

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL E DE CUSTOS PARA EDIFÍCIO COM
DIVERSAS CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS.**

FELIPE FERREIRA SOUSA JUNIOR

**BARREIRAS-BA
SETEMBRO-2017**

FELIPE FERREIRA SOUSA JUNIOR

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL E DE CUSTOS PARA EDIFÍCIO COM
DIVERSAS CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Dr. Pedro Cláudio dos Santos Vieira.

**BARREIRAS-BA
SETEMBRO-2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

S725 Sousa Júnior, Felipe Ferreira.
Análise de estabilidade global e custos para edifício com diversas concepções estruturais. / Felipe Ferreira Sousa Junior. – 2017.
129f.il.

Orientador: Prof. Dsc. Pedro Cláudio dos Santos Vieira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das
Tecnologias, Barreiras, BA, 2017.

1. Elementos Estruturais. I. Vieira, Pedro Cláudio dos Santos. II.
Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das
Tecnologias. III. Título.

CDD 690.1

FELIPE FERREIRA SOUSA JUNIOR

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL E DE CUSTOS PARA EDIFÍCIO COM
DIVERSAS CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em 25 de setembro de 2017.

Banca Examinadora


Orientador:



Dr. Pedro Cláudio dos Santos Vieira
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)



Me. Kuelson Rândello Dantas Maciel
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)



Me. Pedro Paulo Martins de Carvalho
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

*Dedico este trabalho a minha mãe, Jussara,
por todo o amor, compreensão e apoio
dado por todos esses anos. Foi você quem
me impulsionou em frente.*

AGRADECIMENTOS

A felicidade pelo término dessa etapa de vida é indescritível. Dentre os aprendizados, as lições de vida, os sofrimentos e as horas de dedicação que exigiram noites, finais de semana e feriados. No final o resultado é vitória.

Primeiramente dedico esse trabalho à Deusa e em seguida ao meu Anjo da Guarda, sem a proteção e bênçãos às quais não seria possível prosseguir.

A minha mãe, grande mulher por trás desse futuro engenheiro de estruturas que vos fala, que me apoiou em todas as horas, dos momentos de extrema felicidade aos mais sombrios.

Ao meu orientador, Pedro Cláudio do Santos Vieira, que por horas aturou minha loucura e tormentos constantes durante as dúvidas nas modelagens estruturais.

A todos os professores da Universidade Federal do Oeste da Bahia, e em especial aos que compõem a banca examinadora, todos inspiradores do trabalho na área estrutural, do concreto armado ao aço.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

*A todos os que me fizeram mal, vos digo:
haverá vingança! E também contarei como:
passarão o resto de seus dias sabendo que
eu estou vivendo os meus sonhos!*

RESUMO

Como objetivo têm-se a análise numérica da estabilidade global e dos custos par um edifício real na cidade de Barreiras-BA, com estudos de diferentes concepções estruturais. Baseado no fato da crescente tendência à verticalização das estruturas deve-se atentar cada vez mais para a estabilidade global das estruturas e os custos envolvidos com as diferentes concepções estruturais. Durante o escrito são realizadas investigações a cerca das composições estruturais com materiais e combinações diversas (de concreto, aço e mistas), dimensionando-se sistemas estruturais resistentes para o projeto da edificação. Ao final verifica-se que, com mudanças pouco relevantes relacionadas aos deslocamentos horizontais e estabilidade global, diferentes concepções estruturais apresentam grande diferença orçamentária e demonstram que não se pode sempre afirmar que estruturas de concreto são sempre as mais baratas. Com as variações estruturais propostas, economias de até meio milhão de reais foram encontradas no comparativo com a estrutura utilizada na edificação de estudo.

Palavras-chave: estabilidade global, custo global, estruturas mistas, estruturas metálicas, concepção estrutural.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de gastos em cada etapa da obra	40
Tabela 2 - Limites dos valores de α_1 devido aos tipos de contraventamento.	48
Tabela 3 - Esquema de nomeação dos diversos sistemas estruturais.	54
Tabela 4 - Distribuição das áreas construídas através dos pavimentos.	63
Tabela 5 - Cargas de vento calculadas para a torre (válida para todas as concepções analisadas).	65
Tabela 6 - Comparativo dos valores do coeficiente gama-Z γ_z fornecidos pelo software CYPECAD com os valores encontrados por Oliveira (2009).	69
Tabela 7 - Comparativo dos valores do coeficiente gama-Z para as diversas concepções estruturais.	69
Tabela 8 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VC30-LMMC30).	71
Tabela 9 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VC30-LMMC30).	71
Tabela 10 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VC30-LMMC30).	71
Tabela 11 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VC30-LMMC30).	72
Tabela 12 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VC30-LMC30A36).	73
Tabela 13 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VC30-LMC30A36).	73
Tabela 14 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VC30-LMC30A36).	74
Tabela 15 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VC30-LMC30A36).	74
Tabela 16 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VA36-LMC30A36).	75

Tabela 17 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VA36-LMC30A36).	75
Tabela 18 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VA36-LMC30A36).	76
Tabela 19 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VA36-LMC30A36).....	76
Tabela 20 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VA36-LMMC30).	77
Tabela 21 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VA36-LMMC30).	77
Tabela 22 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VA36-LMMC30).	78
Tabela 23 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VA36-LMMC30).....	78
Tabela 24 - Índices de consumo de materiais por área construída (PA36-VA36-LMC30A36).	79
Tabela 25 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PA36-VA36-LMC30A36).	80
Tabela 26 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PA36-VA36-LMC30A36).	80
Tabela 27 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PA36-VA36-LMC30A36).	80
Tabela 28 - Índices de consumo de materiais por área construída (PA572-VA572-LMC30A572)	81
Tabela 29 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PA572-VA572-LMC30A572)	82
Tabela 30 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PA572-VA572-LMC30A572).....	82
Tabela 31 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PA572-VA572-LMC30A572).	82
Tabela 32 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VC30-LNNC30).	84
Tabela 33 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VC30-LNNC30).	84

Tabela 34 -	Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VC30-LNNC30).	84
Tabela 35 -	Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VC30-LNNC30).	85
Tabela 36 -	Tabela resumo das deformações e coeficiente de estabilidade global.....	86
Tabela 37 -	Comparativo de custos entre as concepções estruturais.	88
Tabela 38 -	Orçamento de fundações (PC30-VC30-LMMC30).	96
Tabela 39 -	Orçamento de pilares (PC30-VC30-LMMC30).	97
Tabela 40 -	Orçamento de vigas (PC30-VC30-LMMC30).	99
Tabela 41 -	Orçamento de lajes (PC30-VC30-LMMC30).	100
Tabela 42 -	Orçamento de escadas (PC30-VC30-LMMC30).	101
Tabela 43 -	Orçamento de cortinas (PC30-VC30-LMMC30).	102
Tabela 44 -	Orçamento de fundações (PA36-VCA36-LMC30A36).	103
Tabela 45 -	Orçamento de pilares (PA36-VCA36-LMC30A36).	105
Tabela 46 -	Orçamento de vigas (PA36-VCA36-LMC30A36).	105
Tabela 47 -	Orçamento de lajes (PA36-VCA36-LMC30A36).	107
Tabela 48 -	Orçamento de escadas (PA36-VCA36-LMC30A36).	108
Tabela 49 -	Orçamento de cortinas (PA36-VCA36-LMC30A36).	109
Tabela 50 -	Orçamento de lajes (PC30-VC30-LNNC30).	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Proposição estrutural de acordo com o número de andares para a arquitetura....	23
Figura 2 -	Edifício residencial de múltiplos pavimentos.....	24
Figura 3 -	Partes de um edifício: principais elementos estruturais.....	28
Figura 4 -	Esquema de caminhamento das ações de uso e peso próprio.....	29
Figura 5 -	Amostra de alguns tipos de lajes.	30
Figura 6 -	Exemplo de laje maciça convencional ainda com escoramento.....	31
Figura 7 -	Vista de uma laje nervurada.	31
Figura 8 -	Tipos de lajes mistas previstos em norma.	32
Figura 9 -	Laje mista steel deck em execução.....	33
Figura 10 -	Estruturas mistas-aço concreto: (a) viga mista típica e seus elementos; (b) viga com perfil de aço embebido no concreto; (c) pilar misto; (d) viga mista com fôrma metálica (steel deck) com nervuras dispostas perpendicularmente ao eixo da viga.....	34
Figura 11 -	Seções correntes de pilares mistos.	37
Figura 12 -	Esquema de tubulão a céu aberto.	38
Figura 13 -	Edifícios mais altos do mundo atualmente e planejados para o futuro.	42
Figura 14 -	Edifícios mais altos do Brasil e planejados para o futuro.....	42
Figura 15 -	Elementos de contraventamento e contraventados.....	45
Figura 16 -	Diferentes deformadas em relação aos sistemas de contraventamento.	49
Figura 17 -	Esquema do edifício caso de validação.	57
Figura 18 -	Fôrma do pavimento tipo.....	58
Figura 19 -	Cotas dos pavimentos criados.....	59
Figura 20 -	Configuração dos materiais.	59
Figura 21 -	Inserção das forças devido ao vento.	60
Figura 22 -	Configuração dos efeitos de segunda ordem.	60
Figura 23 -	Cargas nas lajes (exceto peso próprio).	61
Figura 24 -	Cargas sobre as vigas (exceto peso próprio).	61
Figura 25 -	Projeto após a inserção de todos os carregamentos.....	61

Figura 26 -	Vista tridimensional do projeto.	62
Figura 27 -	Edificação durante a construção.	62
Figura 28 -	Cargas acidentais (SCU) e permanentes (CP) aplicadas.	64
Figura 29 -	Informações para o cálculo das forças de vento.	65
Figura 30 -	Vista tridimensional da estrutura que foi executada.	66
Figura 31 -	Fôrmas e detalhes para lajes steel-deck.	67
Figura 32 -	Detalha de apoio da laje steel-deck sobre a viga de aço.	67
Figura 33 -	Detalhe dos travamentos utilizados nos itens D, E e F.	68
Figura 34 -	Seção transversal da laje nervurada utilizada com fôrmas Atex 600.	68
Figura 35 -	Representação do edifício em sua concepção original.	70
Figura 36 -	Representação do aumento das vigas para apoio das lajes steel deck.	73
Figura 37 -	Detalhe da associação das vigas de aço e travamentos no núcleo de escadas.	75
Figura 38 -	Detalhe do travamento interno da estrutura metálica.	79
Figura 39 -	Esquema estrutural com lajes nervuradas e vigas de bordo.	83
Figura 40 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LMMC30).	112
Figura 41 -	Planta de fôrmas da estrutura de suporte da piscina (PC30-VC30- LMMC30).	113
Figura 42 -	Planta de fôrmas do reservatório (PC30-VC30-LMMC30).	114
Figura 43 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LMC30A36).	115
Figura 44 -	Planta de fôrmas da estrutura de suporte da piscina (PC30-VC30- LMC30A36).	116
Figura 45 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LMC30A36).	117
Figura 46 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VA36-LMC30A36).	118
Figura 47 -	Planta de fôrmas da estrutura da piscina (PC30-VA36-LMC30A36).	119
Figura 48 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VA36-LMMC30).	120
Figura 49 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PA36-VA36-LMC30A36).	121
Figura 50 -	Planta de fôrmas da estrutura da piscina (PA36-VA36-LMC30A36).	122
Figura 51 -	Planta de fôrmas do reservatório (PA36-VA36-LMC30A36).	123
Figura 52 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PA572-VA572-LMC30A572).	124
Figura 53 -	Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LNNC30).	125
Figura 54 -	Planta de fôrmas da estrutura da piscina (PC30-VC30-LNNC30).	126
Figura 55 -	Planta de fôrmas do reservatório (PC30-VC30-LNNC30).	127
Figura 56 -	Arquitetura do pavimento tipo.	128

Figura 57 -	Arquitetura da cobertura inferior.....	129
Figura 58 -	Arquitetura da cobertura superior.....	130

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 JUSTIFICATIVA.....	19
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 GERAIS.....	19
1.2.2 ESPECÍFICOS.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	21
2.1.1 DIRETRIZES DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÕES.....	24
2.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS USUAIS.....	27
2.2.1 LAJES.....	29
2.2.2 VIGAS.....	33
2.2.3 PILARES.....	35
2.2.4 TUBULÕES A CÉU ABERTO.....	37
2.3 CUSTOS DA ESTRUTURA E FUNDAÇÃO.....	38
2.3.1 PADRÕES DE CUSTO.....	39
2.3.2 ESTIMATIVA DE CUSTO DAS FASES DA OBRA.....	39
2.4 DIMENSIONAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	40
2.5 ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA.....	41
2.5.1 INSTABILIDADE ESTRUTURAL.....	42
2.5.2 EFEITOS DE 1º ORDEM E EFEITOS LOCAIS E GLOBAIS DE 2º ORDEM.....	43
2.5.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	44
2.5.4 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	45
2.5.5 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL.....	46
2.6 FERRAMENTAS DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS E NORMAS CONSIDERADAS.....	52
3. MATERIAL E MÉTODOS	53
3.1 FORMAS DE COMBINAÇÃO E CONCEPÇÕES DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS PROPOSTOS.....	53

3.2	SISTEMAS ESTRUTURAIS ADOTADOS.....	54
3.2.1	CASO DE VALIDAÇÃO: OLIVEIRA (2009)	54
3.2.2	CASO DE ESTUDO: MANSÃO BURLE MARX.....	56
3.3	CRITÉRIO DE CÁLCULO DOS CUSTOS	56
3.4	CASO DE VALIDAÇÃO: OLIVEIRA (2009)	57
3.4.1	LANÇAMENTO DO CASO DE VALIDAÇÃO: OLIVEIRA (2009) NO CYPECAD	58
3.5	LANÇAMENTO DO CASO DE ESTUDO: MANSÃO BURLE MARX NO CYPECAD	62
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1	CASO DE VALIDAÇÃO: OLIVEIRA (2009)	69
4.2	CASO DE ESTUDO: MANSÃO BURLE MARX.....	70
4.2.1	PC30-VC30-LMMC30.....	70
4.2.2	PC30-VC30-LMC30A36.....	72
4.2.3	PC30-VA36-LMC30A36.....	75
4.2.4	PC30-VA36-LMMC30.....	77
4.2.5	PA36-VA36-LMC30A36.....	78
4.2.6	PA572-VA572-LMC30A572	81
4.2.7	PC30-VC30-LNNC30.....	83
4.2.8	COMPARATIVO SINTETIZADO ENTRE AS CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS	85
	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS.....	93
	APÊNDICE A.....	93
	APÊNDICE B.....	112

1. INTRODUÇÃO

Com os crescimentos cada vez mais expressivos dos aglomerados urbanos, as construções verticais se tornam o alvo de investimento, seja do mercado imobiliário que tratará apenas do resultado final ou da área de projeto, com verificações executadas quanto ao arranjo global e a segurança da edificação. A verticalização afeta os mais diversos fatores, assim como aponta Machado e Mendes (2003, *apud* Casaril, Töws e Mendes, 2011):

A verticalização se apresenta como um processo de construção onde são criados novos solos, que se encontram sobrepostos, dispostos em andares sob a forma de um edifício. Esta configuração permite uma maior extração de lucro do solo, pois dessa forma é possível construir muito mais habitações ou salas comerciais em um espaço relativamente pequeno. Dessa forma é viabilizada a extração de um lucro ainda maior da terra.

Em conjunto com o desenvolvimento das construções verticais, o dever do engenheiro estruturalista se multiplica em diversidade: do trato com o arquiteto para a definição da melhor concepção estrutural, escolha dos materiais, e a verificação das combinações de materiais e concepções em todo o conjunto estrutural, com vista ao orçamento dos componentes estruturais e verificação das dificuldades de execução. Diversas são as possibilidades e combinações executáveis, sendo dever conjunto dos responsáveis técnicos pela edificação escolher composições que juntas se mostram adequadas para a execução e que levem em conta diversos aspectos, da etapa executiva à social. O trabalho conjunto entre arquiteto e engenheiro se faz fundamental para que o melhor resultado seja alcançado, com planejamento que norteie todo o projeto de forma coerente e concisa.

Com base na verticalização é necessário que se verifiquem diversos fatores, dentre eles os parâmetros de instabilidade, cada vez mais refinado graças a teoria das estruturas. Para a aferição da estabilidade vários são os parâmetros que podem ser verificados, desde o simples alfa (α) que segundo Fusco (1981) serve como um comparativo em relação às modalidades de contraventamento, o coeficiente gama-Z, que segundo Oliveira (2009) possibilita a utilização simplificada de estruturas mais esbeltas com majoração dos esforços de segunda ordem até as análises rigorosas como a P- Δ , que considera a não

linearidade geométrica. Como primeira análise o escrito que segue verifica diferentes concepções estruturais com um parâmetro comparativo comum: o coeficiente gama-Z para a verificação da estabilidade global.

A diferenciação quanto às estabilidades é evidente, bem como são necessárias algumas alterações quanto ao contraventamento para a viabilidade da junção de materiais nas mais diversas combinações. Imagens e comentários quanto ao que motivou tais alterações são efetuadas, com demonstrativos de índices de consumo de materiais relacionados a área construída.

