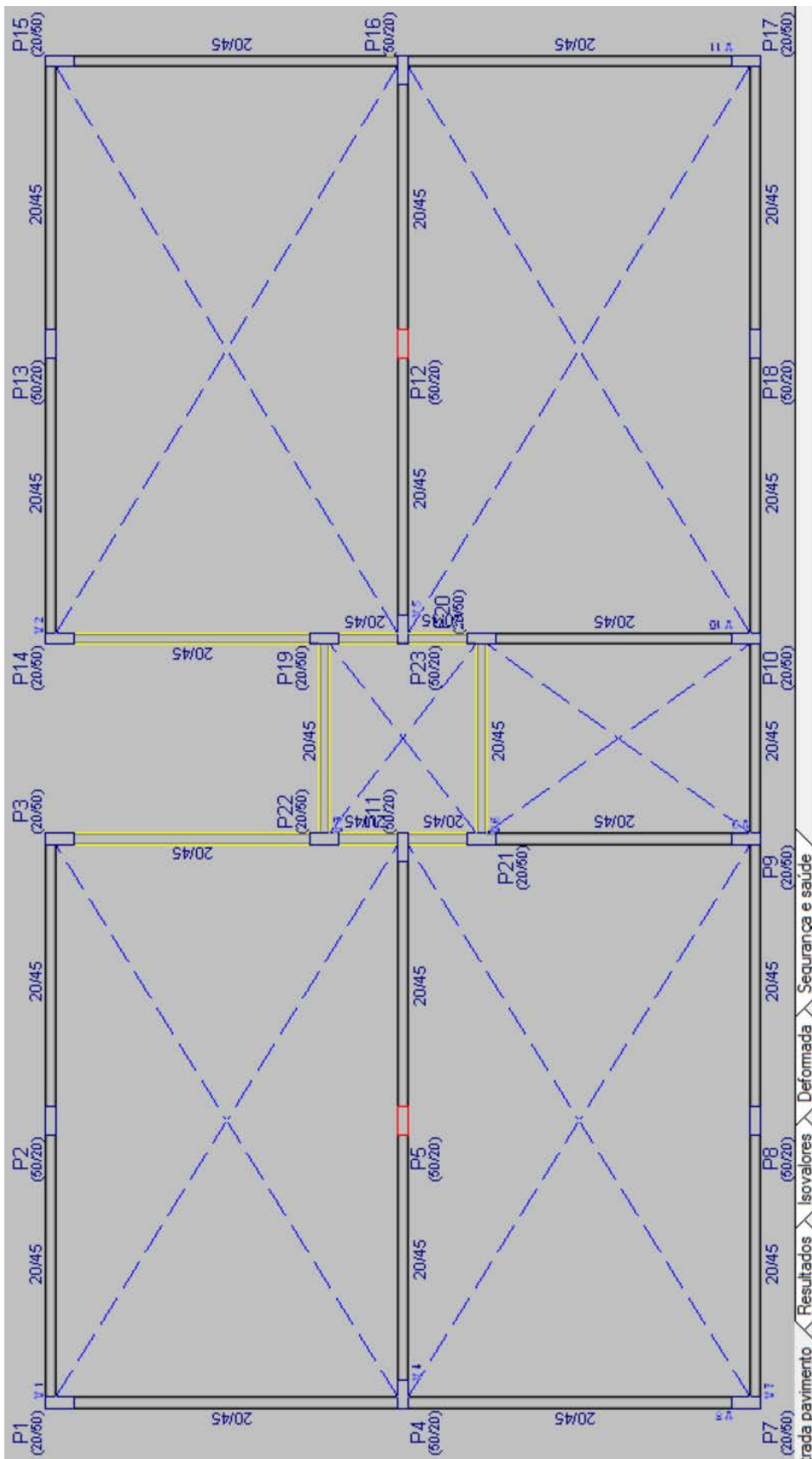
$$\frac{H}{1700} = \frac{24,7}{1700} = 0,01453 = 14,53 \text{ mm (norma)} > 5,64 \text{ mm (programa)}$$

Portanto o deslocamento é compatível com o previsto em normas.

4.3.3.5 Situação 5 – Estrutura no sistema construtivo híbrido – 7 andares

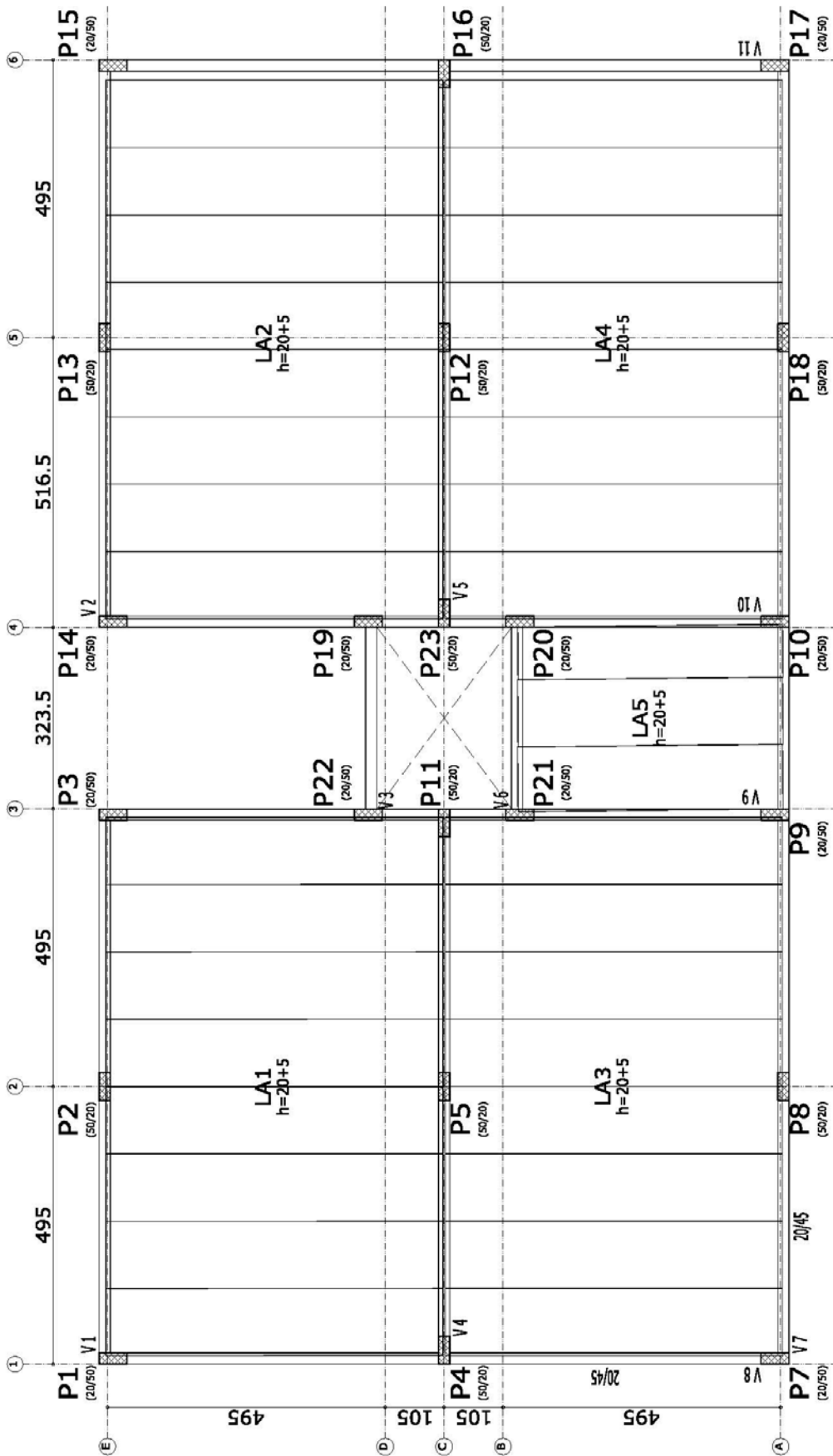
As dimensões das vigas, lajes e pilares já calculados são apresentados na Figura 4-67, a planta de fôrmas (com as dimensões finais dos pilares) na Figura 4-68, enquanto o modelo 3D na Figura 4-69.

Figura 4-67 - Dimensões de vigas e pilares



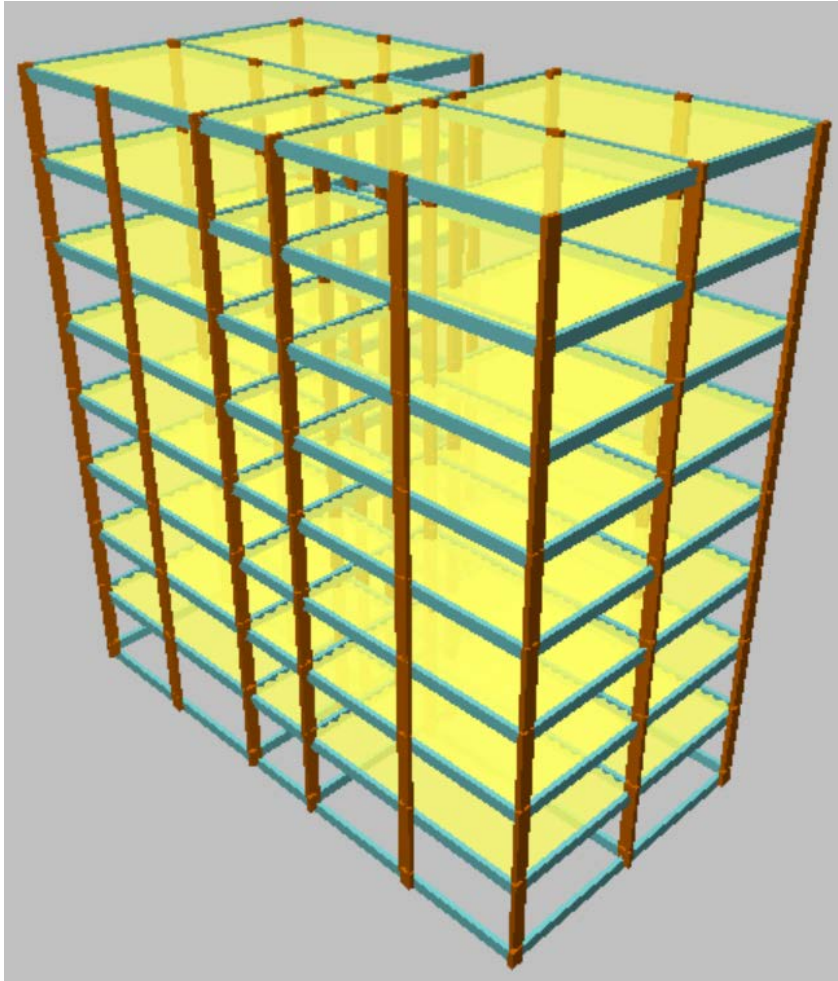
Fonte - Próprio autor

Figura 4-68 - Planta de fôrmas para representar a disposição das lajes alveolares