1.1 Justificativa

A tendência ao aumento das estruturas verticais e as diferentes combinações de materiais em estruturas mistas é um fator para qual o engenheiro deve estar preparado. Afirmar quanto aos maiores custos relacionados a estruturas de aço está no passado, da mesma forma que não se faz mais real as dificuldades quanto nos projetos de obras de grandes dimensões.

Deve-se entender como funciona o sistema estrutural nas mais diversas concepções estruturais e então verificar-se como a estabilidade da edificação pode afetar a sua construção e, com o resultado final mais seguro em termos de construção econômica, aferir-se os custos relacionados a execução.

1.2 Objetivos

1.2.1 Gerais

Analisar numericamente a estabilidade global de um edifício real executado na cidade de Barreiras-BA, com variação da concepção que inclui concreto armado, mistas e totalmente metálicas, utilizando o coeficiente gama-Z e o custo global da estrutura.

1.2.2 Específicos

- Formular diversos modelos de análise estrutural através do software CYPECAD 2016.0;

- Analisar as estabilidades globais de cada modelo estrutural de forma comparativa;
- Obter resultados de estabilidade global e custos quanto aos modelos de estudo;
- Verificar fatores que realmente interfiram nos custos de projeto e indicar alternativas estruturais quanto a concepção.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para a estruturação do edifício é necessário que se leve em conta os mais diversos fatores, desde ações de segurança à manutenção rotineira e a resistência em situação de incêndio. Todos esses fatores devem ser analisados com base na concepção estrutural, custo financeiro e estabilidade global da estrutura. Carvalho e Figueiredo Filho (2015) definem que todo o processo estrutural, até o cálculo, tem por finalidade garantir, “com segurança adequada, que a estrutura mantenha certas características que possibilitem a utilização satisfatória da construção, durante sua vida útil, para as finalidades às quais foi concebida”.

2.1 Concepção Estrutural

Pinheiro (2003) define a concepção estrutural como a escolha do sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício. Essa seria, segundo o autor, uma das etapas mais importantes no projeto estrutural, e implica em escolher os elementos a serem utilizados e suas posições, de modo a formar um sistema eficiente, capaz de absorver esforços oriundos das ações atuantes.

Segundo Alva (2007), “a concepção da estrutura de um edifício consiste no estabelecimento de um arranjo adequado dos vários elementos estruturais do edifício, de modo a assegurar que o mesmo possa atender às finalidades para as quais foi projetado”. É nessa etapa que se diferenciam os projetistas: experiência, entendimento, bom senso e intuição são partes preponderantes para a concepção de uma estrutura. A ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – s.d.) sugere que a concepção estrutural, em termos de projeto, deve considerar cinco itens básicos:

- Limitações impostas pelo projeto arquitetônico;
- Adequação do sistema estrutural escolhido para cada pavimento;
- Análise da interface entre a estrutura e projetos de hidráulica, elétrica e ar condicionado;
- Adequação da interface da vedação interna e externa com a estrutura;
- Construtibilidade (facilidade de execução);

Em termos de construtibilidade a ABECE (s.d) lista possibilidades de métodos executivos especiais que devem ser levados em consideração na concepção, seja para a facilidade de execução ou condições adversas, são algumas dessas definições:

- Cimbramentos e descimbramentos fora dos padrões usuais;
- Peças que necessitam ficar escoradas por um período maior que o restante da estrutura;
- Estruturas atirantadas, que precisam ser descimbradas de cima para baixo;
- Peças que serão concretadas por etapas e que entrarão em carga antes de ter sua seção final concluída;
- Etc.

Seguindo cada uma dessas etapas a ABECE (s.d.) tenta objetivar “uma concepção estrutural clara, oferecendo o perfeito entendimento de como a estrutura funciona, para que possa validar os resultados obtidos, qualquer que seja o processo de cálculo utilizado”. A concepção estrutural é proposta como um esquema por Albuquerque (1999), produto fruto de análise multidisciplinar:

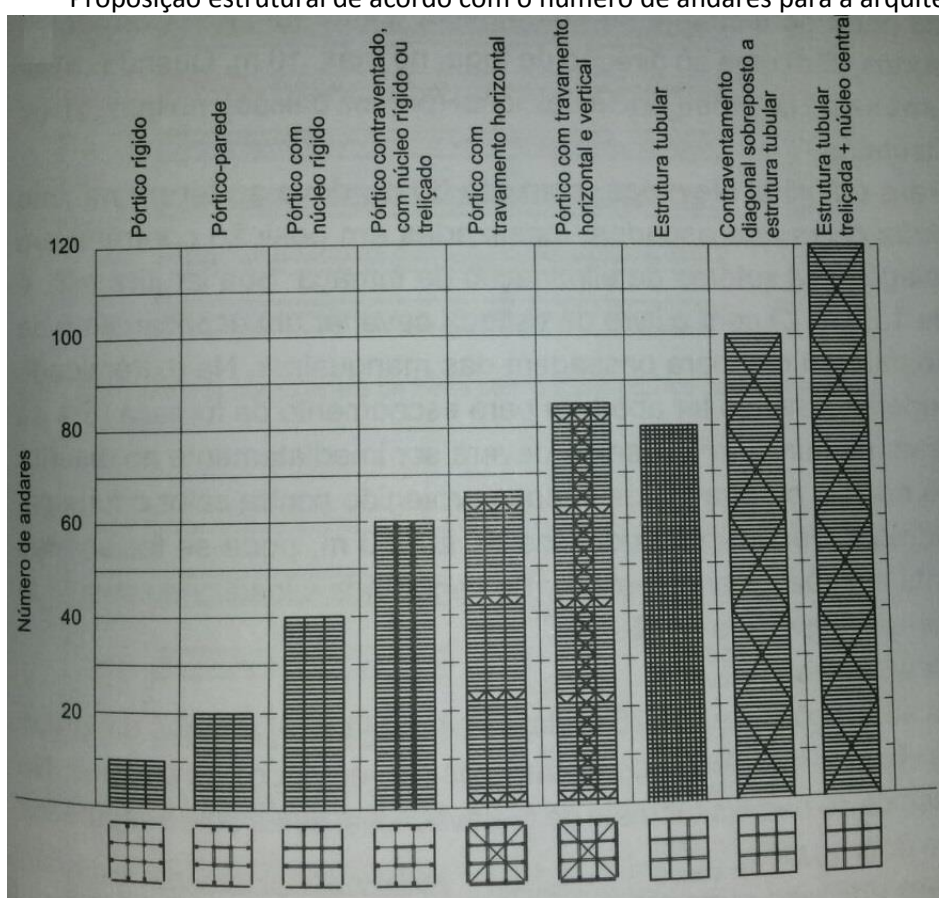
O arquiteto apresentará restrições para manter a funcionalidade e a estética do seu projeto, o engenheiro de instalações posicionará as tubulações, o construtor indicará os recursos técnicos disponíveis para a construção e o incorporador estabelecerá a viabilidade financeira do investimento. Esses diversos fatores irão balizar o engenheiro de estruturas, na elaboração do projeto estrutural definitivo. Essa fase, de suma importância, surgiu recentemente com a introdução dos conceitos de qualidade total e se chama compatibilização de projetos.

O sistema estrutural, muitas vezes definido pelo arquiteto, deve levar em conta cada um dos tipos possíveis e as indicações de maior viabilidade para cada situação. Proposições a respeito do tema são definidas por Engel (2006) por categorias diversas, em trabalho baseado nos estudos de Hannskarl Bandel, engenheiro estrutural e cientista de renome, de forma que as estruturas sejam categorizadas por classificações inerentes a própria obra e então a arquitetura seja definida levando-se em conta a maior economia. Na maioria das vezes o sistema estrutural não é considerado em projeto, de forma que a

mesma deva se adaptar a esse e não ser um conjunto pensado como um todo, como se preza que seja.

Manuais de arquitetura, a exemplo do Neufert e Kister (2015), definem modelos básicos a partir do número de andares de forma que o arquiteto tenha base técnica durante o projeto sobre a forma mais econômica da construção estrutural para cada modalidade de edifício. Os autores estabelecem que “a economia do edifício advém do uso de determinados materiais, tipo construtivo adequado e introdução de técnicas racionalizadas de construção”. A seguir o esquema estrutural proposto pelos autores para as modalidades de números de andares:

Figura 1 - Proposição estrutural de acordo com o número de andares para a arquitetura.



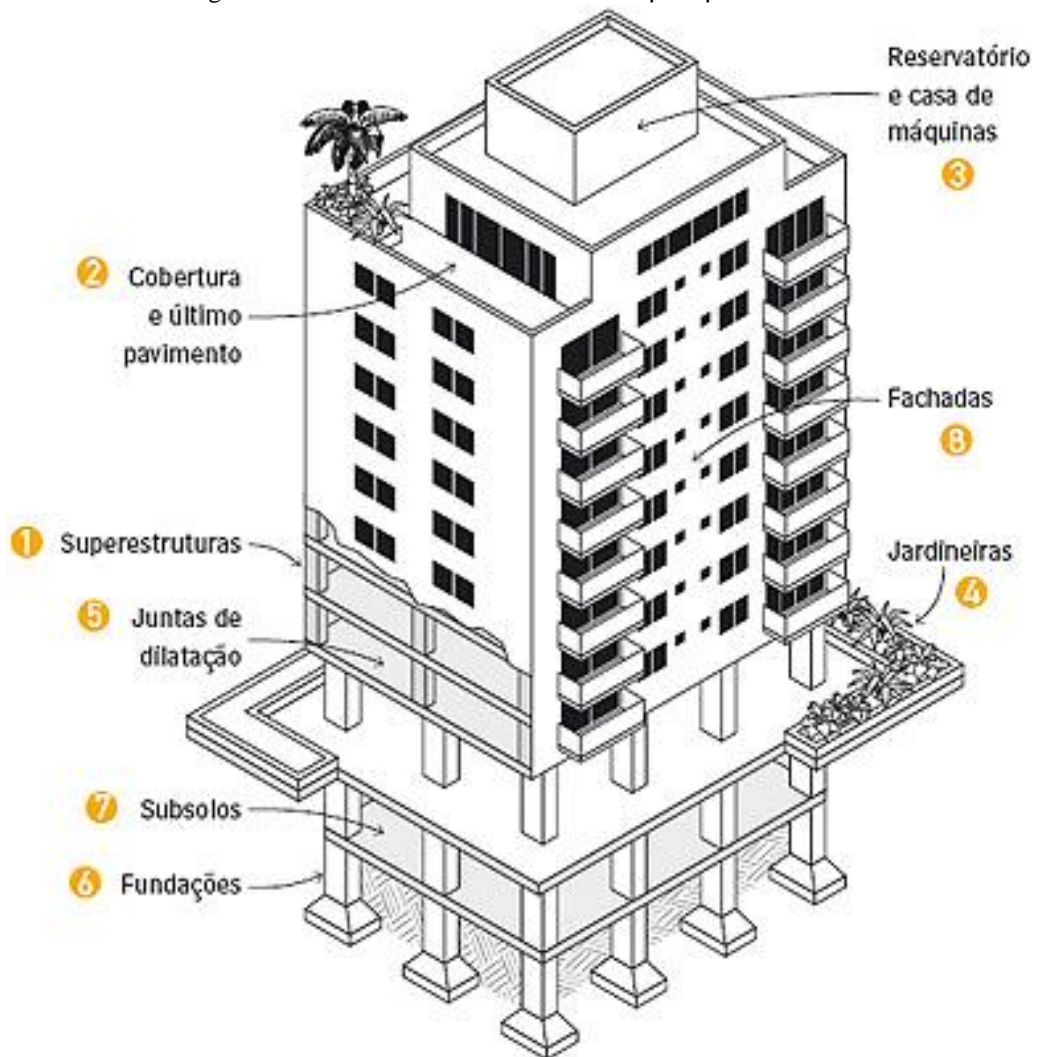
Fonte: Neufert e Kister (p. 258, 2015).

Edifícios comerciais e residenciais geralmente são constituídos por elementos comuns a esses projetos, e a escolha da forma da estrutura e locação dependem da arquitetura. Alva (2007) lista os pavimentos comuns em edifícios residenciais:

- Subsolo: destinado à área de garagem;
- Pavimento Térreo: destinado a recepção, sala de estar, de jogos, de festas, piscinas e área de recreação;

- Pavimento-Tipo: destinado aos apartamentos, com vários cômodos previstos no projeto;
- Ático: pavimento menor e mais recuado que os demais, no topo dos edifícios, destinado a abrigar máquinas, reservatórios, depósitos, etc.;

Figura 2 - Edifício residencial de múltiplos pavimentos.



Fonte: Alva (2007).

2.1.1 Diretrizes da Concepção Estrutural de Edificações

Diversos são os aspectos que devem ser levados em consideração durante a concepção estrutural, todos importantes e cada um relacionado a fatores específicos, seja a estética, a funcionalidade ou a segurança da edificação. Alva (2007) lista vários aspectos, sintetizados a seguir:

- Estética: busca-se atender às condições estéticas definidas no projeto arquitetônico, geralmente embutindo a estrutura nas alvenarias na medida do possível;
- Economia: o lançamento estrutural deve minimizar os custos da estrutura, observando-se:
 - Uniformização da estrutura com formas mais simples e reaproveitamento das fôrmas de madeira (quando for o caso);
 - Compatibilidade entre vãos, materiais e métodos utilizados;
 - Caminhamento uniforme para as cargas até a fundação, evitando-se apoios indiretos a exemplo de vigas de transição;
- Funcionalidade: verificação do posicionamento da estrutura em relação a arquitetura, de forma que se obtenha o máximo aproveitamento espacial a exemplo, os pilares na área de garagem;
- Resistência às ações horizontais: ao se lançar a estrutura deve-se estabelecer um sistema estrutural resistente às ações horizontais atuantes tais como vento, desaprumo e efeitos sísmicos dentre outros;

Pinheiro (2003) verificam que toda estrutura deve ser lançada obrigatoriamente obedecendo aos padrões de segurança e estéticos, de forma que apenas os padrões técnicos e econômicos devam ser considerados fundamentalmente desde o início. Os autores citam: “capacidade do meio técnico para desenvolver o projeto e para executar a obra, a disponibilidade de materiais, mão-de-obra e equipamentos necessários para a execução”. Verifica-se ainda que, no caso de edifícios comerciais e residenciais a escolha do tipo de estrutura é condicionada por fatores econômicos, essencialmente, já que as atuais técnicas necessárias são de conhecimento da Engenharia de Estruturas e de Construção.

A ABECE (1998 *apud* Albuquerque, 1999) estabelece a padronização de materiais como um pré-requisito importante e altamente relevante na otimização:

Ela é condição básica para o alcance de menores custos, alta produtividade e melhor qualidade. Além disso, é através dela que atingiremos alto grau de industrialização nas obras, transformando-as, como ocorre em outros setores da economia, em uma linha de montagem, obtendo-se a partir daí ganho de escala, melhor produtividade da mão-de-obra e mais competitividade.

Essas são recomendações gerais, de poucos autores, existindo muitas observações específicas a respeito dos materiais e tecnologias utilizadas na estrutura. Pesquisadores da área de estruturas estabelecem dimensões ótimas e formas mais econômicas a depender da geometria e material utilizado, bem como o impacto das formas tecnológicas de construção nos custos e cronogramas das edificações. A exemplo, cita-se considerações dimensionais e tecnológicas que levam a economia significativa a depender de cada material e/ou tecnologia adotada:

- Concreto armado com concepção estrutural convencional (sistema com laje, viga e pilar): segundo Alva (2007) fatores como o posicionamento dos pilares nos cantos e encontros de vigas, com distâncias entre 2,5 e 6,0 metros, formação de pórticos entre pilares e vigas, e locação de vigas onde existam paredes representa economia na construção da estrutura como um todo, com maximização da eficiência desses elementos. Adotar vãos entre 2 e 5 metros nas menores dimensões de lajes e 3 a 6 metros nas maiores dimensões resultam em maiores eficiências das lajes e economia com a menor quantidade de vigas.
- Concreto armado pré-fabricado: Van Acker (2002) estabelece dimensões ótimas para elementos pré-fabricados de concreto em estruturas aporticadas, com vigas de 1,0 a 9,6 metros, vão de lajes de 7,0 a 14,0 metros e pilares com alturas de 6,0 a 12,0 metros, com dimensões padronizadas para todos esses elementos.
- Concreto protendido: segundo Carvalho (2012) o concreto protendido é versátil em termos de classificação, podendo ser usado para aumentar a esbeltez de peças de concreto, para diminuir a seção necessária de aço devido a sua elevada resistência em grandes vãos ou em termos tecnológicos como reduzir problemas de flambagem em pilares e afins.
- Estruturas mistas de concreto e aço: são definidas por Queiroz *et al* (2012, vol. 1) como o sistema misto:
 - àquele 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.

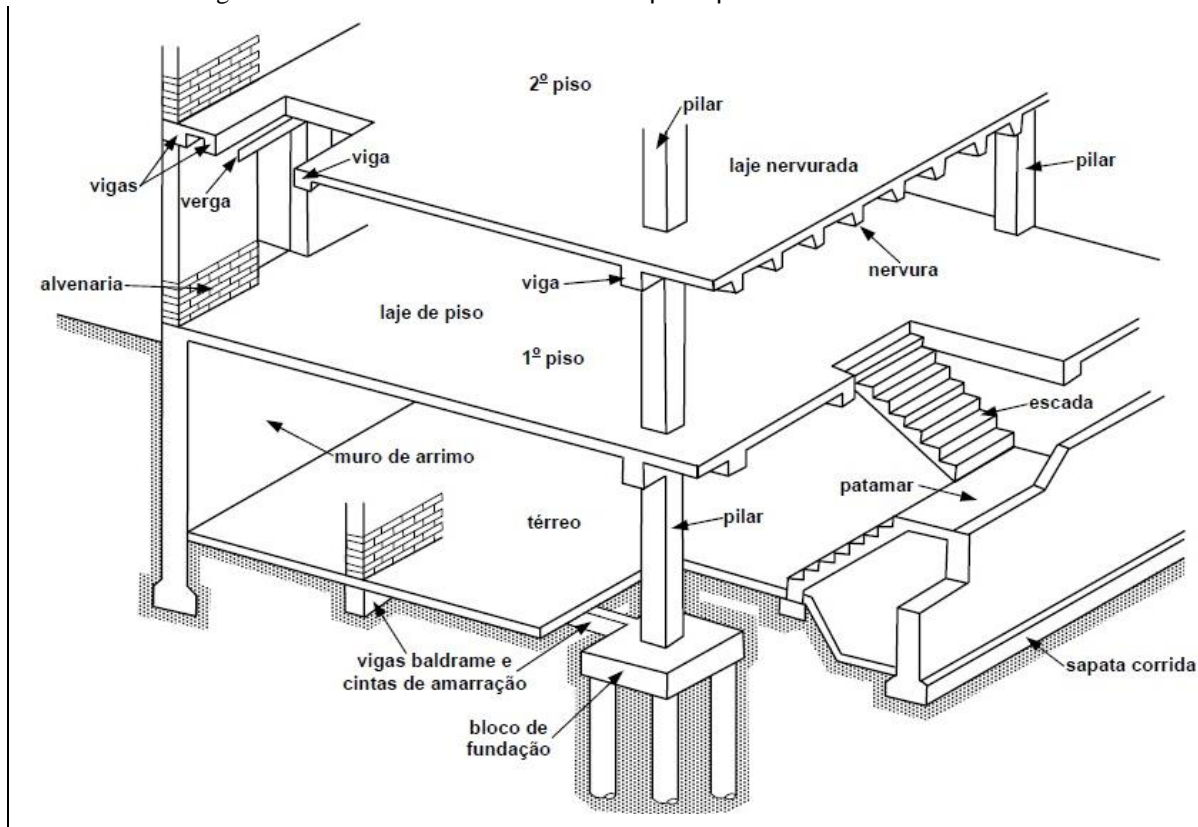
Sendo um sistema voltado para soluções construtivas com grande precisão, geralmente empregada em edifícios e pontes. Nesses sistemas é necessário que se verifique as disposições quanto a situação de incêndio, com vistas contempladas na norma NBR 14323:1999 – “Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio”.

Ao se verificar cada um dos sistemas e propor-se a concepção estrutural, é necessário levar em conta não somente os custos materiais, mais ainda os demais fatores envolvidos. No levantamento de custos a mão-de-obra é fator básico, o cronograma de execução (relacionado ao retorno financeiro) e o custo com fôrmas, que segundo Antunes (2004) pode chegar a representar 24% do custo da estrutura contando os trabalhos envolvidos e 26% do prazo total de execução da obra. A depender dos diversos fatores envolvidos muitas podem ser as alternativas para o barateamento da estrutura ainda na fase da concepção estrutural, no que se tange a engenharia de custos, atualmente área obrigatória a todos os profissionais atuantes em projetos.

2.2 Elementos Estruturais Usuais

Em estruturas usuais, sejam de concreto armado, madeira, aço ou mistas existem elementos que são comuns e de fundamental importância: a fundação (de forma altamente variável), os pilares, as vigas e as lajes. Elementos diversos podem ocorrer, desde as mais variadas formas de fundação (rasas ou profundas) a elementos especiais (geralmente de concreto armado) como muros de arrimo, vigas-parede, consolos e tirantes. Para o exemplo básico de vários dos elementos estruturais usuais, Alva (2007) se utiliza do esquema a seguir:

Figura 3 - Partes de um edifício: principais elementos estruturais.

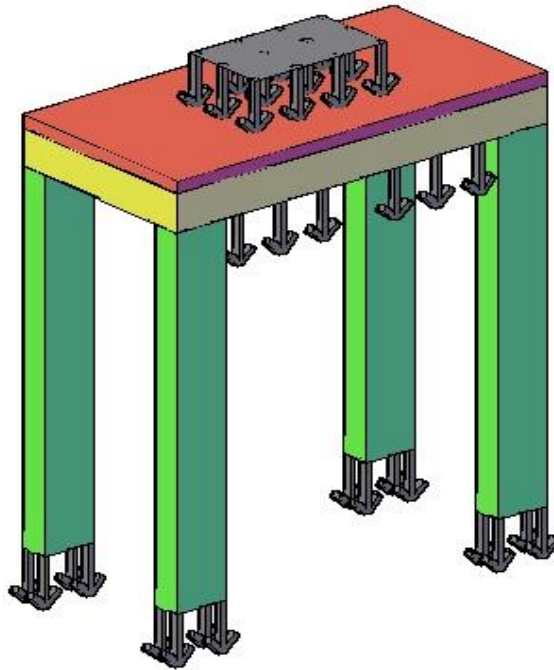


Fonte: Alva (2007).

No caso desse escrito, como se verá em seções posteriores, o edifício base utiliza apenas uma modalidade de fundação, prevista como tubulão a céu aberto e que permanece inalterada em todas as variações da concepção estrutural, de forma que esse elemento é aqui apresentado assim como será utilizado. Os demais elementos (pilares, vigas e lajes) apresentam variações com relação às concepções e materiais, de forma que serão apresentadas em suas formas mais genéricas e com a tópicos quanto aos seus diversos tipos.

O fluxo das ações de carregamento é dado através de cada um dos elementos estruturais, até que todo ele, incluindo o peso próprio da estrutura, seja descarregado sobre o solo abaixo da fundação. A seguir o fluxo de caminhamento das ações em modelo simplificado de estrutura:

Figura 4 - Esquema de caminhamento das ações de uso e peso próprio.



Fonte: o autor (2017).

2.2.1 Lajes

Para a definição, Clímaco (2016) discorre sobre elementos de superfície com espessura relativamente pequena, com subclassificação de placa para elementos de superfície plana, “sujeitos principalmente a ações normais a seu plano”. As placas que são constituídas por concreto são usualmente denominadas de lajes. Araújo (2010) define as lajes como:

elementos estruturais que tem a função básica de receber as cargas de utilização da edificação, aplicadas nos pisos, e transmiti-las às vigas [...] também servem para distribuir as ações horizontais entre os elementos estruturais de contraventamento, além de funcionarem como mesas de compressão das vigas T.

A NBR 6118:2014 – “Projeto de estruturas de concreto – procedimento” traz diversas disposições e diretrizes mínimas a respeito das lajes, no que inclui espessura e áreas máximas e mínimas de aço. É normal, no entanto, que projetistas e construtoras adotem critérios internos, respeitando obviamente as disposições normativas nacionais.

Com base em tais definições de laje, a diferenciação de geometria e forma de combinação dos materiais é possível gerar-se diversos tipos de lajes, como demonstrado:

Figura 5 - Amostra de alguns tipos de lajes.



Fonte: o autor (2017).¹

Das lajes utilizadas nas modelagens que serão abordadas distingue-se cada uma em separado, de forma a discorrer-se sobre suas características, sendo elas: lajes maciças, lajes lisas nervuradas e lajes steel deck. Todas as lajes de concreto utilizadas apresentam tabulações sobre condições de projeto para a situação de incêndio dadas pela NBR 15200:2004 – “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – procedimento”, em seu item 7.2. A laje steel deck tem desempenho em situação de incêndio dada pela NBR 14323:2003 – “Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio”, no anexo C da respectiva norma.

Lajes Maciças

Pela definição de Araújo (2010):

Lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou por alvenarias, sendo este tipo de laje predominante nos edifícios residenciais onde os vãos são relativamente pequenos.

Na figura 6 um exemplo de laje maciça, ainda durante a fase de execução:

¹ Imagem elaborada pelo autor com a utilização de figuras de domínio publico de fontes diversas.

Figura 6 - Exemplo de laje maciça convencional ainda com escoramento.



Fonte: Página Comunidade Construção.²

Laje Nervurada

Araújo (2010) intitula a laje nervurada como uma modalidade útil para vencer grandes vãos, geralmente superiores a 8 metros, sendo constituída por “nervuras, onde são colocadas as armaduras longitudinais de tração”, conseguindo-se então a redução do peso próprio, que elimina o concreto das zonas de tração em comparação às lajes maciças. A NBR 6118:2014, no item 14.7.7, define as lajes nervradas como “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”. A seguir figura que demonstra uma laje nervurada:

Figura 7 - Vista de uma laje nervurada.



Fonte: Site 365 Arquitetura.³

² Disponível em: www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/1/projeto-arquitetonico/projeto/7/projeto-arquitetonico.html. Acesso em 22/junho/2017.

³ Disponível em: 365arq.tumblr.com/page/11. Acesso em 22/junho/2017.

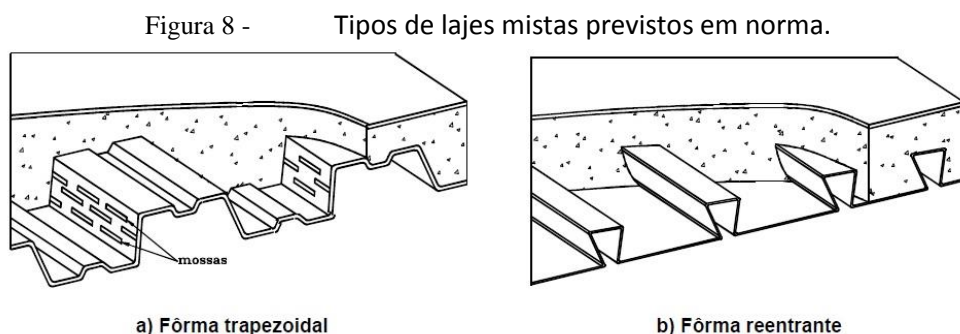
No uso de lajes nervuradas, a depender das condições de projeto, é possível o uso de vigas faixa com a espessura total da laje ou então o uso de lajes lisas nervuradas, com capitéis embutidos (assim como a figura 7). Spohr (2008) trata ainda do uso de vigas de borda e uso de lajes lisas nervuradas: “a utilização de viga de borda conecta aos pilares nos contornos dos pavimentos também traz outras vantagens, como a formação de pórticos para resistir às ações laterais”.

Laje Steel Deck

Definida por Queiroz *et al* (2012, vol. 1) como “constituídas por uma fôrma de aço e pelo concreto moldado no local [...] também chamadas de lajes com fôrmas de aço incorporada ao sistema de sustentação das cargas”. Antes da cura do concreto as fôrmas de aço já funcionam como suporte das ações permanentes e após, como armadura de tração da laje. A NBR 8800:2008 – “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios”, em seu anexo Q, item Q.1.2.2, verifica que “a aderência natural entre o aço e o concreto não é considerada efetiva para o comportamento misto” e então estabelece duas formas de aderência:

- Ligação mecânica: utilização de mossas (ressaltos e reentrâncias) nas fôrmas de aço trapezoidais;
- Ligação por meio de atrito: execução de confinamento do concreto nas fôrmas por meio de reentrâncias.

A seguir esquema de lajes mistas previstas em norma com demonstração do sistema de aderência:

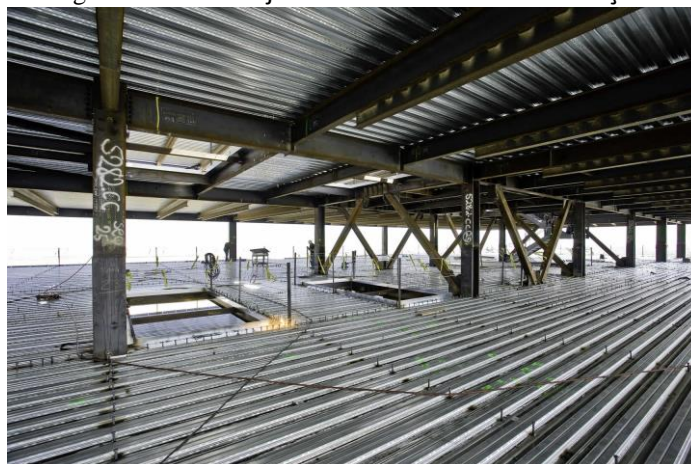


Fonte: NBR 8800 (2008, pg. 211).

As lajes mistas são de uso bastante simplificado, podendo ser previstas apenas lajes biapoiadas ou contínuas e, nesse último caso, como comentado por Queiroz *et al* (2012,

vol. 1) o dimensionamento da armadura negativa é realizado conforme os procedimentos usuais de concreto armado. Carini (2014) cita grandes vantagens em relação a esse tipo de laje, desde a diminuição até a eliminação do escoramento, o aumento de proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores, a alta qualidade de acabamento da face interna da laje e a grande facilidade de instalação e rapidez construtiva. A seguir pode ser visto uma laje executada com tal tecnologia:

Figura 9 - Laje mista steel deck em execução.



Fonte: Página Pacific Erectors.⁴

2.2.2 Vigas

As vigas, segundo a NBR 6118:2014 são elementos lineares (“aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal”) em que a flexão é preponderante. Os esforços mais significativos presentes em vigas são o momento fletor e a força cortantes, sendo identificados ainda esforços de torção no caso de vigas de escadas e de borda, a depender das condições de concepção de projeto.

As vigas, em conjunto com os pilares e lajes compõem a estrutura de contraventamento, subestruturas essas que, segundo a NBR 6118:2014, “devido a sua grande rigidez a ações horizontais, resistem à maior parte dos esforços decorrentes dessas ações”. As vigas, em conjunto com as lajes e pilares, formam pórticos tridimensionais de grande rigidez.

Em termos materiais as vigas podem ser de madeira, concreto armado, aço ou mistas de aço e concreto. Em termos de análise das proposições de concepção serão

⁴ Disponível em: www.pacificerectors.com/metal-decking/. Acesso em 22/junho/2017.

utilizadas vigas de concreto armado e mistas de aço-concreto, cada uma com suas particularidades, que envolvem não somente os métodos de cálculo mais ainda as formas de execução, para que se atinjam os valores financeiros e tecnológicos ótimos de execução.

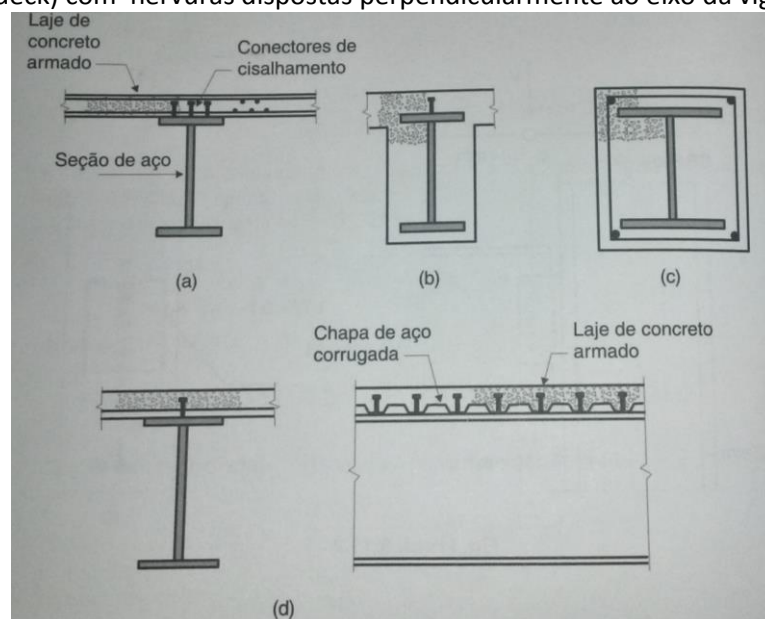
Vigas de Concreto Armado

As vigas de concreto armado devem ser definidas como elementos no qual o concreto resiste aos esforços de compressão e o aço à tração, sendo ignorada a resistência do concreto a tração. Esse compósito tem por objetivo o uso preponderante de mão-de-obra e a redução dos custos materiais, principalmente devido ao fato do custo do concreto estar muito abaixo do custo do aço. Vigas de concreto armado apresentam dimensões de seção maiores que as de aço e peso próprio elevado, com grande rigidez, baixa condução de calor (se comparada ao aço). Em relação a resistência a situação de incêndio, é necessário que se verifiquem as condições presentes na NBR 15200:2004.