Fonte - Próprio autor

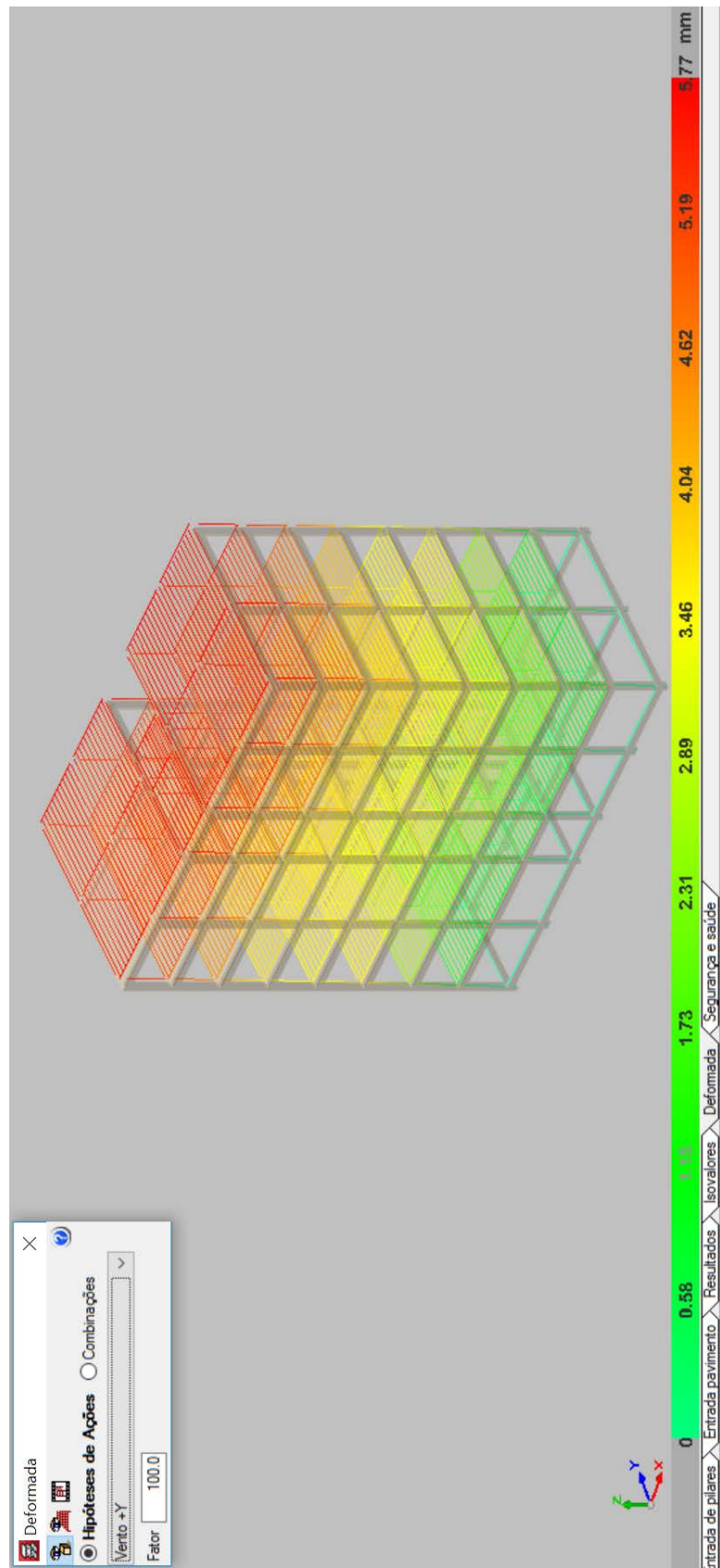
Figura 4-69 - Esquema 3D da estrutura



Fonte - Próprio autor

Os valores do deslocamento lateral e do γ_z são ilustrados nas Figuras 4-70 e 4-71.

Figura 4-70 - Valores do deslocamento lateral



Fonte - Próprio autor

Figura 4-71 - Valores do gama z

Vento +X	1.085
Vento -X	1.085
Vento +Y	1.089
Vento -Y	1.089

Fonte - Próprio autor

Comparando os valores obtidos com as normas têm-se:

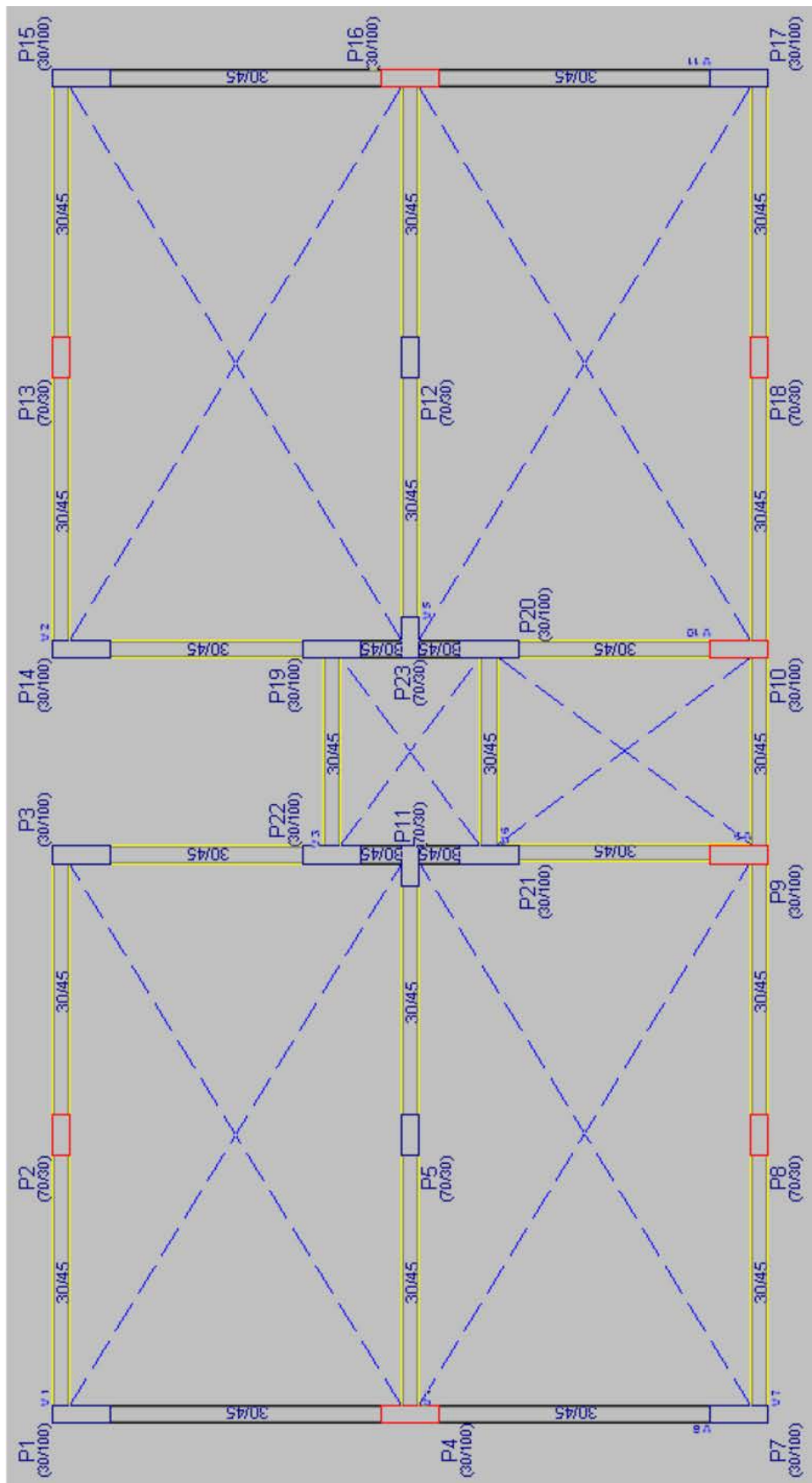
$$\frac{H}{1700} = \frac{24,7}{1700} = 0,01453 = 14,53 \text{ mm (norma)} > 5,77 \text{ mm (programa)}$$

Dessa forma, a estrutura está de acordo com o deslocamento lateral máximo permitido em normas.

4.3.3.6 Situação 6 – Estrutura pré-fabricada – 7 andares

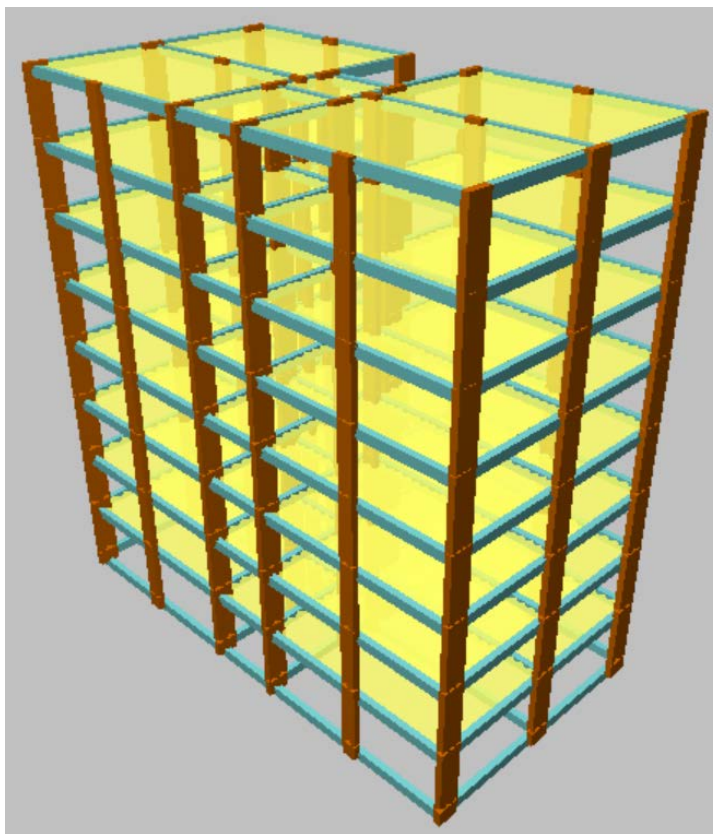
Lançando a estrutura no programa e utilizando f_{ck} de 50 MPA se chega aos valores de dimensões de pilares, vigas e lajes e do modelo 3D apresentados nas Figuras 4-72 e 4-73.

Figura 4-72 - Dimensões de vigas e pilares



Fonte - Próprio autor

Figura 4-73 - Esquema 3D da estrutura



Fonte - Próprio autor

Mas independente dos valores adotados no exemplo e da alteração do f_{ck} do concreto, a estrutura não possui estabilidade global adequada e não pode ser executada nesta configuração por ser muito deslocável, conforme é possível ver na Figura 4-74.