Vigas Mistas de Aço-Concreto

Pfeil e Pfeil (2008) define as vigas mistas aço-concreto como “a viga formada pela associação de um perfil metálico com uma laje de concreto, sendo os dois elementos ligados por conectores mecânicos”, com modelos ilustrados pelos autores:

Figura 10 - Estruturas mistas-aço concreto: (a) viga mista típica e seus elementos; (b) viga com perfil de aço embebido no concreto; (c) pilar misto; (d) viga mista com fôrma metálica (steel deck) com nervuras dispostas perpendicularmente ao eixo da viga.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2008).

As vigas mistas podem ser executadas com ou sem escoras, em situações de biapoio ou contínuas, de forma que a velocidade de construção pode ser imensamente agilizada e, segundo Pfeil e Pfeil (2008), uma solução bastante econômica em situações de grande carregamento em obras de arte ou especiais e ainda, em edificações quando conjugada com sistemas de lajes mistas. Como fator desvantajoso desse elemento em detrimento às vigas de concreto armado, é necessário que se verifique, com análise mais complexa, as condições da estrutura em situação de incêndio conforme anexo A da NBR 14323:2003.

2.2.3 Pilares

Segundo a NBR 6118:2014 os pilares são “elementos lineares de eixos retos, usualmente dispostos na vertical, em que forças normais de compressão são preponderantes”. Os pilares-paredes, de acordo com a mesma norma, são:

Elementos de superfície plana ou casca cilíndrica, usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão. Podem ser compostos por uma ou mais superfícies associadas. Para que se tenha um pilar-parede, em alguma dessas superfícies a menor dimensão deve ser menor que 1/5 da maior, ambas consideradas na seção transversal do elemento estrutural.

Para efeitos de praticidade deve-se evitar mudanças de seção desses elementos nos pavimentos tipo e seções de difícil execução de fôrmas e armaduras, como as seções L, U e T. O posicionamento dos pilares na edificação, a função estrutural e seu material influenciam fortemente os resultados de cálculo, sendo geral a classificação quanto ao posicionamento, como demonstrado nas definições de Carvalho e Pinheiro (2009):

- Pilares centrais: estão localizados no interior do edifício, submetidos, em princípio, a cargas verticais concentradas;
- Pilares laterais ou de extremidade: estão nas bordas dos edifícios, solicitados por cargas concentradas verticais e momentos fletores em apenas uma direção (flexão composta);
- Pilares de canto: estão localizados nos cantos dos edifícios, solicitados por cargas verticais concentradas e momentos fletores em duas direções (flexão oblíqua).

Em relação a função estrutural os pilares podem ser contraventados ou de contraventamento. Os pilares de contraventamento são elementos rígidos praticamente indeslocáveis, geralmente associados a estruturas de elevadores e escadas em pilares rígidos ou paredes estruturais. Os pilares contraventados são pouco rígidos, porém possuem os nós das extremidades de cada trecho praticamente indeslocáveis devido aos pilares de contraventamento.

Em relação aos materiais empregados nos pilares os mesmos podem ser executados em madeira, concreto armado, aço ou mistos de aço e concreto. Como parte das concepções utilizadas discorre-se sobre os pilares de concreto armado, aço e mistos aço-concreto, esse último apenas para efeito de comparação em situação de incêndio.

Pilares de Concreto Armado

São os pilares mais usuais nas estruturas correntes, sendo bastante confiáveis devido ao costume da mão-de-obra executora em sua utilização. São elementos de grandes dimensões, com elevado peso próprio, em um compósito onde o concreto resiste a compressão e o aço é utilizado no combate aos efeitos de flambagem.

Pilares de Aço

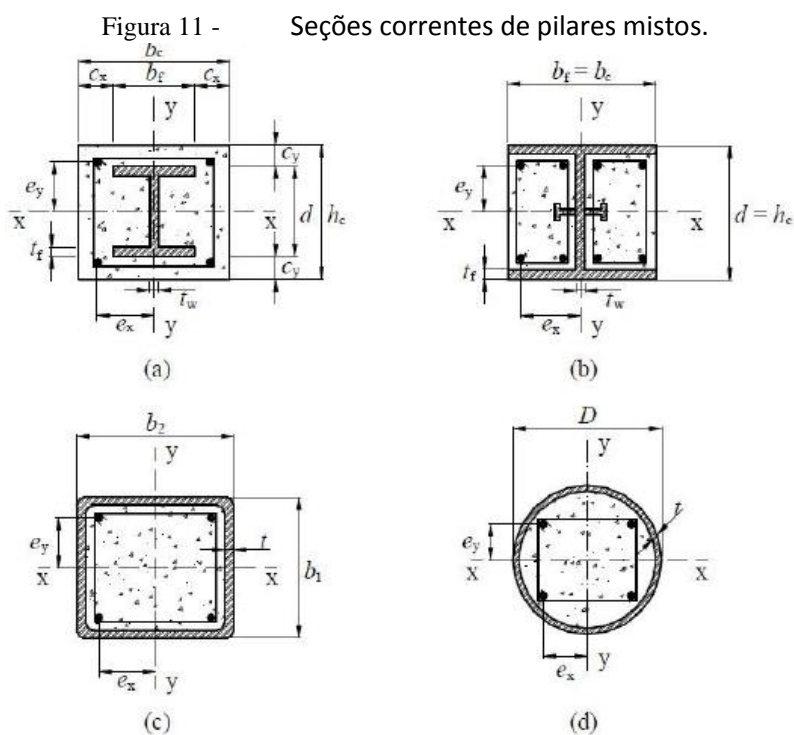
Os pilares de aço são bastante comuns, seja na utilização de perfis metálicos ou composição de treliças que trabalhem a compressão. Apresentam menor seção transversal, elevada resistência e baixo peso próprio, tendo custos mais elevados que aqueles executados em concreto armado, desde que comparados apenas os elementos isolados.

Pfeil e Pfeil (2008) verificam que peças comprimidas de aço devem ser verificadas quanto a flambagem global por flexão (assim como peças de concreto armado) e flambagem local, de forma que “as placas componentes comprimidas apresentam deslocamentos laterais na forma de ondulações”. A resistência ao incêndio deve ser verificada preferencialmente de forma experimental em laboratório nacional ou em instituição devidamente regulamentada em país estrangeiro, o que encarece as condições de projeto.

Pilares Mistos de Aço-Concreto

Os pilares mistos de concreto-aço são formados, de acordo por Carini (2014) “por um ou mais perfis metálicos revestidos ou preenchidos por concreto”. Queiroz *et al* (2012, vol. 1) discorrem sobre a grande resistência ao fogo desse sistema, que ganha tabulação simples dada pela NBR 14323:1999 – anexo B. Em contrapartida, esse elemento, quando totalmente revestido, é de difícil execução e requer o uso de fôrmas para a concretagem, tornando-o o mais trabalhoso dentre as três modalidades citadas.

Pelas desvantagens citadas essa modalidade de pilar acaba por não ser utilizada nas concepções estruturais, sendo citada apenas pelo fato da grande resistência a incêndios, fator oposto ao encontrado nos pilares de aço.



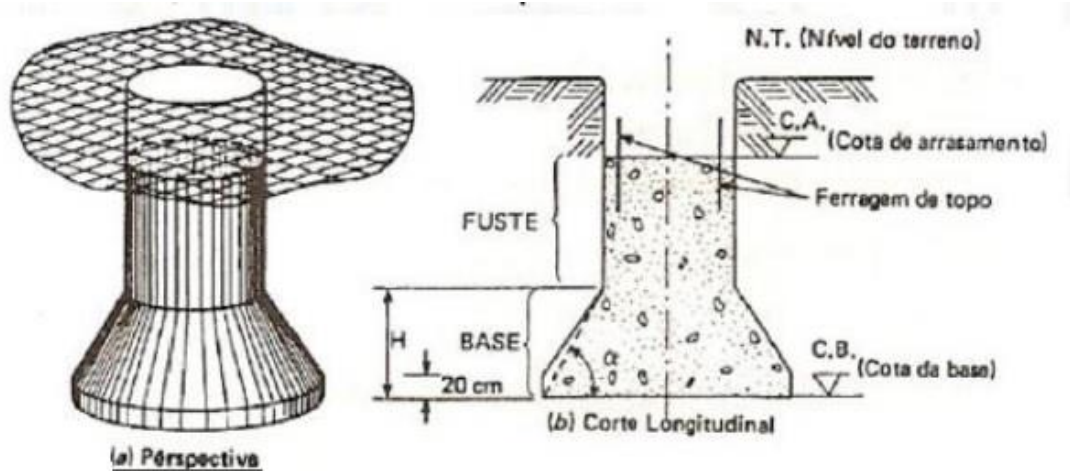
Fonte: NBR 8800 (2008, pg. 197).

2.2.4 Tubulões a Céu Aberto

Rebello (2008) define o tubulão como uma fundação profunda “composta de um cilindro vertical de concreto, podendo ou não apresentar alargamento da base”. No caso de execução de alargamento da base o mesmo pode ser executado com a geometria circular ou de falsa elipse, a depender na necessidade espacial do projeto (a exemplo em divisas de terrenos). Sobre o tubulão o cilindro vertical chama-se fuste e possui diâmetro mínimo de 70 cm. E a base deve estar assentada em terreno firme e quando alargada,

deve limitar sua altura a 2 m. Alonso (2010) chama ainda a atenção para o fato de que tubulões a céu aberto, quando possuem apenas carregamento vertical, não costumam ser armados, colocando-se apenas uma ferragem no topo para a ligação com o bloco de coroamento ou de capeamento. A seguir o esquema de tubulão:

Figura 12 - Esquema de tubulão a céu aberto.



Fonte: Alonso (2010, pg. 41).

2.3 Custos da Estrutura e Fundação

A verificação dos valores necessários para a execução das estruturas geralmente é o fator decisivo na escolha do sistema estrutural, uma vez que todas as alternativas levam em conta a segurança, o menor preço ditará o sistema utilizado.

A execução de estruturas, além do custo da mão-de-obra, levará ainda em conta os quantitativos e custos das fôrmas, do concreto e do aço utilizados na superestrutura e essa impactará a subestrutura da edificação. O orçamento somente pode ser executado depois de realizados os cálculos estruturais das diversas combinações, o que não impossibilita, no entanto, conhecimento prévio dos valores dessas fases da obra, que podem ser estimados com o uso da área total de projeto (previsto na arquitetura), o padrão de projeto e os percentuais máximas e mínimas de custos referentes aos materiais. Não se encontra na literatura corrente variações percentuais que se refiram aos gastos em mão-de-obra, já que os custos oscilam e demasia, devendo esse item ser orçado em cada caso.

2.3.1 Padrões de Custo

Como um indicador do custo médio total de uma edificação é possível a obtenção do preço total com o uso do CUB – custo unitário básico por metro quadrado na construção civil. O CUB tem sua origem, segundo o site da organização divulgadora (mantidos pela CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção), através da Lei Federal 4.591 de 16 de dezembro de 1964.

Segundo o artigo 54 dessa lei:

Os sindicatos estaduais da indústria da construção civil ficam obrigados a divulgar mensalmente, até o dia 5 de cada mês, os custos unitários de construção a serem adotados nas respectivas regiões jurisdicionais, calculados com observância dos critérios e normas a que se refere o inciso I, do artigo anterior.

Atualmente a divulgação é realizada através de meio eletrônico, definida por meio de projeto-padrão dado pela NBR 12721:2006 – “Avaliação de custos unitários de construção para a incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – procedimento”. A descrição sintetizada de cada padrão pode ser encontrada no site oficial do CUB, bem como a obtenção dos valores, atualizados mês a mês, do custo por metro quadrado para cada estado.

Em relação ao projeto utilizado para a análise das concepções estruturais, pode-se assumir alto padrão, com classificação do tipo R – 16, edifícios residencial com múltiplos pavimentos e, no caso da construção ser analisada para janeiro de 2017, por exemplo, o custo do metro quadrado se situaria na cifra de R\$ 1.657,93 reais.

2.3.2 Estimativa de Custo das Fases da Obra

De posse da estimativa de preço médio obtido através do CUB e da área de construção que será empreendida, será então possível conhecer-se um intervalo de valores para gastos materiais em cada fase da obra. Gerolla (2016) em pesquisa ampla com profissionais da área e representantes do IBEC (Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos) encontrou faixas percentuais que representam os custos mínimos e máximos com materiais para cada uma das fases da construção.

Através dessas faixas percentuais é possível estimar-se, obviamente com certo grau de imprecisão, qual será o valor mínimo e máximo dos materiais que serão necessários

para as fundações e estruturas por exemplo. Esses valores possuem objetividade administrativa importante e fazem parte da tomada de decisão assim como podem auxiliar o engenheiro estruturalista em sua análise econômica pós-projetos. Ao final é o engenheiro estruturalista que indicará a estrutura mais viável com base nos dados que lhe foram fornecidos e em sua análise que não deve ignorar os fatores financeiros, e esse entendimento será a ponte entre a administração de investimento e viabilidade e as indicações técnicas.

Gerolla encontra faixas de valores sintetizados na tabela a seguir:

Tabela 1 - Percentual de gastos em cada etapa da obra

Etapas	Varição
1. Projetos e aprovações	5 a 12%
2. Serviços preliminares	2 a 4%
3. Fundações	3 a 7%
4. Estrutura	14 a 22%
5. Alvenaria	2 a 5%
6. Cobertura	3 a 5%
7. Instalação hidráulica	7 a 11%
8. Instalação elétrica	5 a 7%
9. Impermeabilização/isolamento térmico	2 a 4%
10. Esquadrias	4 a 10%
11. Revestimentos/acabamentos	15 a 32%
12. Vidros	1 a 2,5%
13. Pintura	4 a 6%
14. Serviços complementares	0,5 a 1%

Fonte: Gerolla (2016, modificado).

2.4 Dimensionamento em Situação de Incêndio

Antes da definição de qualquer adoção de forma da concepção estrutural se faz necessária a verificação das disposições sobre a resistência do elemento estrutural em situação de incêndio. Dimensões de seções mínimas para elementos de concreto armado e os devidos cobrimentos do aço utilizado, identificação dos elementos que estarão livres da ação do incêndio, os tempos requeridos de resistência ao incêndio, tabulações para os elementos de concreto armado e estruturas mistas de aço e concreto e a necessidade de ensaios, no caso de estruturas de aço.

O tempo mínimo de resistência ao incêndio é dado de acordo com o tipo de ocupação da edificação e necessário, segundo a NBR 14432:2000 – “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento”, para possibilitar:

- Fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
- Segurança das operações de combate ao incêndio;
- Minimização de danos a edificações adjacentes e a infraestrutura pública.

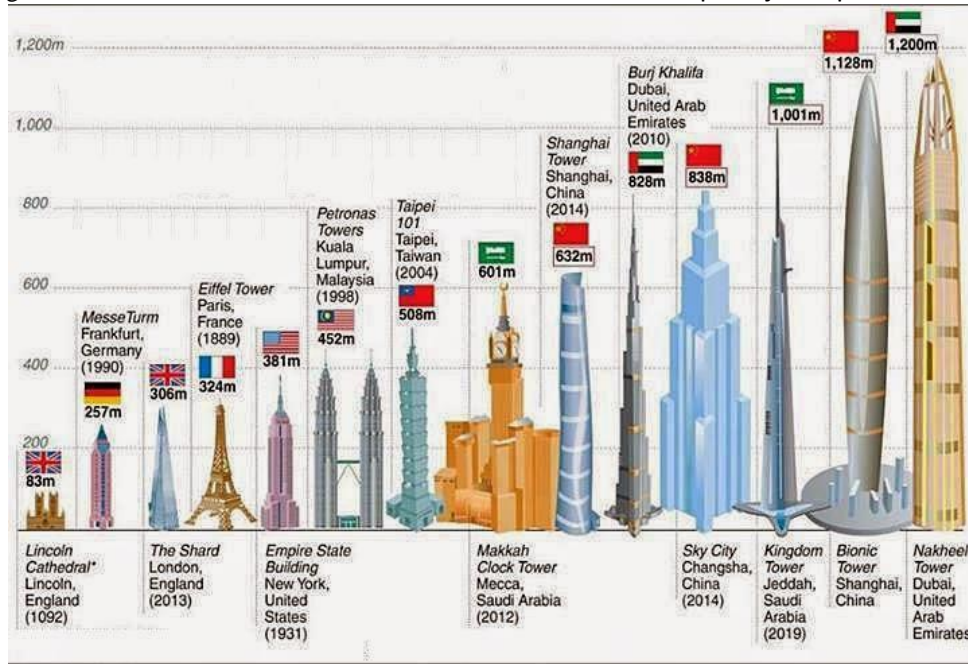
Informações quanto ao dimensionamento em situação de incêndio se encontram nas NBR 15200:2004 – “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – procedimento” e NBR 14323:2003 – “Dimensionamento de estruturas de aço e mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio”. Vistas relativas a situação de incêndio podem ter profundas influências quanto a concepção estrutural desde a fase de projeto arquitetônico.