Figura 4-74 - Erro de cálculo da estrutura pré-fabricada

Erros de cálculo da obra 'PRE MOLDADO ROTULADO Efeito segunda 7 andares gama z restrit' (Versão 2014.h)

Gama2 >= 1.3. É aconselhável enrijecer a estrutura, já que é muito deslocável

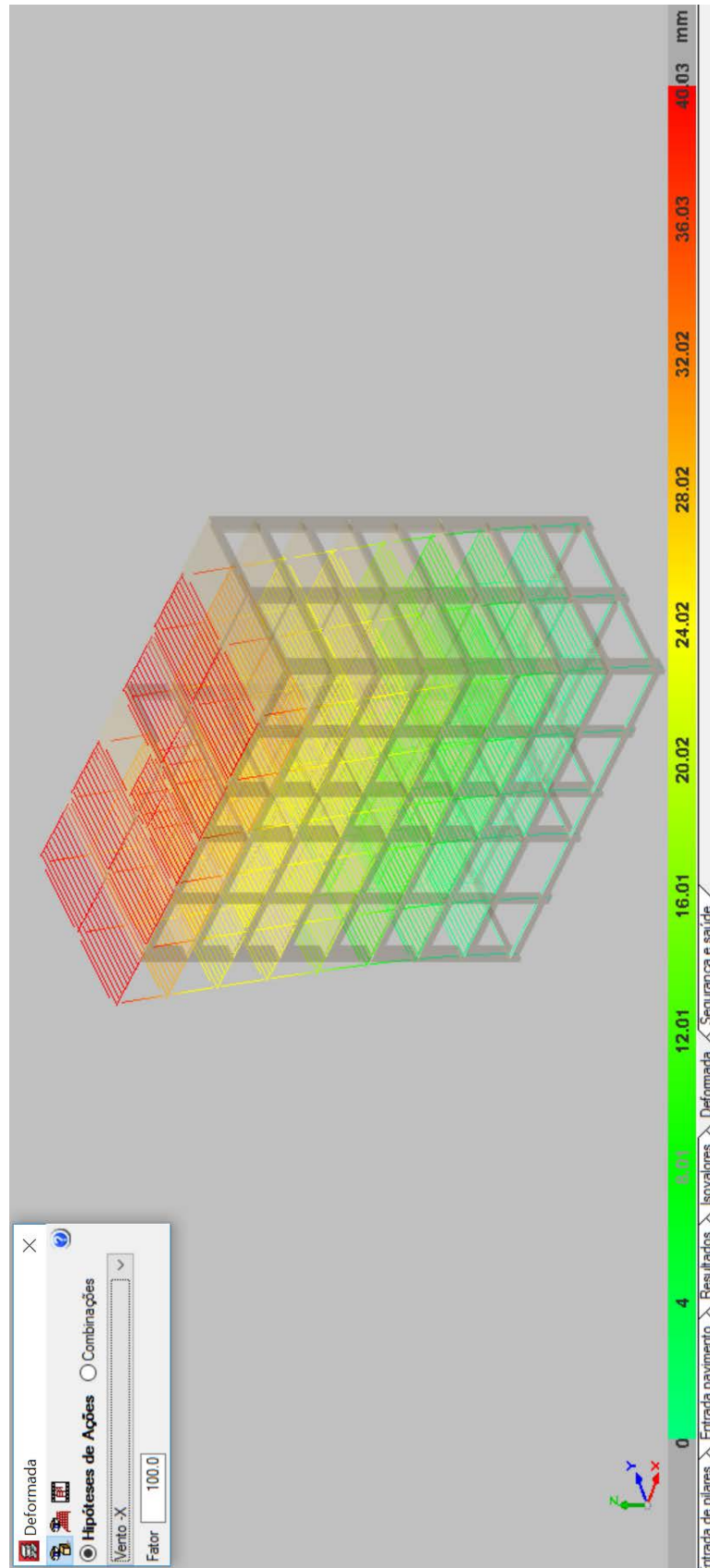
Os pilares P1, P2, P3, P4, P7, P8, P9, P10, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21 e P22 têm algum erro de dimensionamento. Devem ser revistos com a opção 'Pilares > Editar'.

O coeficiente de amplificação de esforços devido aos efeitos de 2ª ordem é maior que 1.33. Aconselha-se enrijecer a estrutura e calculá-la novamente. Lembre-se de que o método aplicado para considerar os efeitos de 2ª ordem tem um campo de aplicação limitado, devendo ser aplicado, neste caso, um método mais geral de cálculo dos efeitos de 2ª ordem.

Fonte - Próprio autor

O deslocamento lateral e o γ_z para a estrutura é apresentado nas Figuras 4-75 e 4-76.

Figura 4-75 - Valores do deslocamento lateral



Fonte - Próprio autor

Figura 4-76 - Valores do gama z

Vento +X	11.584
Vento -X	11.584
Vento +Y	1.335
Vento -Y	1.335

Fonte - Próprio autor

Fazendo as verificações:

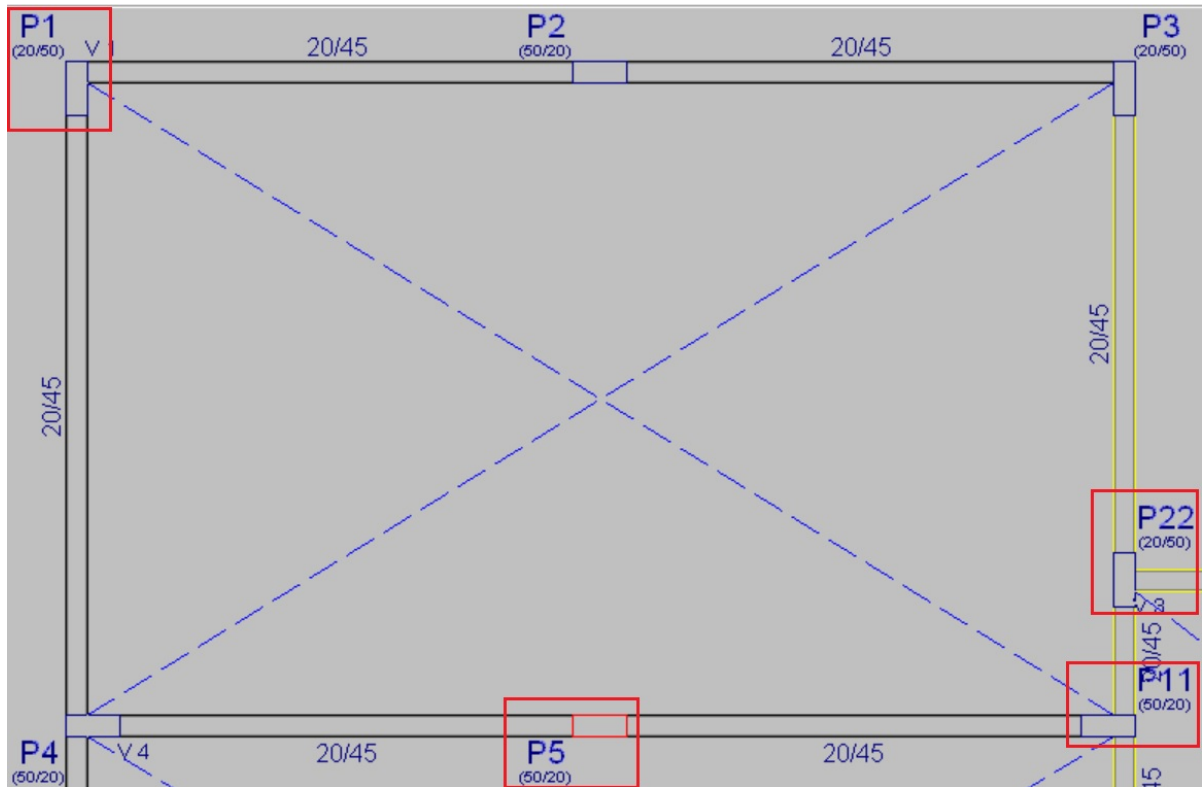
$$\frac{H}{1200} = \frac{24,7}{1200} = 0,02058 = 20,58 \text{ mm (norma)} < 40,63 \text{ mm (programa)}$$

Dessa maneira, não há estabilidade global desta estrutura e nem os deslocamentos previstos em normas são aceitáveis, inviabilizando assim a possibilidade apresentada.

4.3.3.7 Análise dos dados da situação 2

Para a apresentação da mudança significativa das variações das dimensões, quatro pilares foram escolhidos para a comparação entre os sistemas estudados. Eles são numerados na Figura 4-77 e colocados nas Tabelas 3 e 4 para melhor visualização.

Figura 4-77 - Pilares escolhidos para análise



Fonte - Próprio autor

Tabela 3 - Comparativo das dimensões dos pilares (em cm) da estrutura de 4 andares

	Moldado no Local	Híbrido	Pré-fabricado
Pilar P1	20x30	20x40	30x120
Pilar P5	30x20	30x20	100x30
Pilar P11	40x20	40x20	100x30
Pilar P22	20x30	20x30	30x120

Tabela 4 - Comparativo das dimensões dos pilares (em cm) da estrutura de 7 andares

	Moldado no Local	Híbrido	Pré-fabricado
Pilar P1	20x50	20x50	-
Pilar P5	50x20	50x20	-
Pilar P11	50x20	50x20	-
Pilar P22	20x40	20x50	

Os valores das dimensões do moldado no local e do híbrido obtidos da estrutura de quatro andares são idênticos, enquanto a pré-fabricada tem seções maiores diante da situação estudada. Para a estrutura de sete andares, o mesmo se repete entre, com a única diferença que o pré-fabricado não obtém a estabilidade independente da seção escolhida.

A diferença entre o modelo um e o dois está basicamente na arquitetura proposta. O primeiro apresenta uma situação hipotética e o segundo uma estrutura real. Dessa maneira é possível perceber que a disposição apresentada está influenciando diretamente no cálculo e nas dimensões das seções.

Outra análise a ser feita é apresentada nos Gráficos 3 e 4, onde se faz uma comparação dos deslocamentos laterais e do γ_z dos sistemas construtivos escolhidos para as situações criadas.

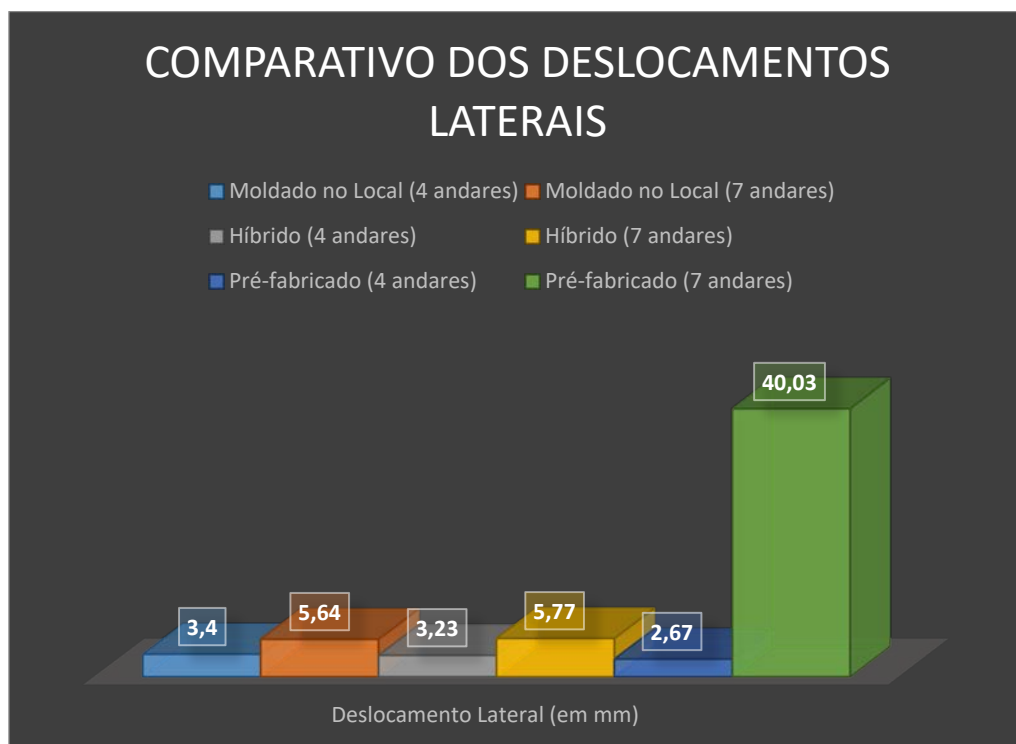


Gráfico 3 - Comparativo dos deslocamentos laterais das situações propostas



Gráfico 4 - Comparativo do gama z das situações propostas

Nas diversas situações criadas, tentou-se ao máximo manter os valores dos deslocamentos laterais o mais próximo possível para ter uma base comparativa mais adequada para o critério de desempenho.

Com essa ideia, inclusive mantendo o mesmo valor de f_{ck} (exceto na última situação), é possível perceber alterações significativas nas seções da estrutura, principalmente em pilares.

Dessa maneira é possível entender que, para a estrutura ter um comportamento similar entre os sistemas estruturais apresentados, é necessário aumentar significativamente a seção do elemento, e conseqüentemente o consumo de material.

Além disso, com o aumento do γ_z , o cálculo de estrutura envolve outras considerações se tornando mais complexo (como a consideração dos efeitos de segunda ordem). E para se evitar isso, as seções deveriam passar por alterações, aumentando ainda mais de dimensões.

Já a situação que envolve a estrutura pré-fabricada na altura de sete andares, há a possibilidade de se projetar alternando para as ligações semirrígidas ou até mesmo as rígidas. Não é feita nenhuma das mudanças citadas, pois para base comparativa a intenção é manter a mesma base para as comparações. Alternando as opções a análise mudaria, sendo necessário fazer um estudo das ligações do exemplo, o que alteraria a intenção com o modelo

apresentado. E da maneira que é apresentada, a estrutura não é viável por diversas complicações como alto deslocamento lateral por exemplo.

4.3.4 Análise do custo de uma situação apresentada para as situações dos sistemas moldados no local, híbrido e pré-fabricado

Para se ter uma análise mais prática dos modelos estudados, foi feito um estudo de uma situação apresentada na questão financeira. O modelo dois (a estrutura de quatro andares) foi avaliado nos sistemas construtivos moldados no local, híbrido e pré-fabricado.

Os valores apresentados foram obtidos através de duas empresas que apresentaram os orçamentos e alguns dados unitários. Uma das empresas é especializada em estruturas pré-fabricadas e outra, uma construtora com experiência em obras moldadas no local.

Nos orçamentos não estão inclusos os valores do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas), dessa maneira, sendo este calculado posteriormente conforme recomendação e valor apresentado pelas empresas.

Os valores referem-se a fevereiro de 2017.

4.3.4.1 Estrutura no sistema construtivo moldado no local

Para os dados apresentados, os valores foram obtidos através da TCPO e de uma grande empresa construtora atuante na cidade de São Paulo, que, através de seus custos internos e experiência no ramo forneceu o orçamento da estrutura e sugeriu o ajuste para a realidade de mercado.

Os custos dos materiais envolvidos foram utilizados da construtora (que solicitou anonimato como condição para o fornecimento dos valores) que tem em seu banco de dados orçamentos de diversos fornecedores. O valor da mão de obra, também é retirado do banco de dados da empresa que possui diversas planilhas de obras.

É válido salientar que os valores apresentados neste trabalho não servem para todas as obras, já que inúmeros fatores afetam diretamente os custos, desde a localização do

Capítulo 4 – Estudo de Caso em Modelos para Base Comparativa

empreendimento até a disponibilidade de materiais e mão de obra na região. Eles são válidos nas condições criadas e apresentadas para os modelos estudados. Algo que aconteceria em uma construção real que depende de diversas condições e disponibilidades para seu orçamento.

Os dados são apresentados por pisos, considerando que o térreo como piso 1 e a cobertura como piso 6. O piso 1 por ser o térreo propriamente dito, ligado diretamente à fundação não entra no exemplo, sendo apresentado a partir do piso 2.

O resumo do custo do piso 2 é dado pela Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	5.826,25
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	6.322,55
Pilar (aço)	7.654,49
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	45.245,24

O resumo dos custos do piso 3 é dado pela Tabela 6.

Tabela 6 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	5.826,25
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	6.067,98
Pilar (aço)	4.655,76
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	41.991,94

O resumo dos custos do piso 3 é dado pela Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	-
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	6.041,6
Pilar (aço)	3.027,39
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	34.510,94

O resumo dos custos do piso 5 é apresentado pela Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	-
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	5.735,99
Pilar (aço)	2.282,01
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	33.459,95

O resumo dos custos do piso 6 é dado pela Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	-
Concreto (laje, viga e pilares)	15.570,95
Vigas (aço)	4.642,00
Pilar (aço)	1.754,51
Laje (aço)	13.131,89
VALOR TOTAL	35.099,35

O valor total do custo dos materiais por piso é apresentado na tabela 10 de maneira resumida.

Tabela 10 - Custos dos materiais da estrutura

Valores do material da estrutura por piso	
Piso 2	R\$ 45.245,24
Piso 3	R\$ 41.991,94
Piso 4	R\$ 34.510,94
Piso 5	R\$ 33.459,95
Piso 6	R\$ 35.099,35
Total do custo de materiais	R\$ 190.307,42

O custo total do material envolvido para a execução da estrutura é **190.307,42 reais**.

Já o custo da mão de obra é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Custo total da mão de obra

Custo da mão de obra	
Mão de obra	R\$ 232.597,96

O valor da mão de obra obtido para a realização das tarefas da estrutura é **232.597,96 reais**.

Já o custo total da estrutura é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Custo total da estrutura

Custo total da estrutura	
Materiais	R\$ 190.307,42
Mão de obra	R\$ 232.597,96
Total	R\$ 422.905,38

O custo total para a execução da estrutura é de **422.905,38 reais**.

Vale lembrar que o valor apresentado é apenas a mão de obra e o material. Para o valor final da estrutura é necessário fazer a adição do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas).

A empresa que forneceu os valores calcula o número com uma porcentagem acrescida no final do custo total da estrutura. No caso o valor é 30%.

Dessa maneira o valor final da estrutura é **549.776,99 reais**.

4.3.4.2 Estrutura no sistema construtivo híbrido

Para o sistema construtivo híbrido, os valores dos pilares foram obtidos através da TCPO e de uma empresa construtora (nos mesmos moldes do exemplo anterior). Os dados dos elementos pré-fabricados foram conseguidos por meio de uma fábrica de pré-fabricados.

O transporte foi simulado com distância de 86 quilômetros do local de fabricação até o canteiro de obras onde a estrutura é montada.

O resumo do custo dos pilares é dado pela Tabela 13.

Tabela 13 - Custo total dos pilares

Valores do material dos pilares da estrutura por piso em reais	
Piso 2	R\$ 7.660,22
Piso 3	R\$ 4.856,44
Piso 4	R\$ 3.142,07
Piso 5	R\$ 2.499,89
Piso 6	R\$ 2.075,60
Total	R\$ 20.234,22

O custo dos materiais para a execução dos pilares é **20.234,22 reais**.

O valor da mão de obra é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Custo total da mão de obra

Custo da mão de obra	
Mão de obra	R\$ 24.730,72

O valor da mão de obra obtido para a execução dos pilares da estrutura é **24.730,72 reais**.

O custo de material e mão de obra para a execução dos pilares é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Custo total da estrutura

Custo total da estrutura	
Materiais	R\$ 20.234,22
Mão de obra	R\$ 24.730,72
Total	R\$ 44.964,94

O custo total para a execução dos pilares da estrutura é **44.964,94 reais**.

Adicionando o valor do BDI (os mesmos 30% do anterior) na parte moldada no local o valor total da execução dos pilares para a estrutura é **58.454,42 reais**.

Para os valores da parte pré-fabricada foram apresentadas as distâncias percorridas pelo transporte (e que tipo de carreta seria utilizado), além da quantidade de peças e os pesos. Os valores são apresentados nos anexos, sendo o resumo ilustrado no corpo do texto. Foi calculada a quilometragem total para o serviço, mas não foi apresentado o valor distinto do serviço, assim como a montagem, estando incluso no valor final da obra.

Dessa maneira os valores totais da estrutura são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Custo total da estrutura

Custo total da estrutura	
Pilares	R\$ 58.454,42
Vigas	R\$ 162.519,89
Lajes	R\$ 240.367,07
Complemento da laje	R\$ 141.206,31
TOTAL	R\$ 602.547,69

O valor total da estrutura híbrida é **602.547,69 reais**.

4.3.4.3 Estrutura no sistema construtivo pré-fabricado

Para a estrutura pré-fabricada, o mesmo valor de transporte do sistema construtivo híbrido se aplica, sendo simulado uma distância de 86 quilômetros entre a fábrica e o destino final (os valores são apresentados nos anexos).

Os valores da montagem não foram divulgados de maneira distinta, mas ele se encontra no valor final apresentado.

O custo total da estrutura é dado pela Tabela 17.

Tabela 17 - Custo da estrutura

Custo total da estrutura	
Pilares e vigas	R\$ 480.072,04
Lajes	R\$ 240.367,07
Complemento da laje	R\$ 141.206,31
TOTAL	R\$ 861.645,42

Valor total da estrutura pré-fabricada é **861.645,42 reais**.

Apresentando todos os valores obtidos das três estruturas orçadas se chega ao Gráfico 5.



Gráfico 5 - Comparativo de custo entre as opções construtivas

4.3.4.4 Análise geral dos valores obtidos

Diante dos valores obtidos é necessário fazer várias considerações. Mas é importante, antes de qualquer conclusão, que a proposta não é influenciar a escolha de um ou outro sistema construtivo, e sim mostrar as opções e a viabilidade delas.

Os custos obtidos na estrutura proposta apresentam de maneira simplificada algumas situações que são interessantes para serem analisadas:

- Custo do material
- Custo da mão de obra
- Transporte
- Montagem
- Custo do equipamento
- Custo da obra

As principais preocupações quando se inicia um projeto e posteriormente seu orçamento se dá basicamente nos pontos citados.

Muitas vezes se tem o conceito de que a estrutura pré-fabricada é extremamente mais cara que a moldada no local. E que fatores como transporte, custo do equipamento e

montagem seriam os grandes influenciadores para elevar o preço. Quando se tem necessidade de grandes velocidades, é inegável que a opção sempre será esta, devido ao retorno financeiro mais rápido que a opção oferece.