2.5 Estabilidade Global da Estrutura

Assim como o cálculo e detalhamento de cada um dos elementos da estrutura, é uma obrigação do engenheiro verificar a viabilidade da estrutura projetada, nos diversos padrões de segurança e com averiguação quando haja suspeita sobre sua condição de deslocabilidade. Segundo a NBR 6118:2014, as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que, sob as condições ambientais previstas e respeitadas, as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto conservem sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período prefixado de tempo, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo.

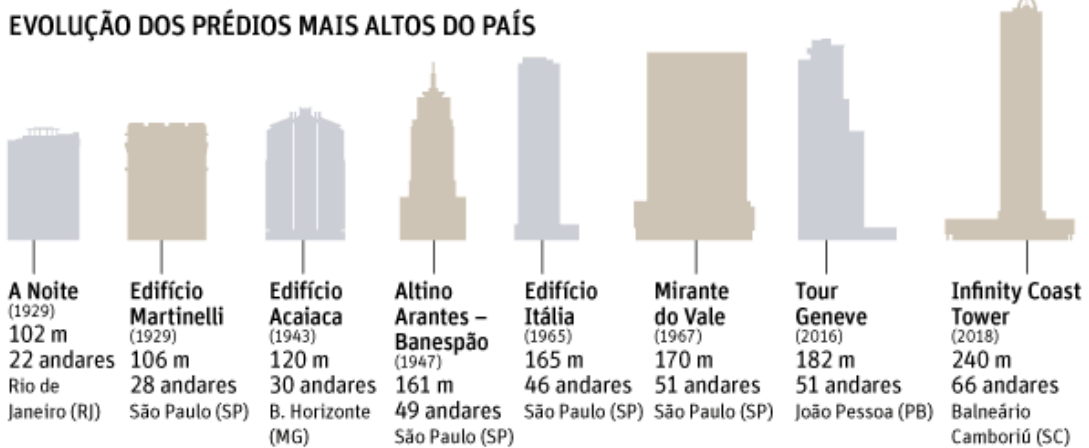
Andrade Neto (2010) discorre como, nos últimos dez anos, a crescente verticalização dos grandes centros fez com que o estudo da estabilidade global dos edifícios se tornasse tema principal de diversas dissertações e teses. A evolução da relação esbeltez versus altura das edificações demonstram a tendência construtiva adotada, de pequena ocupação do solo em detrimento a altos coeficientes de aproveitamento. Como exemplo de edifícios de grandes alturas, Gouveia (2016) realiza um comparativo dos principais edifícios já existentes e planejados para o futuro dentre aqueles que são considerados os mais altos do mundo e entre aqueles que são os mais altos do Brasil na atualidade:

Figura 13 - Edifícios mais altos do mundo atualmente e planejados para o futuro.



Fonte: Gouveia (2016).

Figura 14 - Edifícios mais altos do Brasil e planejados para o futuro.



Fonte: Curta Mais (site: <http://www.curtamais.com.br/goiania/goiania-ganha-primeiro-arranha-ceu-e-passa-a-ter-o-predio-mais-alto-do-brasil>).

2.5.1 Instabilidade Estrutural

Segundo a NBR 6118:2014, item 15.2:

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 sollicitação.

Ainda, segundo a mesma norma, existem três tipos de instabilidade:

- Nas estruturas sem imperfeições geométricas iniciais, pode haver (para casos especiais de carregamento) perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio (flambagem);
- Em situações particulares (estruturas abatidas), pode haver perda de estabilidade sem bifurcação do equilíbrio por passagem brusca de uma configuração para outra reversa da anterior (ponto limite de reversão);
- Em estruturas de material de comportamento não linear, com imperfeições geométricas iniciais, não há perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio, podendo, no entanto, haver perda de estabilidade quando, ao crescer a intensidade de carregamento, o aumento da capacidade resistente da estrutura passa a ser menor do que o aumento da solicitação (ponto-limite sem reversão).

As instabilidades podem ser desconsideradas no caso de os efeitos de segunda ordem não representarem acréscimos superiores a 10% nas reações e nas solicitações relevantes na estrutura. Em caso de incêndio devem ser executadas ponderações nos esforços resistentes assim como sugerem as normas NBR 15200 e NBR 14323, de forma que se verifiquem as instabilidades nessa situação, onde os materiais sofrem decréscimo de resistência.

2.5.2 Efeitos de 1º Ordem e Efeitos Locais e Globais de 2º Ordem

Carvalho e Pinheiro (2009) definem os efeitos de primeira ordem como “aqueles obtidos com o cálculo feito com a estrutura considerada indeformada”. Segundo a NBR 6118:2014, todas as equações de equilíbrio podem ser estabelecidas com base na geometria indeformada da estrutura, ou seja, com base na teoria de 1º ordem.

Carmo (1995) define por efeitos globais de segunda ordem aos “esforços de segunda ordem decorrentes do deslocamento lateral dos nós da estrutura submetidas às ações verticais e horizontais”. Segundo o mesmo autor, os efeitos locais de segunda ordem surgem apenas nos elementos estruturais, afetando apenas aos esforços solicitantes em seus respectivos comprimentos devido aos deslocamentos dos diversos pontos de seus eixos.

A NBR 6118:2014 destaca ainda a existência de efeitos localizados de 2º ordem, presentes em pilares-parede, que podem ser definidos como um trecho de não retilineidade maior que a do eixo do pilar como um todo. Segundo a norma, além de aumentar nessa região a flexão longitudinal, aumenta-se também a flexão transversal, havendo a necessidade de um aumento de armadura transversal na localização desse efeito.

2.5.3 Classificação das Estruturas

As estruturas convencionais são definidas por Carmo (1995) como de nós fixos ou de nós móveis, sendo as estruturas de contraventamento classificadas como subestruturas.

Estruturas de Nós Fixos

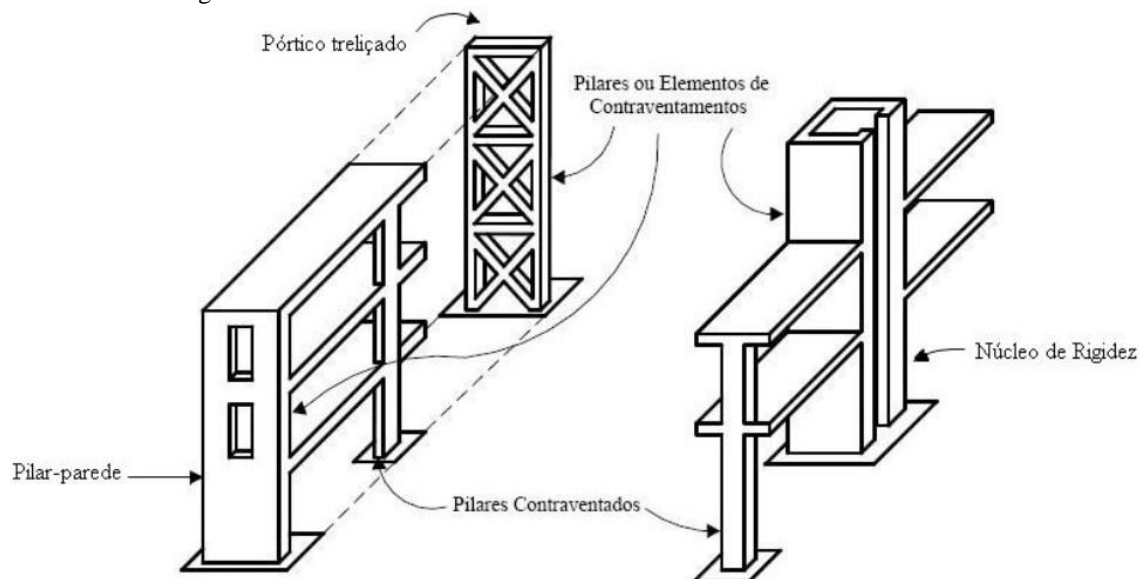
De acordo com a NBR 6118:2014 são as estruturas que para efeito de cálculo, os deslocamentos dos nós são pequenos, de forma que os efeitos de 2º ordem possam ser desprezíveis. De forma direta, todas as estruturas na qual os efeitos de segunda ordem são menores que 10% dos esforços de primeira ordem, bastando considerar os efeitos locais e localizados de 2º ordem.

Estruturas de Nós Móveis

São definidas como aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e devido aos efeitos de 2º ordem deva se considerar todos os esforços provenientes deste: globais, locais e localizados.

As estruturas de contraventamento, como subestruturas, são analisadas em separado como elementos de grande rigidez, recebendo ainda classificação quanto a mobilidade de seus nós. Carmo (1995) cita exemplos de estruturas de contraventamento como subestruturas: caixas de elevadores e escadas e os pilares parede. Fusco (1981) recomenda que não se considere que todas as estruturas participem do contraventamento, pois além de análise trabalhosa, os resultados reais da precisão poderiam ser duvidosos, sendo recomendado pelo autor o uso de sistemas de contraventamento e, a exemplo das estruturas citadas por Carmo em data posterior, Fusco na publicação de seu trabalho traz exemplo de estruturas contraventadas:

Figura 15 - Elementos de contraventamento e contraventados.



Fonte: Fusco (1981).

2.5.4 Análise Estrutural

De acordo com a NBR 6118:2014, no item 14.2.1:

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. A análise estrutural permite estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em uma parte ou em toda a estrutura.

A análise difere-se em relação aos tipos de nós da estrutura, com análise simplificada no caso de estruturas de nós fixos, onde o deslocamento horizontal é de pequena magnitude e as barras podem ser calculadas isoladamente. A NBR 6118:2014 observa ainda que a facilidade da análise de nós fixos dá-se pelo fato de que nessas estruturas, como os efeitos de 2º ordem são dispensáveis, não se considera os efeitos horizontais que exigiriam que toda a estrutura fosse considerada como deslocável. As estruturas de nós móveis também podem ser analisadas de forma simplificada, desde que se majorem os esforços horizontais, com limite estabelecido pelo coeficiente gama-Z (γ_z).

Para a análise de estruturas de nós móveis, Gouveia (2016) sintetiza a necessidade da consideração dos efeitos da não-linearidade física e da não-linearidade geométrica quando os parâmetros de instabilidade alfa (α) e coeficiente gama-Z (γ_z) são superiores aos limites estabelecidos em norma.

Além das considerações iniciais de cálculo dadas pelos tipos de nós da estrutura, ainda se faz necessária a consideração do comportamento dos materiais, divididos entre linear e não-linear, metodologia prevista pela NBR 6118:2014 assim como a análise plástica, onde o comportamento dos materiais é dito como rígido-plástico ou elastoplástico perfeito. Nesse trabalho utilizou-se apenas a análise linear.

A análise linear, segundo Kimura (2007 *apud* Gouveia 2016) é “aquele normalmente utilizado durante a graduação”, sendo previsto na norma NBR 6118:2014, item 14.5.2, com a seguinte ressalva:

Os resultados de uma análise linear são usualmente empregados para a verificação de estados-limites de serviço. Os esforços solicitantes decorrentes de uma análise linear podem servir de base para o dimensionamento dos elementos estruturais no estado-limite último, mesmo que esse dimensionamento admita a plastificação dos materiais, desde que se garanta ductilidade mínima às peças.

2.5.5 Avaliação da Estabilidade Global

Para a avaliação da estabilidade da estrutura, com a possibilidade de dispensarem-se os efeitos de 2º ordem, a NBR 6118:2014, no item 15.5, prevê dois parâmetros de instabilidade que, com o uso de processos aproximados, indicarão a classificação dos nós da estrutura, facultando-se então a necessidade de cálculo rigoroso.

No caso de se indicar estruturas de nós móveis a norma em questão indica majoração adicional dos esforços horizontais, desde que o gama-Z seja menor que o máximo indicado de 1,30. A redução da rigidez de vigas e pilares pode ser realizada a partir do método simplificado P- Δ , assim como indicado por Oliveira (2009), que segundo o autor é “utilizado em larga escala na avaliação dos esforços de segunda ordem em projetos de estruturas metálicas onde a esbeltez costuma ser mais evidente”. Nesse escrito, no entanto, utilizaram-se apenas o coeficiente gama-Z (γ_z) previstos pela NBR 6118:2014.

Em relação aos parâmetros de instabilidade citados é possível discorrer de forma simplificada:

Parâmetro de Instabilidade Alfa (α)

Oliveira (2009) discorre sobre tal parâmetro, adotado pela norma alemã DIN, e posteriormente pelo CEB (Comité Européen du Béton). Esse parâmetro é um auxílio ao projetista na avaliação da deslocabilidade de edifícios, inicialmente proposto por Beck e König em 1966, para estruturas de concreto, após análise de pórticos rotulados, contraventados por paredes rígidas. É indicado para estruturas reticuladas simétricas segundo o item 15.5.2 da NBR 6118:2014.

O método é sintetizado por Gouveia (2016) como um estudo em que a estrutura é considerada como um único pilar, engastado na base e livre no topo com seção admitida constante. O pilar equivalente adotado em cálculo teria a rigidez de toda a estrutura de contraventamento, sendo um parâmetro que indicaria ao projetista a necessidade de levar-se em conta os esforços adicionais de 2º ordem. Em termos de norma, e até mesmo do estudo promovido, os valores de α são limitados com base na arquitetura da edificação. A NBR 6118:2014 define que uma estrutura é considerada como de nós fixos quando o parâmetro de instabilidade α (dado pela equação 2) for menor que α_1 (equações 3 e 4):

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{(E_{cs}I_c)}} \quad (2)$$

com

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \quad \text{se } n \leq 3 \quad (3)$$

$$\alpha_1 = 0,6 \quad \text{se } n \geq 4 \quad (4)$$

Em que

n = É o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo.

H_{tot} = É a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo.

N_k = É o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}) com seu valor característico.

$E_{cs}I_c$ = Representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs}I_c$ de um pilar equivalente de seção constante.

A NBR 6118:2014 sintetiza a determinação da rigidez do pilar equivalente com o procedimento de executar-se o cálculo do deslocamento do topo da estrutura devido a ação do carregamento horizontal na direção considerada e então calcular-se a rigidez equivalente do pilar, engastado na base e livre no topo, com a mesma altura H_{tot} e com ação do mesmo carregamento, de forma que o deslocamento seja o mesmo da estrutura. Para o método de comparação da rigidez, com base nas recomendações de norma, é necessário, no entanto, que se verifique a conformação estrutural proposta na concepção.

Vasconcelos (1985 *apud* Gouveia 2016) discorre sobre o fato da rigidez equivalente, calculada como a soma dos pilares individuais, fornecer resultados conservadores em estruturas moldadas no local, sendo mais representativa no caso de estruturas pré-moldadas. Carvalho e Pinheiro (2009), no entanto, trazem proposições mais adequadas com relacionamento direto à rigidez de pórticos formados por vigas e pilares. Segundo os autores, a partir do momento em que se determine o deslocamento no topo do pórtico, é possível descobrir a rigidez equivalente com o uso da equação que se segue:

$$(EI)_{eq} = n_p \times \frac{F \times H_{tot}^3}{3 \times \delta_{p\acute{o}rtico}} \quad (5)$$

Em que

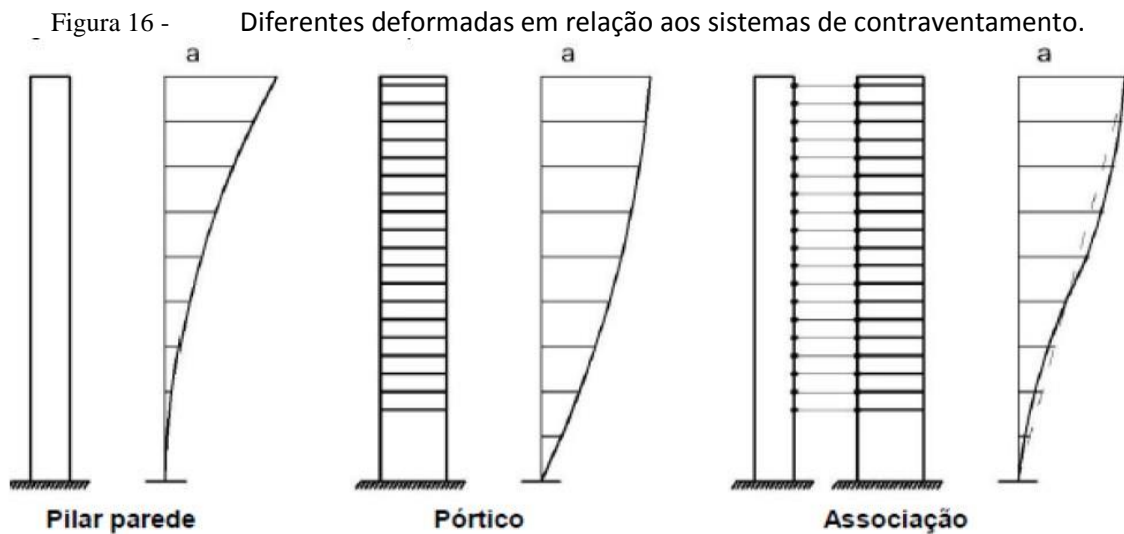
- F = Força unitária na direção de estudo (kN).
- n_p = É o número de pórticos que resistem ao movimento na direção em que estão aplicadas as forças de vento.
- $\delta_{p\acute{o}rtico}$ = Deslocamento no topo do pórtico (m).
- H_{tot} = Altura total da estrutura medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo (m).
- $(EI)_{eq}$ = Rigidez equivalente ($kN \times m^2$).

Em relação aos limites estabelecidos para α_1 a NBR 6118:2014 estabelece valores limites relacionados ao tipo de estrutura de contraventamento, sintetizados:

Tabela 2 - Limites dos valores de α_1 devido aos tipos de contraventamento.	
Tipo de Contraventamento	Valor de α_1
Pórticos	0,5
Pórticos e Pilares-parede	0,6
Pilares-parede	0,7

Fonte: o autor (2017).

O motivo para a limitação dos valores de alfa é baseado nas reações dos elementos de contraventamento, assim como demonstra Franco (1985 *apud* Gouveia, 2016):



Fonte: Franco (1985 *apud* Gouveia, 2016, pg. 47).

É válido ressaltar que o parâmetro α não fornece indicação de majoração em relação aos efeitos de 2º ordem, sendo necessário utilizar outros métodos que verifiquem a não-linearidade geométrica de tais efeitos. Além de tal desvantagem, o parâmetro α indica resultados muito conservadores. Os valores do parâmetro de instabilidade alfa (α) não são utilizados nesse escrito por uma série de fatores:

- Os valores são comparativos conservadores que apenas delimitam se a estrutura é de nós fixos ou móveis, diferente do coeficiente gama-Z (γ_z) que serve como majorador das solicitações horizontais em análise de segunda ordem quando o mesmo está entre $1,10 \leq \gamma_z \leq 1,30$;
- O parâmetro alfa baseia-se na geometria da edificação, o que é altamente variável, com seu estudo de desenvolvimento baseado em estruturas simétricas;
- O software utilizado não fornece o parâmetro, e o cálculo manual detalhado deverá ser semelhante ao de Oliveira (2009) por assumir as mesmas cargas com a aplicação das mesmas equações normatizadas no item 15.5.2 da NBR 6118:2014;
- O comparativo entre variações de materiais para o mesmo arranjo estrutural de uma edificação obteria variação apenas no peso próprio da construção e

dificultaria ainda a análise do pórtico devido ao fato das barras possuírem perfil delgado que influenciaria no comparativo criado de pilar equivalente;

- Finalmente o motivo principal: o fato do parâmetro alfa não ter sido desenvolvido para estruturas mistas ou com pórticos formados por elementos metálicos, o que exige diretamente a análise por meios mais sofisticados de cálculo e ainda serem áreas de prospecção da engenharia de estruturas.

Coeficiente Gama-Z (γ_z)

A NBR 6118:2014 trata o coeficiente γ_z como de importância para a avaliação dos efeitos de segunda ordem globais e válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares. Ele é obtido com base em análise de primeira ordem, para cada um dos casos de carregamento, e dado pela expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (6)$$

Onde

- $\Delta M_{tot,d}$ = É o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura (kN x m).
- $M_{1,tot,d}$ = É a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1º ordem (kN x m).

Ainda segundo a norma a estrutura é considerada como de nós fixos apenas se o $\gamma_z \leq 1,1$ e caso esta condição não seja atendida é necessário que se leve em conta os efeitos de 2º ordem. De acordo com Moncayo (2011 *apud* Gouveia, 2016) a estrutura que apresente $\gamma_z \geq 1,3$ ou $\gamma_z \leq 1$ é considerada como instável.

O cálculo dos momentos de tombamentos e do somatório dos momentos dados são indicados pelas seguintes equações:

$$M_{1,tot,d} = \sum (F_{Hid} \times X_i) \quad (7)$$

$$\Delta M_{tot,d} = \sum (P_{id} \times Y_i) \quad (8)$$

Onde

FH_{id}	=	Força horizontal no andar i (kN).
X_i	=	Distância do andar i à base do edifício (m).
P_{id}	=	Força vertical no andar i (kN).
Y_i	=	Deslocamento horizontal do andar i (m).

No caso da necessidade de determinação dos esforços de segunda ordem, segundo a NBR 6118:2014, deve-se executar análise dos esforços finais (de 1º e 2º ordens) a partir da majoração dos esforços horizontais da combinação do carregamento considerada por $0,95\gamma_z$, válido apenas no caso de $\gamma_z \leq 1,3$. Mesmo que se limite a edifícios com mais de 4 pavimentos, os resultados obtidos estão mais próximos da realidade e podem ser utilizados como coeficiente de majoração dos esforços, o que torna esse método bastante vantajoso.

Método P- Δ

Oliveira (2009) define o método P- Δ como um método simplificado, “que oferece resultados satisfatórios dos efeitos de segunda ordem”. O método é um cálculo iterativo relacionado aos deslocamentos horizontais, introduzidos por momentos chamados P- Δ . Nesse método podem ser consideradas as não-linearidades físicas através da redução da rigidez das vigas e dos pilares.

Essa análise é a indicada pela NBR 8800:2008, em seu item 4.9.2.3, que especifica:

Métodos de análise que considerem direta ou indiretamente a influência da geometria deformada da estrutura (efeitos P- δ e P- Δ), das imperfeições iniciais, do comportamento das ligações e da redução de rigidez dos elementos componentes, quer pela não-linearidade do material, quer pelo efeito das tensões residuais, podem ser utilizados.

Esse método é também aplicável à peças esbeltas, fator pelo qual a citada norma preza por sua utilização em detrimento aos demais, que exigem peças com maiores valores inerciais. Atualmente existem estudos como os de Oliveira (2009) que validam o gama-Z com correlação ao método P- Δ para estruturas com inercias altas, no entanto, o coeficiente gama-Z não é satisfatório para peças esbeltas, o que, durante a fase de modelagem, foi considerado para o traçado dos pilares com maior robustez geométrica.

2.6 Ferramentas de Cálculo de Estruturas e Normas Consideradas

Atualmente estão disponíveis no mercado diversos softwares que auxiliam o projetista durante o cálculo estrutural e suas verificações, sendo necessária a adequação conjunta do projeto e formas de trabalho em conjunto com as normas consideradas para o dimensionamento e detalhamento das estruturas. Para efeitos desse trabalho é utilizado o CYPECAD versão 2016.o, desenvolvido e comercializado pela CYPE Ingenieros S.A. O programa realiza cálculos e verificações de elementos estruturais de concreto armado, aço e mistos de aço e concreto de forma automatizada, já com a inclusão do detalhamento.

Gouveia (2016) ressalta que uma das características muito apreciadas pelos usuários é a entrada gráfica em um ambiente CAD próprio, sem a necessidade de outros softwares integrados. Diversas normas nacionais já atualizadas encontram-se já implementadas nesse software, no entanto, normatizações como as resistências ao incêndio devem ser obedecidas pelo projetista ainda durante o lançamento estrutural.

A análise das solicitações é realizada através do uso de Métodos de Elementos Finitos (MEF), que trabalha com o refinamento da malha de forma comparativa, até que se chegue a uma solução convergente. O software estabelece a compatibilidade de deformações em todos os nós, com seis graus de liberdade, e então cria a hipótese de indeformabilidade do plano de cada piso. A estrutura é discretizada em elementos de barra, grelhas de barras e nós, com elementos finitos triangulares definidos conforme o elemento.

O software de auxílio a análise estrutural utilizado trás todas as normas nacionais pertinentes atualizadas, contando ainda com as demais normas internacionais caso sejam necessárias durante a análise ou requisitadas como parâmetro pelo usuário.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Nessa etapa do trabalho serão mostrados o modelo comparativo utilizado (vindo de Oliveira, 2009) e o modelo de trabalho de um edifício real. O edifício real é o residencial Mansão Burle Marx, gentilmente cedido pela Construtora Grande Vale LTDA. que será verificado com concepções diversas, desde a original utilizada na construção do empreendimento, até a utilização de estruturas mistas e metálicas. Todas as concepções serão de ordem comparativa, seja no estudo de caso de validação do software e nos resultados do caso real, onde as comparações serão diversas: inicialmente serão modificadas as concepções estruturais e então serão usados materiais e combinações diversas, com o coeficiente Gama-Z (γ_z) e o custo como fatores norteadores de decisão. Os custos serão dados pelo consumo de concreto, aço e fôrmas, incluindo as influencias que as variações de estrutura terão sobre as fundações.

Para cada uma das análises será utilizado o software de auxílio ao cálculo estrutural CYPECAD, versão 2016.o, que poderá fornecer diversos parâmetros necessários a execução do trabalho. Dos parâmetros extraídos do programa, destacam-se: parâmetros de instabilidade global da estrutura em estudo, as cargas de vento, deslocamentos horizontais, cargas verticais atuantes, planta de fôrmas, quantitativos (concreto, aço e fôrmas) bem como detalhamentos se necessários. Devido às formas construtivas permitidas pelo software e as suas compatibilizações, torna-se importante verificar o aspecto tridimensional da estrutura, fornecido de forma automatizada.

3.1 Formas de Combinação e Concepções dos Sistemas Estruturais Propostos

Como as estruturas em questão são analisadas com materiais e concepções diversas, para um comparativo de utilização diversificada de materiais torna-se necessária a criação de uma metodologia de identificação de cada um dos sistemas, aumentando a facilidade de entendimento. Com base em tais proposições criou-se a tabela guia de cada caso:

Tabela 3 - Esquema de nomeação dos diversos sistemas estruturais.

Elemento	Material	Resistência
P – pilar	C – concreto	C25 – concreto de 25 MPa
V – viga	A – aço	A36 – aço de 250 MPa
L – laje*	M – misto aço-concreto	A572 – aço de 390 MPa
F – fundação	T – alvenaria	G15 – graute de 15 MPa

*Variações nas lajes de concreto são expressas da seguinte forma: nervuradas – *NN*, maciças – *MM*, protendidas – *PP*, alveolares – *AA*, com indicação em itálico, sempre antes do material.

Fonte: o autor (2017).

Como exemplo pode-se propor uma concepção da forma PC30 – VA36 – LMC30A36, que se entende da seguinte forma: pilares de concreto de 30 MPa, vigas de aço A-36 e lajes mistas de aço A-36 e concreto de 30 MPa. Com base na proposição de código criada é possível realizar variações e identificar com facilidade a proposição estrutural da qual se fala, com qualquer informação complementar podendo ser inserida entre parênteses ao final da identificação do caso.

3.2 Sistemas Estruturais Adotados

Todo critério para a validação dos sistemas estruturais adotados leva em conta a estabilidade global da edificação, fornecida de forma automática pelo software de cálculo utilizado para o suporte. O parâmetro utilizado é apenas o gama-Z (γ_z), devido sobretudo a quantidade de pavimentos e falta de simetria da estrutura, assim como indica a NBR 6118/2014 para edifícios com mais de quatro pavimentos.

3.2.1 Caso de Validação: Oliveira (2009)

Inicialmente verifica-se um edifício ao qual se pudesse ter acesso aos dados, utilizando-se aqui como base a proposição o exemplo 1 de Oliveira (2009) que analisa o estudo da rigidez de um pórtico tridimensional de concreto. Como o presente escrito se utiliza de diversas concepções estruturais, valida-se o software utilizado executando a proposição original inicial e em seguida compara-se a estabilidade para cada um dos modelos propostos.

Dos itens relacionados às diferentes concepções, os concretos de moderada resistência podem facilmente ser trabalhados dentro do canteiro, porém, aqueles de

resistência mais elevadas devem ser usinados em central. Lajes maciças e nervuradas, assim como os demais itens mistos, podem ser efetuados com resistência variável de concreto, desde que verificadas as indicações de aproveitamentos relacionadas a cada elemento.

Lajes mistas devem ser projetadas em condições ortotrópicas (com variação da inércia previstas devido as mudanças de direcionamento, por tratar-se de laje nervurada unidirecional). Utilização de lajes mistas eliminam diretamente o serviço de carpintaria por eliminar utilização de fôrmas e escoramentos, característica que tem tornado esse elemento tão atrativo. Além de eliminação de mão-de-obra, constitui ainda plataforma de trabalho que aumenta a segurança no canteiro de obras e aumenta a velocidade de execução do empreendimento.

Vigas mistas e de aço também representam vantagens construtivas, seja diminuindo o tempo de execução, seja por aumentar a segurança durante a execução e nas estruturas já finalizadas, com elementos que possuem melhor controle de qualidade. Com as mesmas características vantajosas que se descreve as vigas mistas e de aço pode-se falar sobre os pilares de aço, que aumentam fortemente a velocidade de execução.

As lajes nervuradas são caracterizadas por sua grande inércia, eliminando material onde o mesmo não é necessário: retira-se grande parte do concreto das áreas de tração, local que necessita apenas do aço que combaterá tais efeitos. As áreas de compressão, no entanto, são executadas com seções totalmente preenchidas, em uma concepção que utiliza cada um dos materiais envolvidos em suas melhores características. Feitas as combinações de cada um do elementos citados é possível obter os seguintes sistemas para a comparação:

- PC25-VC25-LMMC25;
- PC35-VC35-LMMC35;
- PC50-VC50-LMMC50;
- PC25-VC25-LMC25A36;
- PC25-VA36-LMC25A36;
- PC25-VA36-LMMC25;
- PA36-VA36-LMC25A36;
- PA572-VA572-LMC25A572;

- PC25-VC25-LNNC25.

3.2.2 Caso de Estudo: Mansão Burle Marx

Esse é o caso do edifício existente analisado. Inicialmente executa-se estrutura semelhante à construída, de forma que se estabeleçam as cargas utilizadas e verifique características não constantes em projeto. Com base na arquitetura verifica-se então cada uma das variações propostas no modelo comparativo, sem variação da resistência do concreto, de forma que a edificação mantenha a estabilidade e arquiteturas propostas.

- PC30-VC30-LMMC30
- PC30-VC30-LMC30A36
- PC30-VA36-LMC30A36
- PC30-VA36-LMMC30
- PA36-VA36-LMC30A36
- PA572-VA572-LMC30A572
- PC30-VC30-LNNC30

3.3 Critério de Cálculo dos Custos

Na execução de uma estrutura alguns critérios de custo terão ação preponderante e devem ser verificados: a utilização da mão-de-obra e o custo dos materiais, insumos e equipamentos especiais utilizados. Um cruzamento que forneça um equilíbrio entre os dois fornecerá o menor custo associado à execução da estrutura.

O levantamento do custo da mão-de-obra variará com o grau de especialização necessário e o quantitativo do respectivo serviço demandado, ou seja, a quantidade de material utilizado também demandará o custo da mão-de-obra. O custo do material dependerá diretamente da quantidade utilizada, ou seja, está diretamente ligado à concepção estrutural.

Para os serviços e insumos utilizados no orçamento observou-se:

- Concreto;
- Aço;
- Fôrmas e escoramentos;

- Mão-de-obra na execução.

A composição dos custos levou em consideração os valores atualizados fornecidos na tabela SINAPI, disponível no site da Caixa Econômica Federal e o sistema Gerador de Preços, do CYPECAD, que apresentam detalhamentos quanto materiais, a última citada em especial para a área de estruturas. As composições utilizadas se apresentam no final deste trabalho, no apêndice A.

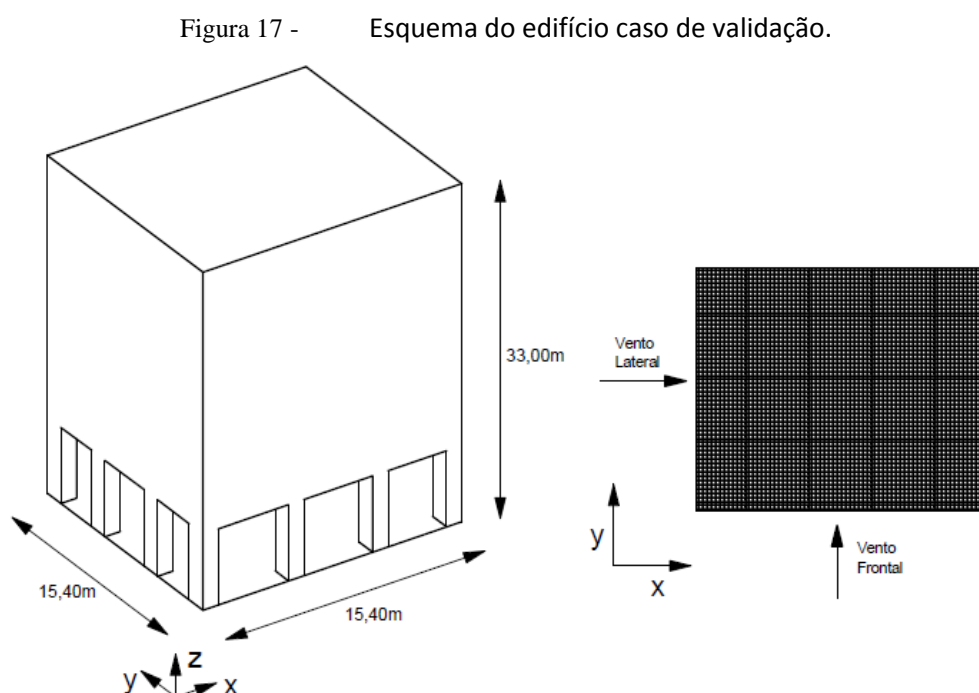
3.4 Caso de Validação: Oliveira (2009)

O exemplo de validação, assim como já citado, foi retirado de Oliveira (2009), com carregamentos gravitacionais listados pelo autor:

- Carregamento distribuído sobre as lajes = $2,5 \text{ kN/m}^2$ (exceto peso próprio);
- Carregamento distribuído sobre as vigas = $0,5 \text{ kN/m}$ (exceto peso próprio).