A estrutura moldada no local oferece um ritmo mais lento de construção. Caso haja necessidade de maior velocidade, é necessário aumentar o número de funcionários envolvidos, assim como os equipamentos para as tarefas. Dessa maneira, o fator mão de obra vai influenciar diretamente nos valores. Quanto mais funcionários, maior a folha salarial, maior os encargos sociais.

Já a estrutura híbrida aparece como uma opção intermediária, na qual grande parte dos elementos pré-fabricados são empregados (oferecendo maior qualidade de acabamento) e com uma redução significativa no número de funcionários necessários para determinadas tarefas. Em comparação ao transporte dos elementos pré-fabricados, é necessário comentar que devido à ausência de pilares (já que são moldados no local), o caminhão carreta extensivo não foi utilizado. Assim o valor do transporte é reduzido.

Diante dos valores apresentados pode ser afirmado que o híbrido é competitivo diante os custos dos outros sistemas construtivos e apresenta boas vantagens principalmente na redução significativa da mão de obra envolvida.

5 CONCLUSÕES

O sistema construtivo híbrido tem como princípio unir as melhores características de cada um dos sistemas (pré-fabricado, protendido e moldado no local). Procura eliminar o máximo possível as etapas críticas que gastam muito tempo de execução, aumentam o custo e podem reduzir a qualidade dos elementos. Para que possa ser aplicado no máximo de sua característica (a construtibilidade, a qualidade e acabamento dos elementos) o grau de detalhamento e planejamento deve ser elevado. O sistema híbrido em questão possibilita a construção de edificações de múltiplos pavimentos com rigidez adequada e dimensões compatíveis com o moldado no local. Além disso, os elementos de pavimentos não necessitam de escoramentos e não usam fôrmas, com isso, canteiros de grandes dimensões são montados com grande velocidade.

Ao longo do trabalho fica claro que o sistema híbrido é compatível com as características da construção brasileira, e que, é possível otimizar vários processos da estrutura, como o tempo de construção (se comparados com o moldado no local). Em países da Europa e da Ásia é possível ver concepções de estruturas híbridas diferentes das que se tem aqui no Brasil, como os próprios pesquisadores estrangeiros veem e conceituam o sistema (possível ver em algumas perguntas ao longo do trabalho). A ideia do sistema híbrido deste trabalho se deu pelas características construtivas do país, baseadas em grande parte pelo sistema moldado no local.

Sobre o objetivo de análise e comportamento estrutural, os modelos apresentados deixam claro que a questão da estabilidade global e deslocamento lateral das estruturas híbridas se assemelham às estruturas moldadas no local, o que é ótimo, tendo em vista que a

principal característica buscada na mesma é o monolitismo das ligações. Assim é possível apresentar um modelo estrutural que demonstra o sistema construtivo híbrido como uma opção a ser considerada. Já sobre a análise financeira é possível comprovar que o sistema construtivo híbrido é competitivo com o moldado no local e o pré-fabricado, oferecendo grandes opções frente aos seus “concorrentes”, como a redução significativa da mão de obra e o uso de equipamentos de menor porte no transporte. A qualidade de acabamento e o tempo necessário para a execução da estrutura também fazem com que o sistema híbrido seja uma opção a ser considerada no desenvolvimento do projeto.

Os dados e orçamentos obtidos com as empresas especializadas no ramo da construção civil e da pré-fabricação para se obter os comparativos financeiros (com dados atualizados para fevereiro de 2017) fazem com que o sistema construtivo apresentado seja comprovadamente competitivo e com condições de oferecer grandes vantagens (já mencionadas ao longo do trabalho).

Pela diversidade e complexidade que o assunto representa, é difícil ter uma análise mais profunda apenas em um trabalho. Isso abre outras possibilidades futuras como: construções híbridas relacionadas à sustentabilidade, construção enxuta (*lean construction*), gerenciamento e logística, análise numérica do comportamento das ligações, ensaios da ligação e análise financeira aliada ao tempo de construção.

Diante de tudo que foi apresentado (e que ainda pode ser estudado) é possível dizer que o sistema construtivo híbrido é competitivo no mercado e que agrega grandes possibilidades nas estruturas; seja pelo valor financeiro, seja pela possibilidade de arquiteturas mais flexíveis ou por algum outro motivo mencionado ao longo do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, F.M. **Contribuição ao Estudo da Aderência entre Barras de Aço e Concretos Auto Adensáveis**. Dissertação de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP, São Carlos, 2006. 310p.

AOUAD, G.F.; BARRETT, P.S. **The Feasibility of Using Hybrid Concrete Structures Within the Context of Cost and Time**. In: 14th Annual ARCOM Conference, University of Reading, Association of Researchers in Construction Management, Vol.1, 1998, p.155-164.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:2003: Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003. 53p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 256p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062:2006 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro, 2003. 59p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696:2009: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000:2000 - Sistemas de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário**. Rio de Janeiro, 2002.

BACHEGA, L.A. **Estudo Teórico-Experimental de Ligação Viga Pilar com Consolo Metálico Embutido em Estruturas Pré-Moldadas de Concreto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2013. 146p.

BARRETT, P. **Hybrid Concrete: Improved Processes and Performance**. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures & Buildings 156, p.193-203. May 2003. UK. 10p.

BRDESCO. **Construção Civil**. Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos (DEPEC). Junho 2016. 90p.

CAMARGO, R.E.M. **Contribuição ao Estudo da Estabilidade de Edifícios de Andares Múltiplos em Aço**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP. São Carlos, 2012. 328p.

CARVALHO, R.C. **Estruturas em Concreto Protendido**. São Paulo, Pini, 2012. 431p.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014**. EdUFSCar. 4ª edição. São Carlos, 2015. 413p.

CASSOL. **Apresentação Técnico Comercial**. Apresentação Powerpoint. Centro Empresarial São Jose, São José, Santa Catarina. 21p.

CATOIA, B. **Comportamento de Vigas Protendidas Pré-Moldadas com Ligações Semi-Rígidas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007. 149p.

CONSTRUÇÃO E MERCADO. **Laje Alveolar: Sistema tem Peso Reduzido e Permite Melhor Produtividade na Obra. Conheça Seus Principais Componentes**. Edição 149. Editora Pini, dezembro de 2013. Disponível em: < <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/149/artigo301958-1.aspx>> Acesso em 13 de julho de 2015.

DIAS, L.A.M. **Estruturas Híbridas e Mistas de Aço e Concreto**. Editora Zigurate, São Paulo, SP. 2014. 280p.

EL DEBS, M.K. **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos, EESC-USP, 2000. 441p.

ELLIOTT, K.S. **Precast Concrete Structures**. Editora: Butterworth Heinemann, Oxford, UK, 2002. 375p.

ELLIOTT, K.S.; JOLLY C.K. **Multi-Storey Precast Concrete Frame Structures**. Wiley Blackwell. Chichester, UK, 2013. 776p.

EUROCODE 2. **Design of Concrete Structures. – Part 1: General Rules and Rules for Buildings**. DD ENV 1992-1-1:1992. British Standard, 1992. 194p.

EUROCODE 4. **Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings**. BS EM 1994-1-1:2004. British Standard, 2004. 122p.

- FACHINI, A.C. **Subsídios para a programação de estruturas de concreto armado no nível operacional**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005. 215p.
- FERREIRA, M.A. **Estudo de deformabilidade de ligações para análise linear em pórticos planos de elementos pré-moldados de concreto**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1993. 183p.
- FERREIRA, M.A. **Deformabilidade de Ligações Viga-Pilar de Concreto Pré-Moldado**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999. 253p.
- FIB. FIB GUIDE TO GOOD PRATICE. **Structural Connections for Precast Concrete Buildings, 2003**. Comission C6. Prefabrication. TaskGroup 6.2: Connections. 2008. 370p.
- FREIRE, T.M. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001. 325p.
- GLASS, J.; BAICHE, B. **Perception of Hybrid Concrete Construcion Within the UK Construction Industry**. Engineering Construction and Architectural Management, 2001. p.66-77.
- GONÇALVES, C.M.M.; MELHADO, S.B. **Método para Gestão do Custo da Construção no Processo de Projeto de Edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PCC/573. Universidade de São Paulo. 2011. 30p.
- GOODCHILD, C.H. **Hybrid Concrete Construction – Combining Structural Materials for Speed, Quality and Economy in Buildings**. Reinforced Concrete Council. Camberley, UK, 1995. 66p.
- GOODCHILD, C.H., GLASS, J. **Best Praticce Guidance for Hybrid Concrete Construction**. The Concrete Centre. Camberley, UK. 2004. 64p.
- HANAI, J.B. **Fundamentos do Concreto Protendido**. E-Book de Apoio para o Curso de Engenharia Civil. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005. 116p.
- HANEKON, R. **Increasing the Utilisation of Hybrid Concrete Construction in South Africa**. Dissertação (Mestrado). Stellenbosch University. Stellenbosch, Africa do Sul, 2011. 208p.
- INFORSATO, T.B. **Diretrizes de Projeto: Sistemas Pré-Moldados de Concreto**. Estruturas Pré-Fabricadas de Concreto. INBEC. Notas de aula, 2016. 168p.
-

JEREMIAS JÚNIOR, A.C. **Análise da Estabilidade de Estruturas Pré-Moldadas de Concreto: Influência das Ligações Semi-Rígidas.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007. 193p.

KERN, A.P. **Proposta de um Modelo de Planejamento e Controle de Custos de Empreendimentos de Construção.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. 234p.

LIEW, J.Y.R. **Advances in steel concrete composite and hybrid structures.** Research Publishing, Singapura. 2012.

MARCHIORI, F.F. **Desenvolvimento de um Método para Elaboração de Redes de Composições de Custo para Orçamentação de Obras de Edificações.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 238p.

MELHADO, S.B. **Gestão, Cooperação e Integração para um Novo Modelo Voltado à Qualidade do Processo de Projeto na Construção de Edifícios.** Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. USP. São Paulo, 2001. 235p.

MERT, I. **Hybrid Concrete Construction Methods.** Department of Building Technology, Istambul, Turquia, 2001.

METÁLICA. **Lajes Mistas: Aspectos Construtivos e Respectivas Recomendações do Eurocódigo 4,** 2015b. Disponível em: <<http://wwwo.metlica.com.br/lajes-mistas>>. Acesso em: 02 de julho 2015.

METÁLICA. **Sistemas Construtivos Mistos,** 2015a. Disponível em: <<http://wwwo.metlica.com.br/artigos-tecnicos/sistemas-construtivos-mistos>>. Acesso em: 02 de julho 2015.

METALICA. **A Importância do Projeto de Construção na Concepção e Execução de uma Obra,** 2016. Disponível em: <<http://wwwo.metlica.com.br/a-importancia-do-projeto-na-concepcao-e-execucao-de-uma-obra>> Acesso em: 09 de setembro 2016.

MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa,** 2017. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/>> Acesso em 15 de abril de 2017.

MIOTTO, A.M. **Ligações Viga-Pilar de Estruturas de Concreto Pré-Moldado: Análise com Ênfase na Deformabilidade ao Momento Fletor**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002, 263p.

MUNTE (2007). **Manual Munte de Projetos em Pré-Fabricados de Concreto**. Editora Pini. São Paulo, SP. 2007. 532p.

NR 18/2013 – Condições e meio ambiente de trabalho na construção civil. 55p.

NUNES, H. **Análise crítica da NBR ISSO 9001:2000 x NBR 6118:2003 para Aprovação de Execução de Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, 2011. 151p.

OLIVEIRA JÚNIOR, L.A. **Ligação Viga-Pilar em Elementos Pré-Moldados de Concreto Solidarizados por Concreto Reforçado com Fibras de Aço: Análises Estática e Dinâmica**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012. 254p.

OLOKE, D.; OLOMOLAIYE, O.; PROVERBS, D. **Demonstrating Hybrid Concrete Construction Performance Through Virtual Simulation – A Case Study Approach**. In: 1st International SCRI (Salford Centre for Research and Innovation) Symposium, Salford, UK. 2004, 11p.

PAMPANIN, S.; PAGANI, C.; ZAMBELLI, S. **Cable-Stayed and Suspended Post-Tensioned Solutions for Precast Concrete Frames: The Brooklyn System**. Queenstown: New Zealand Concrete Society Conference, 2004. 11p.

PAMPANIN, S. **Emerging Solutions for High Seismic Performance of Precast/Prestressed Concrete Buildings**. Journal of Advanced Concrete Technology Volume 3, No. 2, p207-223, June 2005. Japan Concrete Institute. 16p.

PEDREIRA DE FREITAS. **Sistema Estrutural Pré-viga/Pré-laje**. Apresentação Powerpoint. 2013. 41p.

PETRUCELLI, N.S. **Considerações sobre Projeto e Fabricação de Lajes Alveolares Protendidas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009. 126p.

PINHEIRO, L.M. **Fundamentos do Concreto e Projetos de Edifícios**. Departamento de Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004. 520p.

PRADO, J.F.M.A. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999. 184p.

PRADO, L.P. **Ligações de montagem viga-pilar para estruturas de concreto pré-moldado – estudo de caso**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. 234p.

QUEIROZ, G. PIMENTA, R.J., MARTINS, A.G. **Estruturas Mistas. Volume 1**. Instituto Aço Brasil/CBCA. Rio de Janeiro, 2012a. 69p.

SAURIN, T.A.; FORMOSO, C.T. **Planejamento de Canteiro de Obras e Gestão de Processos**. Recomendações Técnicas HABITARE – Volume 3. Porto Alegre, 2006. 112p.

SOUZA, D.A. **Estruturas mistas de aço e concreto**. GERDAU. In: 56 Congresso Brasileiro do Concreto. Natal, 2014. 31p.

STAR WARS – THE EMPIRE STRIKES BACK. Direção: Irvin Kershner. Produção: Lucasfilm Ltd. Distribuição: 20th Century Fox, 1980. 1 DVD (124 min), NTSC, color.

TAKATA, L.T. **Aspectos Executivos e a Qualidade de Estruturas em Concreto Armado: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009. 149p.

TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. 13 edição. Editora Pini, São Paulo, SP, 2010, 640p.

TÉCHNE. **Industrialização Essencial**, edição 137, Agosto 2008. p.26-33.

THE CONCRETE CENTRE. **Precast Concrete in Buildings: A Guide to Design and Construction**. The Concrete centre, Camberley, UK. 2008.

THE CONCRETE CENTRE. **Hybrid Concrete Construction**. Disponível em: <<https://www.concretecentre.com/Building-Elements/Frames/Hybrid-Concrete-Construction.aspx>> Acesso em: 28 de fevereiro de 2017.

VAMBERSKY, J.N.J.A. **Innovative Pre-Cast Concrete Buildings in Netherlands**. 2004. 12p.

VAMBERSKY, J.N.J.A. **Hybrid Structures – Synergy with Precast Concrete**. In: 25th Conference on Our World in Concrete & Structures, 23-24 August 2000. Singapore.p175-184.

VAN ACKER, A. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. FIB, 2002. 129p.

Referências Bibliográficas

VERÍSSIMO, G.S.; CÉSAR JUNIOR, K.M.L. **Concreto Protendido – Fundamentos Básicos**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998. 78p.

WHITTLE, R.; TAYLOR, H. **Design of hybrid concrete buildings – a guide to design buildings combining in-situ and precast concrete**. The Concrete Centre, Camberley, UK. 2009. 116p.

<http://www.abcp.org.br> - Acesso em 15 de setembro de 2016.

<http://www.abesc.org.br/tecnologias/concreto-auto-adensavel.html> - Acesso em 15 de outubro de 2013.

http://www.aecweb.com.br/ent/cont/n/abece-promove-novo-curso-calculo-de-vigas-mistas-de-aco-e-concreto_17_9839 - Acesso em 26 de outubro de 2015.

http://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/lajes-alveolares-protendidas-garantem-versatilidade-e-racionalizacao-da-obra_410_3322 – Acesso em 26 de setembro de 2016.

http://www.afa.arq.br/wp-content/uploads/2014/03/PDL_total2-1075x715.jpg - Acesso em 07 de março de 2017.

<http://architecture.com/the-stunning-turning-torso-in-malmo-sweden/> - Acesso em 01 de março de 2017.

<http://www.burjdubaiskyscraper.com/2005.jpg> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.burjkhalifa.ae/en/index.aspx> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

https://carvalues.files.wordpress.com/2010/01/burj_dubai_under_construction_011.jpg - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/3/concretagem-praticas/execucao/60/concretagem-praticas.html> - Acesso em 09 de setembro de 2016.

[http://www.concretecentre.com/Building-Elements/Frames/Modern-Methods-of-construction-\(MMC\).aspx](http://www.concretecentre.com/Building-Elements/Frames/Modern-Methods-of-construction-(MMC).aspx) - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=537> - Acesso em 23 de agosto de 2016.

<http://www.constructionweekonline.com/article-12619-tallest-tales/> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.cpi.eng.br/obras-industriais.html> - Cosipa Usiminas - Cubatão – Acesso em 01 de março de 2017.

<http://www.dubai-precast.ae/#!hybrid-systems/c1h7g> - Acesso em 23 de agosto de 2016.

<http://www.encorp.com.br/sistemas/sistemas.asp> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.construcone.com.br/imagens/obras/moldado4.jpg> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/51/veja-como-funciona-a-protensao-de-vigas-pre-moldadas-na-construcao-364735-1.aspx> - Acesso em 09 de setembro de 2016.

<http://lajespatagonia.com/v1/lajes> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.leonardi.com.br/fabrica/> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.nickavoltz.com/2012/08/cao-concreto-auto-adensavel-o-processo.html> - Acesso em 15 outubro de 2013.

<http://wwwo.metlica.com.br/lajes-mistas> - Acesso em 24 de janeiro de 2016.

<http://pranchetadearquitecto.blogspot.com.br/2016/05/proj-ed-residencial-turning-torso-malmo.html> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_formacao.php - Acesso em 26 de setembro de 2016.

<http://www.pcalc.com.br/> - Acesso em 26 de setembro de 2015.

<https://www.peri.pt/projects/projectos-internacionais/turning-torso.html#&gid=1&pid=2> – Acesso em 13 de maio de 2017.

<http://www.procalc.com.br/blog/wp-content/uploads/2013/02/estrutura-07.jpg> - Acesso em 13 de fevereiro de 2017.

<http://pt.slideshare.net/Armtecltd/precast-prestressed-hollowcore-slabs-seminar-armtec> - Acesso em 09 de setembro de 2016.

<http://reformafacil.com.br/produtos/concreto-produtos/tipos-de-concreto-conheca-as-suas-caracteristicas-e-diferencas-parte-1/> - Acesso em 24 de janeiro de 2016.

Referências Bibliográficas

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1194867&page=5&langid=5> - Acesso em 24 de janeiro de 2016.

<http://www.slideshare.net/rohitarora7798/burj-khalifa-40865516> - Acesso em 26 de setembro de 2016.

http://straatkaart.nl/3072MA-Prinsendam/media_fotos/toren-zuid-kpn-gebouw-rotterdam-4jV/ - Acesso em 26 de setembro de 2016.

ANEXO A – Valores quantitativos dos elementos do sistema construtivo moldado no local

Tabela Anexo A - 1 - Valores quantitativos das fôrmas

Fôrmas			
	Consumo	Unidade	Preço Unitário (R\$)
Tábua	2,84	Metro linear	5,30
Sarrafo	1,53	Metro linear	2,16
Prego	0,20	Quilo	6,99

Tabela Anexo A - 2 - Valores quantitativos das armaduras

Armaduras			
	Consumo	Unidade	Preço Unitário (R\$)
Aço	1,00	Quilo	5,50
Arame recozido	0,03	Quilo	7,79

Tabela Anexo A - 3 - Valor quantitativo do concreto

Concreto			
	Consumo	Unidade	Preço Unitário (R\$)
Concreto 30 MPA	1,00	Metro cúbico	245,00

Tabela Anexo A - 4 - Valor quantitativo do escoramento

Escoramento			
	Consumo	Unidade	Preço Unitário
Pontalete	1,88		2,78

Tabela Anexo A - 5 - Valores do Piso 2 obtidos pelo Cypecad

Piso 2 – superfície total: 262,70 m ²		
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)
Lajes	239,39	35,91
Viga (fundo)	21,95	10,79
Viga (fôrma lateral)	79,06	
Pilares	62,80	3,84
Total	403,20	50,54

Tabela Anexo A - 6 - Custo obtido de fôrmas e concreto

Piso 2		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Fôrmas	403,20 (m ²)	5.826,25
Concreto	50,54 (m ³)	12.382,30

Tabela Anexo A - 7 - Descrição dos valores utilizados para se chegar ao valor das fôrmas

Materiais necessários para fabricação de 1 m ² de fôrma					
Descrição	Consumo	Unidade	Preço Unitário (R\$)	Quantidade (m ²)	Preço Total (R\$)
Tábua 2,50x3,00	2,84	Metro linear	5,30	403,20	2.136,96
Sarrafo 2,5x10	1,53	Metro linear	2,16	403,20	870,92
Prego 18x27	0,20	Quilo	6,99	403,20	2.818,37
Valor total					5.826,25

Tabela Anexo A - 8 - Quantitativo de aço das vigas

Piso 2				
Viga	Dimensões (cm)	Comprimento (cm)	Aço CA-50 (kg)	Aço CA-60 (kg)
V1	20x45	990	54,9	11,7
V2	20x45	1.012	58,1	11,8
V3	20x45	364	13,3	4,2
V4	20x45	990	134,2	-
V5	20x45	1.012	141,1	-
V6	20x45	364	13,2	4,2
V7	20x45	2.326	129	27,6
V8	20x45	1.230	119,9	14,1
V9	20x45	1.230	108,4	8,3
V10	20x45	1.230	106	8,3
V11	20x45	1.230	120,3	14,1
Total			998,4	104,3
Soma Total				1.102,7

Tabela Anexo A - 9 - Custo do aço

Descrição	Consumo TCPO	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	1.102,7	1.102,7	6.064,85
Arame	0,03	7,79	1.102,7	33,081	257,70
Total					6.322,55