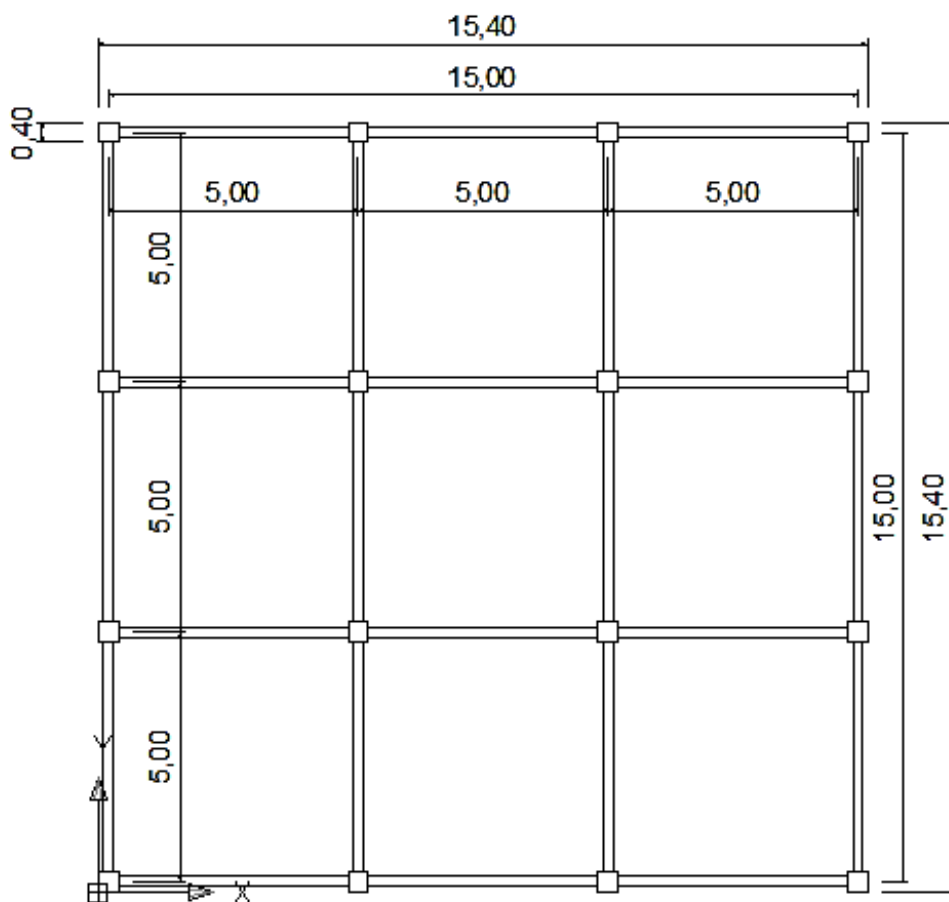
No trabalho considerou-se o conceito de carregamento equivalente onde a carga distribuída é substituída por carregamentos nodais concentrados nos nós.

Ainda segundo o autor, considerou-se a velocidade básica do vento como $V_0 = 32 \text{ m/s}$, fator topográfico $S_1 = 1,0$, com categoria referente a rugosidade igual a IV, com fator estatístico definido como 1,0 devido a classe da edificação, com coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas. O modelo desenvolvido pelo autor se encontra nas figuras 17 e 18:



Fonte: Oliveira (2009).

Figura 18 - Fôrma do pavimento tipo.

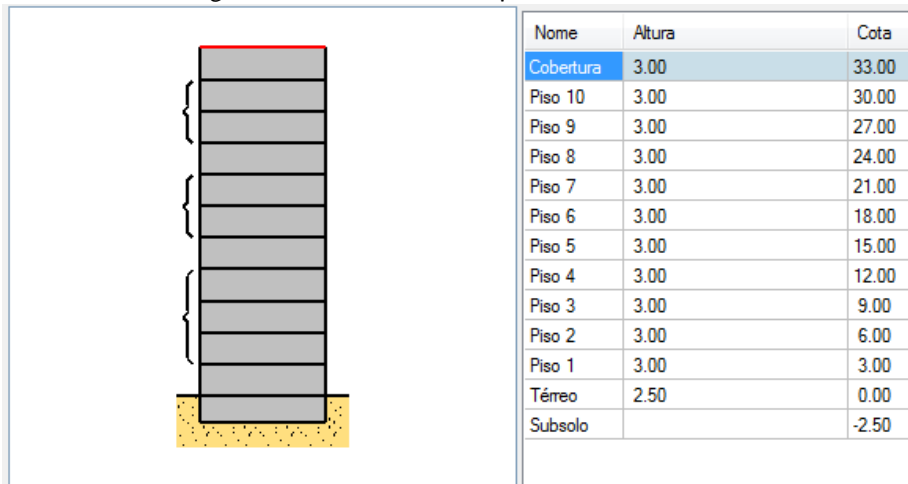


Fonte: Oliveira (2009, modificado).

3.4.1 Lançamento do Caso de Validação: Oliveira (2009) no CYPECAD

A figura mostrada anteriormente é considerada como modificada, pois foi desenhada pelo autor com base no modelo de Oliveira, e essa foi inserida no software CYPECAD como base para o lançamento da estrutura, com as cotas entre pavimento e características de materiais, vento e carregamentos como mostradas nas figuras 19 e 20:

Figura 19 - Cotas dos pavimentos criados.



Fonte: o autor (2017).

Figura 20 - Configuração dos materiais.

Normas: ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9

Concreto armado

Concreto

Pisos: C25, em geral

Fundação: C25, em geral

Tubulões: C20, em geral

Pilares: C25, em geral

Cortinas: C25, em geral

Características do agregado: Granito (15 mm)

Aço

Barra: CA-50 e CA-60

Parafusos: ISO 898.C4.6

Perfis

Aço

Laminados e soldados: A-36 250Mpa

Dobrados: CF-26

Madeira

Serrada - Coníferas - C20

Alumínio extrudado

EN AW-5083 - F

Ações

Carga permanente e sobrecarga

Com ação do vento: NBR 6123 (Brasil)

Com ação sísmica

Verificar resistência ao fogo

Estados limites (combinações)

Ações adicionais (cargas especiais)

Coefficientes de flambagem

Pilares de betão e mistos

β_x : 1.000 β_y : 1.000

Pilares em aço

β_x : 1.000 β_y : 1.000

Ambiente

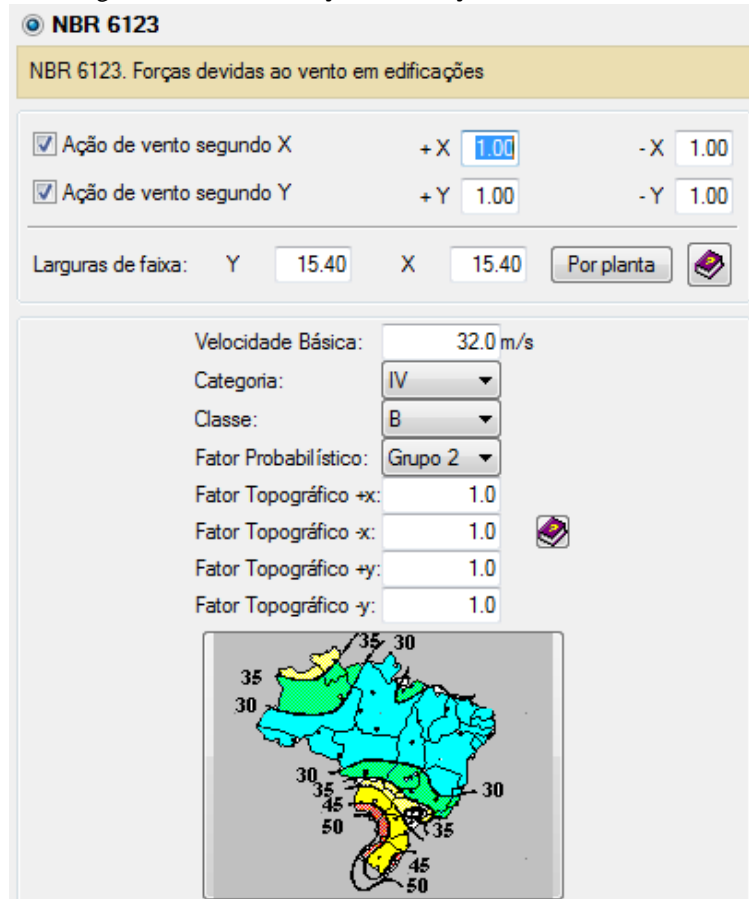
Vigas: CAA I (Abertura máxima de fissura: 0.40 mm)

Blocos de coroamento: CAA I

Fonte: o autor (2017).

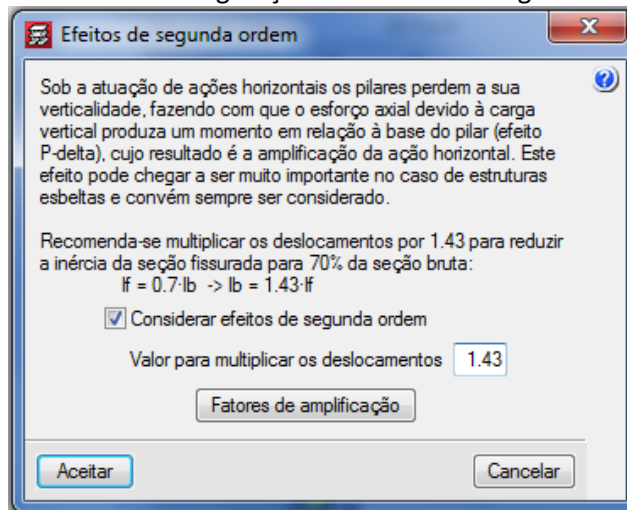
A configuração dos ventos deve ser inserida em local específico com os parâmetros adotados pela NBR 6123/1988. Os efeitos de segunda ordem devem ser configurados de forma que se estabeleça a utilização dos coeficientes relacionados à deformação da estrutura:

Figura 21 - Inserção das forças devido ao vento.



Fonte: o autor (2017).

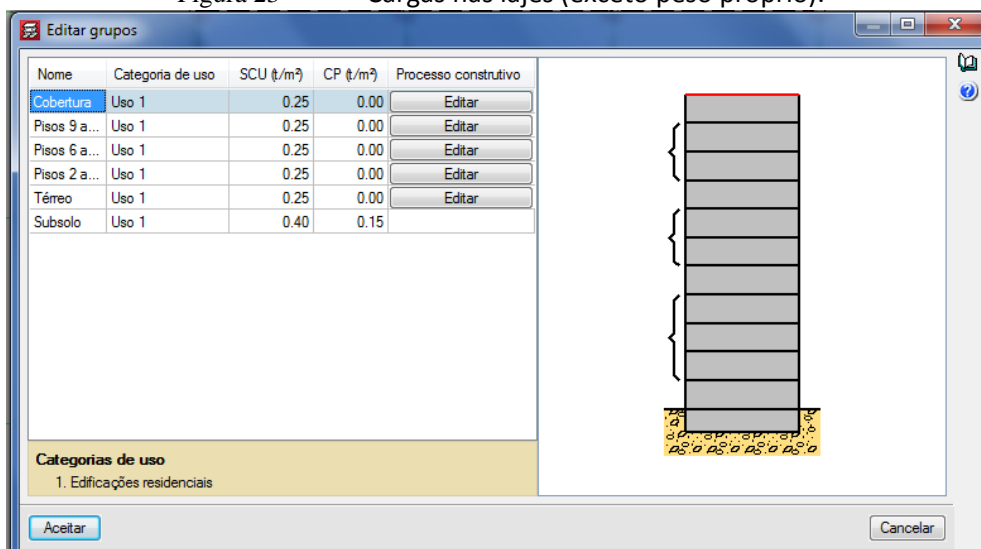
Figura 22 - Configuração dos efeitos de segunda ordem.



Fonte: o autor (2017).

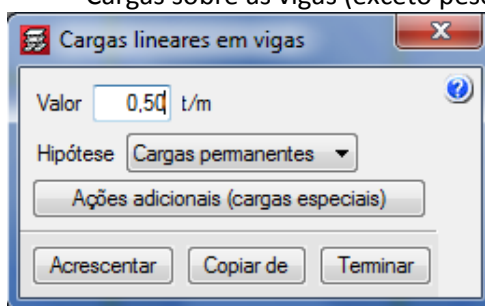
Em seguida são inseridas as cargas acidentais propostas por Oliveira (2009), postas na estrutura de forma generalizada:

Figura 23 - Cargas nas lajes (exceto peso próprio).



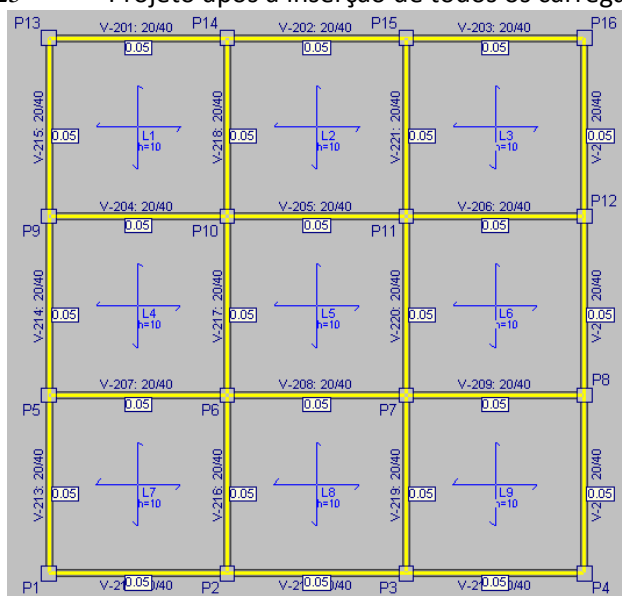
Fonte: o autor (2017).

Figura 24 - Cargas sobre as vigas (exceto peso próprio).



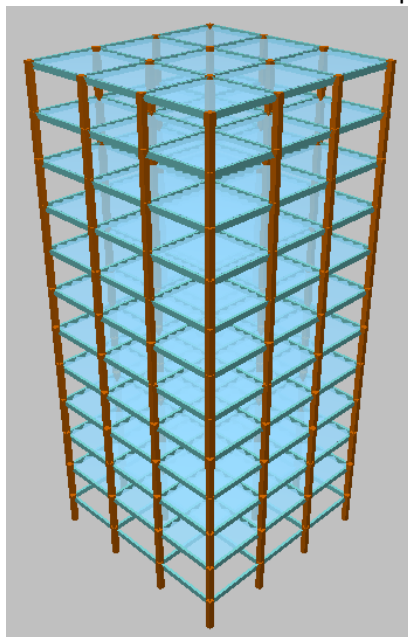
Fonte: o autor (2017).

Figura 25 - Projeto após a inserção de todos os carregamentos.



Fonte: o autor (2017).

Figura 26 - Vista tridimensional do projeto.



Fonte: o autor (2017).

3.5 Lançamento do Caso de Estudo: Mansão Burle Marx no CYPECAD

A arquitetura utilizada no caso de estudo, como já citada anteriormente, é a do edifício residencial Mansão Burle Marx, uma estrutura com vinte pavimentos, correspondendo a um apartamento por andar com um duplex na cobertura que conta com piscina privada. A edificação situa-se no bairro Renato Gonçalves, na cidade de Barreiras-BA, acabada em 2013 e habitada desde então.

Figura 27 - Edificação durante a construção.



Fonte: Google Imagens (2017).

Com a inserção de todos os pavimentos, fundações e o reservatório superior assim como indicado no projeto estrutural utilizado na construção e fornecido pela Construtora Grande Vale LTDA. a altura final do edifício situa-se em torno de 64,95 metros em relação ao nível do solo. Em relação às áreas construídas, com base no projeto estrutural têm-se, exclusivamente para a torre, o seguinte:

Tabela 4 - Distribuição das áreas construídas através dos pavimentos.