Tabela Anexo A - 10 - Dimensões e quantitativo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	20
20x40	2
Aço	
CA-50	1.270
CA-60	65
Total	1.335

Tabela Anexo A - 11 - Custo dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	1.335	1.335	7.342,50
Arame	0,03	7,79	1.335	40,05	311,99
Total					7.654,49

Tabela Anexo A - 12 - Quantitativo do aço das lajes

Lajes		
Aço	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
	2.084,3	193,4
Total	2.277,7	

Tabela Anexo A - 13 - Custo do aço do pavimento

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	2.277,7	2.277,7	12.527,35
Arame	0,03	7,79	2.277,7	68,331	532,30
Total					13.059,65

Tabela Anexo A - 14 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	5.826,25
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	6.322,55
Pilar (aço)	7.654,49
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	45.245,24

Tabela Anexo A - 15 - Valores quantitativos obtidos pelo Cypecad

Piso 3 – superfície total: 262,70 m ²		
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)
Lajes	239,39	35,91
Viga (fundo)	21,95	10,79
Viga (fôrma lateral)	79,06	
Pilares	62,80	3,84
Total	403,20	50,54

Tabela Anexo A - 16 - Custos de fôrmas e concreto

Piso 3		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Fôrmas	403,20 (m ²)	5.826,25
Concreto	50,54 (m ³)	12.382,30

Tabela Anexo A - 17 - Descrição do custo das fôrmas

Materiais necessários para fabricação de 1 m ² de fôrma					
Descrição	Consumo	Unidade	Preço Unitário (R\$)	Quantidade (m2)	Preço Total (R\$)
Tábua 2,50x3,00	2,84	Metro linear	5,30	403,20	2.136,96
Sarrafo 2,5x10	1,53	Metro linear	2,16	403,20	870,92
Prego 18x27	0,20	Quilo	6,99	403,20	2.818,37
Valor total					5.826,25

Tabela Anexo A - 18 - Dimensões e consumo de aço das vigas

Piso 3				
Viga	Dimensões (cm)	Comprimento (cm)	Aço CA-50 (kg)	Aço CA-60 (kg)
V1	20x45	990	46,8	11,7
V2	20x45	1.012	56,3	11,8
V3	20x45	364	13,3	4,2
V4	20x45	990	132,3	-
V5	20x45	1.012	137	-
V6	20x45	364	10,6	4,2
V7	20x45	2.326	128,7	27,6
V8	20x45	1.230	118,8	14,1
V9	20x45	1.230	108,2	8,3
V10	20x45	1.230	77,2	14,3
V11	20x45	1.230	118,8	14,1
Total			948	110,3
Soma Total				1.058,3

Anexo A

Tabela Anexo A - 19 - Custo de material das vigas

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	1.058,3	1.058,3	5.820,65
Arame	0,03	7,79	1.058,3	31,749	247,33
Total					6.067,98

Tabela Anexo A - 20 - Quantitativo dos pilares e consumo de aço

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	20
20x40	2
Aço	
	Peso (kg)
CA-50	739
CA-60	73
Total	812

Tabela Anexo A - 21 - Custo de aço dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	812	812	4.466
Arame	0,03	7,79	812	24,36	189,76
Total					4.655,76

Tabela Anexo A - 22 - Quantitativo de aço da laje

Lajes		
Aço	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
	2.084,3	193,4
Total		2.277,7

Tabela Anexo A - 23 - Custo do material aço da laje

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	2.277,7	2.277,7	12.527,35
Arame	0,03	7,79	2.277,7	68,331	532,30
Total					13.059,65

Tabela Anexo A - 24 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	5.826,25
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	6.067,98
Pilar (aço)	4.655,76
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	
	41.991,94

Tabela Anexo A - 25 - Quantitativo obtido pelo Cypecad

Piso 4 – superfície total: 262,70 m ²		
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)
Lajes	239,39	35,91
Viga (fundo)	21,95	10,79
Viga (fôrma lateral)	79,06	
Pilares	62,80	3,84
Total	403,20	50,54

Tabela Anexo A - 26 - Custo do concreto

Piso 4		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto	50,54 (m ³)	12.382,3

Tabela Anexo A - 27 - Dimensões e consumo de aço das vigas

Piso 4				
Viga	Dimensões (cm)	Comprimento (cm)	Aço CA-50 (kg)	Aço CA-60 (kg)
V1	20x45	990	46,1	11,7
V2	20x45	1012	56	11,8
V3	20x45	364	10,6	4,2
V4	20x45	990	126,3	-
V5	20x45	1012	130,7	-
V6	20x45	364	10,6	4,2
V7	20x45	2326	127,4	27,6
V8	20x45	1230	117,2	14,1
V9	20x45	1230	97	14,3
V10	20x45	1230	104,3	8,3
V11	20x45	1230	117,2	14,1
Total			943,4	110,3
Soma Total				1.053,7

Tabela Anexo A - 28 - Custo das vigas

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	1.053,7	1.053,7	5.795,35
Arame	0,03	7,79	1.053,7	31,61	246,25
Total					6.041,6

Tabela Anexo A - 29 - Dimensões e consumo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	20
20x40	2
Aço	
CA-50	428
CA-60	100
Total	528

Tabela Anexo A - 30 - Custo dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	528	528	2.904
Arame	0,03	7,79	528	15,84	123,39
Total					3.027,39

Tabela Anexo A - 31 - Consumo de aço das lajes

Lajes		
Aço	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
	2.084,3	193,4
Total		2.277,7

Anexo A

Tabela Anexo A - 32 - Consumo de aço das lajes

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	2.277,7	2.277,7	12.527,35
Arame	0,03	7,79	2.277,7	68,331	532,30
Total					13.059,65

Tabela Anexo A - 33 - Consumo de aço das lajes

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	-
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	6.041,6
Pilar (aço)	3.027,39
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	34.510,94

Tabela Anexo A - 34 - Quantitativo obtido pelo Cypecad

Piso 5 – superfície total: 262,70 m ²		
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)
Lajes	239,39	35,91
Viga (fundo)	21,95	10,79
Viga (fôrma lateral)	79,06	
Pilares	62,80	3,84
Total	403,20	50,54

Tabela Anexo A - 35 - Custo do concreto

Piso 5		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto	50,54 (m3)	12.382,3

Tabela Anexo A - 36 - Dimensões e consumo de aço das vigas

Piso 5				
Viga	Dimensões (cm)	Comprimento (cm)	Aço CA-50 (kg)	Aço CA-60 (kg)
V1	20x45	990	43,5	11,7
V2	20x45	1012	55,1	11,8
V3	20x45	364	10,6	4,2
V4	20x45	990	125,7	-
V5	20x45	1012	129,3	-
V6	20x45	364	10,6	4,2
V7	20x45	2326	125,6	27,6
V8	20x45	1230	114,5	14,1
V9	20x45	1230	77,7	14,1
V10	20x45	1230	77,2	14,3
V11	20x45	1230	114,5	14,1
Total			884,3	116,1
Soma Total				1.000,4

Tabela Anexo A - 37 - Custo das vigas

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	1.000,4	1.000,4	5.502,2
Arame	0,03	7,79	1.000,4	30,012	233,79
Total					5.735,99

Anexo A

Tabela Anexo A - 38 - Quantitativo e consumo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	20
20x40	2
Aço	
CA-50	287
CA-60	111
Total	398

Tabela Anexo A - 39 - Custo dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	398	398	2.189
Arame	0,03	7,79	398	11,94	93,01
Total					2.282,01

Tabela Anexo A - 40 - Consumo de aço das lajes

Lajes		
Aço	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
	2084,3	193,4
Total		2.277,7

Tabela Anexo A - 41 - Custo das lajes

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	2.277,7	2.277,7	12.527,35
Arame	0,03	7,79	2.277,7	68,331	532,30
Total					13.059,65

Tabela Anexo A - 42 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	-
Concreto (laje, viga e pilares)	12.382,30
Vigas (aço)	5.735,99
Pilar (aço)	2.282,01
Laje (aço)	13.059,65
VALOR TOTAL	33.459,95

Tabela Anexo A - 43 - Quantitativo obtido pelo Cypecad

Piso 6 – superfície total: 270,77 m ²		
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)
Lajes	247,46	37,12
Viga (fundo)	21,95	10,79
Viga (fôrma lateral)	77,43	
Pilares	58,20	3,40
Total	405,04	51,31

Tabela Anexo A - 44 - Custo do concreto

Piso 6		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto	51,31 (m ³)	15.570,95

Tabela Anexo A - 45 - Consumo de aço das vigas

Piso 6				
Viga	Dimensões (cm)	Comprimento (cm)	Aço CA-50 (kg)	Aço CA-60 (kg)
V1	20x45	990	42,4	11,7
V2	20x45	1012	42,9	11,8
V3	20x45	364	10,6	4,2
V4	20x45	990	99	-
V5	20x45	1012	113	-
V6	20x45	364	10,6	4,2
V7	20x45	2326	103,6	27,6
V8	20x45	1230	73,7	14,1
V9	20x45	1230	61,3	13,6
V10	20x45	1230	63,9	13,6
V11	20x45	1230	73,7	14,1
Total			694,7	114,9
Soma Total				809,6

Tabela Anexo A - 46 - Custo das vigas

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	809,6	809,6	4.452,8
Arame	0,03	7,79	809,6	24,288	189,20
Total					4.642,00

Tabela Anexo A - 47 - Consumo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	20
20x40	2
Aço	
CA-50	206
CA-60	100
Total	306

Tabela Anexo A - 48 - Custo dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	306	306	1.683
Arame	0,03	7,79	306	9,18	71,51
Total					1.754,51

Tabela Anexo A - 49 - Consumo de aço das lajes

Lajes		
Aço	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
	2.115,8	174,5
Total	2.290,3	

Tabela Anexo A - 50 - Custo das lajes

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	2.290,3	2.290,3	12.596,65
Arame	0,03	7,79	2.290,3	68,71	535,24
Total					13.131,89

Anexo A

Tabela Anexo A - 51 - Valores dos consumos totais obtidos pelo Cypecad

Total da obra – superfície total = 1.344,84 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (Kg)
Lajes	1.204,98	180,75	11.401,1
Vigas: Fundo	131,70	64,74	5.534
Vigas: Fôrma Lateral	492,58	-	-
Pilares	291,60	17,44	3.380
Total	2.120,86	262,93	20.315,1

Tabela Anexo A - 52 - Resumo dos preços do piso

Descrição	Custo (R\$)
Fôrmas	-
Concreto (laje, viga e pilares)	15.570,95
Vigas (aço)	4.642,00
Pilar (aço)	1.754,51
Laje (aço)	13.131,89
VALOR TOTAL	35.099,35

Tabela Anexo A - 53 - Custos dos materiais da estrutura

Valores do material da estrutura por piso	
Piso 2	R\$ 45.245,24
Piso 3	R\$ 41.991,94
Piso 4	R\$ 34.510,94
Piso 5	R\$ 33.459,95
Piso 6	R\$ 35.099,35
Total do custo de materiais	R\$ 190.307,42

Tabela Anexo A - 54 - Custo total da mão de obra

Custo da mão de obra	
Mão de obra	R\$ 232.597,96

Tabela Anexo A - 55 - Custo total da estrutura

Custo total da estrutura	
Materiais	R\$ 190.307,42
Mão de obra	R\$ 232.597,96
Total	R\$ 422.905,38

ANEXO B – Valores quantitativos dos elementos do sistema construtivo híbrido

Tabela Anexo B - 1 - Quantitativo e custos de fôrmas e concreto

Piso 2		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Fôrmas	67,00 (m ²)	968,15
Concreto	4,20 (m ³)	1.029,00

Tabela Anexo B - 2 - Descrição do quantitativo utilizado nas fôrmas

Materiais necessários para fabricação de 1 m ² de fôrma					
Descrição	Consumo	Unidade	Preço Unitário (R\$)	Quantidade (m ²)	Preço Total (R\$)
Tábua 2,50x3,00	2,84	Metro linear	5,30	67,00	355,1
Sarrafo 2,5x10	1,53	Metro linear	2,16	67,00	144,72
Prego 18x27	0,20	Quilo	6,99	67,00	468,33
Valor total					968,15

Tabela Anexo B - 3 - Dimensões e consumo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	12
20x40	10
Aço	Peso (kg)
CA-50	1257
CA-60	79
Total	1336

Tabela Anexo B - 4 - Custo dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	1.336	1.336	7.348
Arame	0,03	7,79	1.336	40,08	312,22
Total					7.660,22

Tabela Anexo B - 5 - Consumo e custo de fôrmas e concreto

Piso 3		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Fôrmas	67,00 (m ²)	968,15
Concreto	4,20 (m ³)	1.029,00

Tabela Anexo B - 6 - Composição distinta dos materiais das fôrmas

Materiais necessários para fabricação de 1 m ² de fôrma					
Descrição	Consumo	Unidade	Preço Unitário (R\$)	Quantidade (m ²)	Preço Total (R\$)
Tábua 2,50x3,00	2,84	Metro linear	5,30	67,00	355,1
Sarrafo 2,5x10	1,53	Metro linear	2,16	67,00	144,72
Prego 18x27	0,20	Quilo	6,99	67,00	468,33
Valor total					968,15

Tabela Anexo B - 7 - Quantitativo e consumo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	12
20x40	10
Aço	
CA-50	764
CA-60	83
Total	847

Tabela Anexo B - 8 - Custo de aço do pilar

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	847	847	4.658,5
Arame	0,03	7,79	847	25,41	197,94
Total					4.856,44

Tabela Anexo B - 9 - Custo do concreto utilizado nos pilares

Piso 4		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto	4,20 (m ³)	1.029,00

Tabela Anexo B - 10 - Quantitativo e consumo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	12
20x40	10
Aço	
Peso (kg)	
CA-50	460
CA-60	88
Total	548

Tabela Anexo B - 11 - Custo do aço dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	548	548	3.014
Arame	0,03	7,79	548	16,44	128,07
Total					3.142,07

Tabela Anexo B - 12 - Consumo e custo de concreto dos pilares

Piso 5		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto	4,20 (m ³)	1.029,00

Tabela Anexo B - 13 - Quantitativo e custo do aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	12
20x40	10
Aço	
CA-50	343
CA-60	93
Total	436

Tabela Anexo B - 14 - Custo do aço dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	436	436	2.398
Arame	0,03	7,79	436	13,08	101,89
Total					2.499,89

Tabela Anexo B - 15 - Consumo e custo de concreto dos pilares

Piso 6		
Elemento	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto	4,20 (m ³)	1.029,00

Anexo B

Tabela Anexo B - 16 - Quantitativo e consumo de aço dos pilares

Dimensões dos Pilares (cm)	Quantidade
20x30	12
20x40	10
Aço	
CA-50	256
CA-60	106
Total	362

Tabela Anexo B - 17 - Custo de aço dos pilares

Descrição	Consumo TCPO (Kg)	Valor (R\$)	Quantidade (Kg)	Quantidade Total (Kg)	Valor (R\$)
Aço	1	5,50	362	362	1.991
Arame	0,03	7,79	362	10,86	84,60
Total					2.075,60

Tabela Anexo B - 18 - Quantitativo dos pilares obtidos pelo Cypecad

Total da obra			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (Kg)
Pilar	314,00	19,44	3546

Tabela Anexo B - 19 - Custo total dos pilares

Valores do material dos pilares da estrutura por piso em reais	
Piso 2	7.660,22
Piso 3	4.856,44
Piso 4	3.142,07
Piso 5	2.499,89
Piso 6	2.075,60
Total	20.234,22

Tabela Anexo B - 20 - Custo total da mão de obra

Custo da mão de obra	
Mão de obra	R\$ 24.730,72

Tabela Anexo B - 21 - Custo total da estrutura

Custo total da estrutura	
Materiais	R\$ 20.234,22
Mão de obra	R\$ 24.730,72
Total	R\$ 44.964,94

Anexo B

Tabela Anexo B - 22 - Apresentação dos pesos e das vigas pré-fabricadas a serem transportados

Transporte – Carreta comum - Vigas					
Viga (cm)	Comprimento (m)	Quantidade (m ³)	Quantidade (unitário)	Peso (kg)	Peso Total (kg)
20x45	4,60	14,49	30	1.207,50	36.225,00
20x45	4,81	5,06	10	1.265,00	12.650,00
20x45	4,50	5,40	10	1.350,00	13.500,00
20x45	4,40	2,64	5	1320,00	6.600,00
20x45	4,61	2,77	5	1.385,00	6.925,00
20x45	3,23	5,10	15	850,00	12.750,00
20x45	5,65	10,17	20	1.271,25	25.425,00
20x45	4,25	7,65	20	956,25	19.125,00
20x45	1,10	1,98	20	247,50	4.950,00
Total			135		

Tabela Anexo B - 23 - Apresentação do quantitativo das lajes alveolares pré-fabricadas

Transporte – Carreta Simples – Laje Alveolar		
	Quantidade (m ³)	Quantidade (m ²)
Laje Alveolar PE20	130,71	1.188,32

Tabela Anexo B - 24 - Custo das vigas pré-fabricadas

Peças Pré-Fabricadas				
Item	Comprimento (m)	Quantidade de Peças	Valor da Peça (R\$)	Valor Total (R\$)
Vigas 20x45	4,60	30,00	1.420,51	42.615,16
Vigas 20x45	4,81	10,00	1.488,15	14.881,48
Vigas 20x45	4,50	10,00	1.588,14	15.881,42
Vigas 20x45	4,40	5,00	1.552,85	7.764,25
Vigas 20x45	4,61	5,00	1.629,32	8.146,58
Vigas 20x45	3,23	15,00	999,94	14.999,12
Vigas 20x45	5,65	20,00	1.495,00	29.910,02
Vigas 20x45	4,25	20,00	1.124,93	22.496,68
Vigas 20x45	1,10	20,00	291,16	5.823,18
Totais		135,00		162.519,89

Tabela Anexo B - 25 - Custo das lajes alveolares

Lajes				
Item	Quantidade	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Laje Alveolar PE20	1.188,32	Metro quadrado	202,27	240.367,07
Valor total				240.367,07

Tabela Anexo B - 26 - Consumo e custo do complemento da laje alveolar

Complemento da laje				
Itens	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Capeamento da laje	1.322,81	Metro quadrado	103,77	137.267,99
Chaveteamento – Concreto C30	9,50	Metro cúbico	414,56	3.938,32
Total				141.206,31

Tabela Anexo B - 27 - Custo total da estrutura

Custo total da estrutura	
Pilares*	R\$ 58.454,42
Vigas	R\$ 162.519,89
Lajes	R\$ 240.367,07
Complemento da laje	R\$ 141.206,31
TOTAL	R\$ 602.547,69

* Já incluso o valor do BDI.

ANEXO C – Valores quantitativos dos elementos do sistema construtivo pré-fabricado

Tabela Anexo C - 1 - Quantitativo das vigas pré-fabricadas a serem transportadas pela carreta comum

Transporte – Carreta comum - Vigas					
Viga (cm)	Comprimento (m)	Quantidade (m ³)	Quantidade (unitário)	Peso (kg)	Peso Total (kg)
30x60	4,13	22,30	30	1.858,33	55.750,00
30x60	4,34	7,82	10	1.955,00	19.550,00
30x60	3,43	9,26	15	1.543,33	23.150,00
30x60	3,21	8,68	15	1.446,67	21.700,00
30x60	3,64	3,28	5	1.640,00	8.200,00
30x60	4,78	17,21	20	2.151,25	43.025,00
30x60	2,98	10,73	20	1.341,25	26.825,00
30x60	0,58	2,09	20	261,25	5.225,00
Total			135		

Tabela Anexo C - 2 - Quantitativo de pilares pré-fabricados a serem transportados pela carreta extensiva

Transporte – Carreta Extensiva - Pilar					
Pilar	Comprimento (m)	Quantidade (m ³)	Quantidade (unitário)	Peso (kg)	Peso Total (kg)
30x120	17,32	74,82	12	15.587,50	187.050,00
30x100	17,00	51,00	10	12.750,00	127.500,00

Tabela Anexo C - 3 - Quantitativo das lajes alveolares a serem transportadas pela carreta simples

Transporte – Carreta Simples – Laje Alveolar		
	Quantidade (m ³)	Quantidade (m ²)
Laje Alveolar PE20	130,71	1.188,32

Tabela Anexo C - 4 - Quantitativo e custos de vigas e pilares pré-fabricados

Peças Pré-Fabricadas				
Item	Comprimento (m)	Quantidade de Peças	Valor da Peça (R\$)	Valor Total (R\$)
Pilar 30x100	17,00	10,00	12.418,01	124.180,11
Pilar 30x120	17,32	12,00	15.181,63	182.179,52
Viga 30x60	4,13	30,00	1.586,90	47.607,07
Viga 30x60	4,34	10,00	1.669,45	16.694,49
Viga 30x60	3,43	15,00	1.317,91	19.768,68
Viga 30x60	3,21	15,00	1.235,36	18.530,47
Viga 30x60	3,64	5,00	1.400,46	7.002,29
Viga 30x60	4,78	20,00	1.837,04	36.740,70
Viga 30x60	2,98	20,00	1.145,34	22.906,89
Viga 30x60	0,58	20,00	223,09	4.461,82
Totais		157,00		480.072,04

Tabela Anexo C - 5 - Custo das lajes alveolares

Lajes				
Item	Quantidade	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Laje Alveolar PE20	1.188,32	Metro quadrado	202,27	240.367,07
Valor total				240.367,07

Tabela Anexo C - 6 - Custo do complemento da laje

Complemento da laje				
Itens	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Capeamento da laje	1.322,81	Metro quadrado	103,77	137.267,99
Chaveteamento – Concreto C30	9,50	Metro cúbico	414,56	3.938,32
Total				141.206,31

Tabela Anexo C - 7 - Custo da estrutura

Custo total da estrutura	
Pilares e vigas	R\$ 480.072,04
Lajes	R\$ 240.367,07
Complemento da laje	R\$ 141.206,31
TOTAL	R\$ 861.645,42