Pavimento	Quantidade	Área Construída (m² por pavimento)
Térreo	1	273,87
Pavimento 1	1	218,66
Pavimento 2	1	273,87
Pavimentos 4, 6, 8 ao 11, 13 e 15	8	272,65
Pavimentos 3, 5, 7, 12, 14, 16 e 17	7	273,77
Pavimento 18	1	277,99
Pavimento 19	1	267,91
Pavimento 20	1	163,03
Mesa dos Elevadores	1	12,57
Fundo do Reservatório	1	25,36
Tampa do Reservatório	1	45,54
Área Total Construída		5.656,39

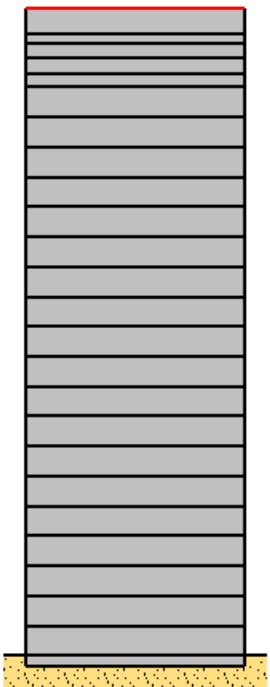
Fonte: o autor (2017).

Para a primeira concepção do caso de estudo foi utilizada a original de projeto, com pilares, vigas e lajes de concreto armado com 30 MPa, com modelos de planta de fôrmas no apêndice B. Para o carregamento acidental utilizou-se sobrecarga de 3 kN/m², uma simplificação devido à variação do posicionamento dos cômodos na área de apartamentos que a construtora possibilitou. A carga permanente adotada foi de 1,5 kN/m², correspondente a um contrapiso de argamassa de cerca de 7 cm e revestimento de porcelanato com cerca de 1,5 cm. Foram ainda consideradas cargas adicionais de 5 kN/m para as vigas de borda do edifício, onde se garantia a construção de paredes.

Deve-se deixar claro que o pavimento tipo do edifício é apenas uma proposição, ficando livre o comprador para contratar profissional da área de arquitetura que projetasse de forma separada, com o aval de execução da proposta dado pelo engenheiro projetista. A seguir o esquema de carregamento da edificação no software:

Figura 28 - Cargas acidentais (SCU) e permanentes (CP) aplicadas.

Nome	Categoria de uso	SCU (t/m ²)	CP (t/m ²)	Processo construtivo
Piso 23 - tampa do reservató...	Uso 1	0.00	0.15	Editar
Piso 22 - fundo do reservatório	Uso 1	0.00	0.15	Editar
Piso 21 - mesa dos elevadores	Uso 1	0.20	0.50	Editar
Piso 20 - teto da cobertura s...	Uso 1	0.20	0.10	Editar
Piscina do duplex	Uso 1	0.00	0.00	Editar
Piso 19 - cobertura superior	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 18 - cobertura inferior	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 17	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 16	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 15	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 14	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 13	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 12	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 11	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 10	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 9	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 8	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 7	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 6	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 5	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 4	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 3	Uso 1	0.30	0.15	Editar
Piso 2	Uso 1	0.30	0.15	Editar



Fonte: o autor (2017).

Os esforços causados pelas forças de vento foram inseridos com base nos maiores lados da edificação, com características típicas para a cidade no qual a obra foi executada e levando-se em conta os efeitos de segunda ordem:

- Velocidade básica do vento $V_0 = 30 \text{ m/s}$;
- Fator estatístico $S_3 = 1,00$;
- Categoria IV de rugosidade do terreno;
- Edificação classe B;
- Considerou-se 21,02m na direção X e 17,35m na direção Y (as maiores dimensões do edifício que em geometria aproximada em "L").


Figura 29 - Informações para o cálculo das forças de vento.

NBR 6123

NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações

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 17.35 X 21.02 


Velocidade Básica: 30.0 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: o autor (2017).

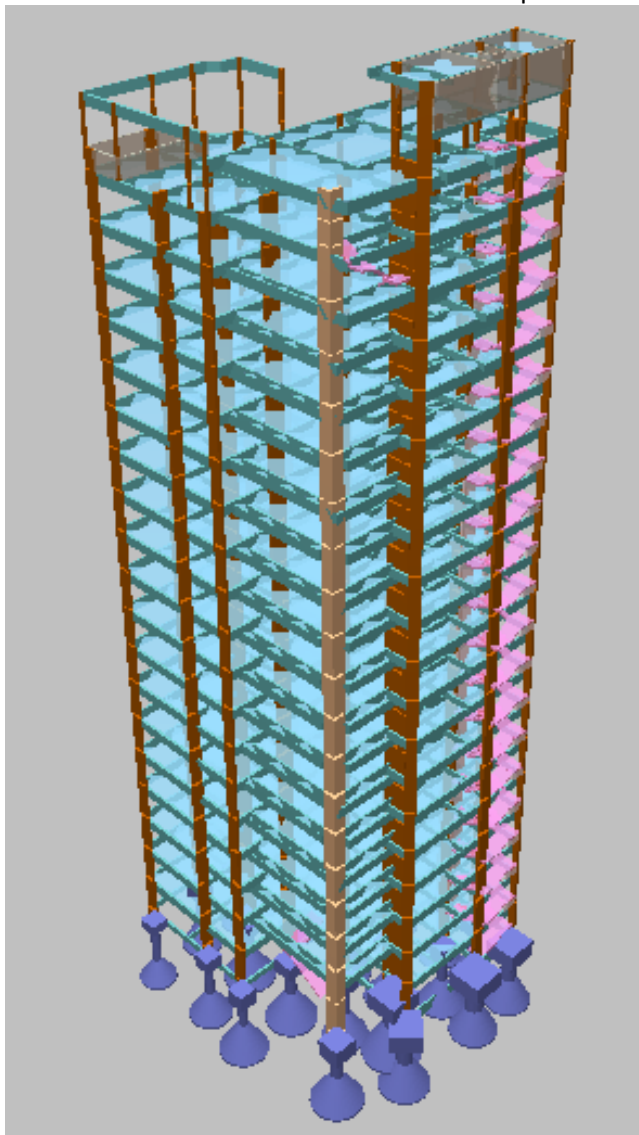
Tabela 5 - Cargas de vento calculadas para a torre (válida para todas as concepções analisadas).

Planta	Vento X (t)	Vento Y (t)
Piso 23 - tampa do reservatório	1.364	1.652
Piso 22 - fundo do reservatório	1.838	2.227
Piso 21 - mesa dos elevadores	1.245	1.509
Piso 20 - teto da cobertura superior	1.623	1.966
Piscina do duplex	1.550	1.877
Piso 19 - cobertura superior	2.224	2.694
Piso 18 - cobertura inferior	3.040	3.683
Piso 17	2.997	3.631
Piso 16	2.952	3.576
Piso 15	2.905	3.519
Piso 14	2.855	3.459
Piso 13	2.803	3.395
Piso 12	2.747	3.328
Piso 11	2.688	3.257
Piso 10	2.625	3.180
Piso 9	2.557	3.097
Piso 8	2.482	3.007
Piso 7	2.401	2.909
Piso 6	2.310	2.799
Piso 5	2.207	2.674
Piso 4	2.088	2.529
Piso 3	1.943	2.354
Piso 2	1.756	2.127
Piso 1	1.477	1.790
Térreo	0.237	0.287

Fonte: o autor (2017).

A análise do caso de construção não possui nenhum detalhe especial em específico, com vista tridimensional mostrada na figura 30:

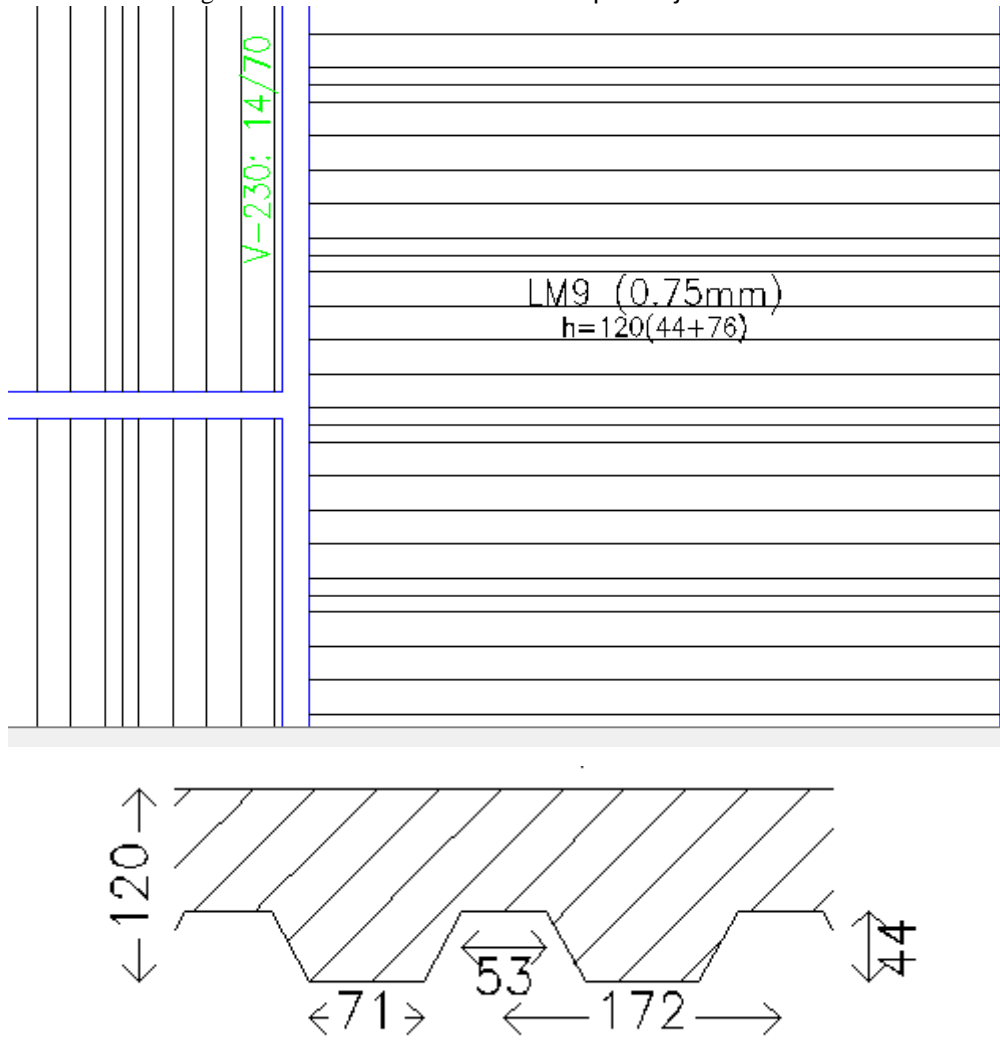
Figura 30 - Vista tridimensional da estrutura que foi executada.



Fonte: o autor (2017).

O item B do caso de estudo, PC30-VC30-LMC30A36 deve possuir particularidades quanto ao detalhamento da união da fôrma perdida com a estrutura do concreto armado, no entanto a planta de fôrmas é bastante simplificada, indicando apenas as fôrmas perdidas e suas dimensões transversais:

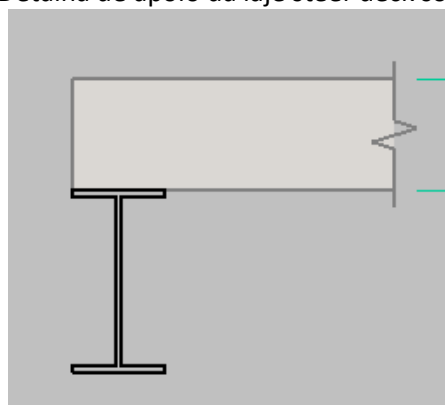
Figura 31 - Fôrmas e detalhes para lajes steel-deck.



Fonte: o autor (2017).

O item C, PC30-VA36-LMC30A36 possui detalhamento similar ao do item B, com ressalva à especificação do apoio da laje sobre a viga metálica, como mostrado:

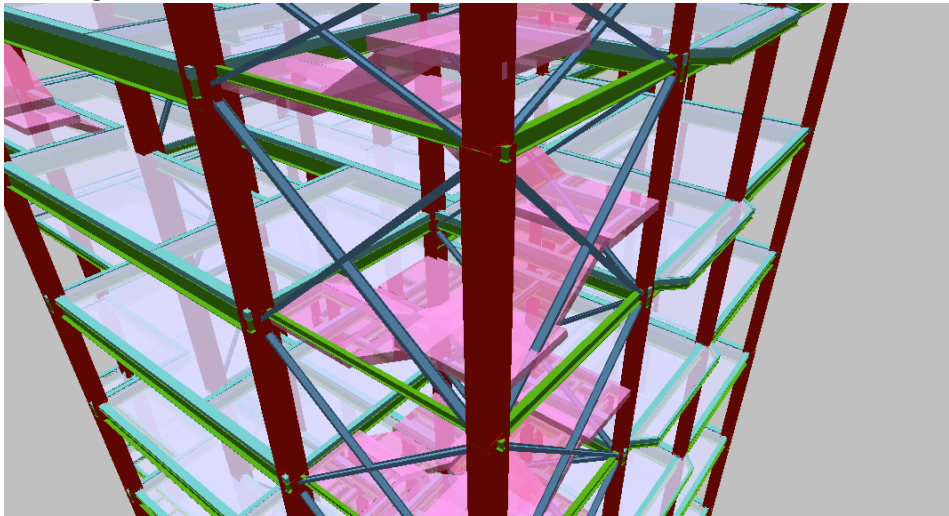
Figura 32 - Detalha de apoio da laje steel-deck sobre a viga de aço.



Fonte: o autor (2017).

O item D, PC30-VA36-LMMC30 possui detalhamento similar ao apresentado na figura 32, tendo diferenciação por exigir travamento treliçado para aumentar a rigidez, assim como os itens E e F (PA36-VA35-LMC30A36 e PA572-VA572-LMC30A572 respectivamente), ambos com estrutura totalmente em aço (com variação apenas no módulo de elasticidade). A seguir imagem tridimensional de um dos modelos constituídos apenas de aço estrutural, em específico o travamento treliçado executado no núcleo de escadas:

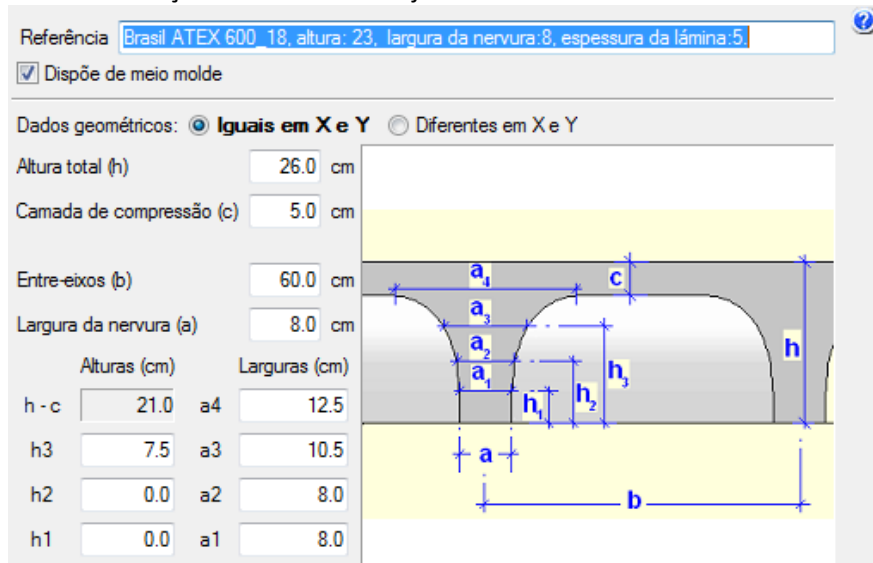
Figura 33 - Detalhe dos travamentos utilizados nos itens D, E e F.



Fonte: o autor (2017).

O último sistema estrutural proposto é totalmente baseado em concreto, porém conta com lajes nervuradas e capitéis embutidos. Para o dimensionamento foi utilizada fôrma Atex 600, com esquema transversal mostrado a seguir:

Figura 34 - Seção transversal da laje nervurada utilizada com fôrmas Atex 600.



Fonte: o autor (2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como etapa inicial se executará o comparativo entre as diversas concepções estruturais do caso de validação com o valor encontrado originalmente por Oliveira (2009) e em seguida serão apresentados os resultados de estabilidade estrutural para cada uma das concepções do caso de estudo, seguidas da síntese dos materiais utilizados e custos de cada um deles em separado. Ao final dos resultados de cada concepção, comentários sobre a estrutura em situação de incêndio.

4.1 Caso de Validação: Oliveira (2009)

Após a análise da estrutura o software responsável pelo auxílio ao projeto fornece os valores do coeficiente gama-Z (γ_z), que será comparado, no caso da estrutura convencional, com o valor obtido por Oliveira (2009). Em seguida os valores de gama-Z das diferentes concepções serão comparados entre si, tendo como parâmetro o valor encontrado para o sistema convencional.

Tabela 6 - Comparativo dos valores do coeficiente gama-Z (γ_z) fornecidos pelo software CYPECAD com os valores encontrados por Oliveira (2009).

Oliveira (2009)		CYPECAD (versão 2016.o)	
X	Y	X	Y
1,080	1,080	1,086	1,086

Fonte: o autor (2017).

Tabela 7 - Comparativo dos valores do coeficiente gama-Z para as diversas concepções estruturais.

Concepção Estrutural	CYPECAD (versão 2016.o)	
	X	Y
PC25-VC25-LMMC25	1,086	1,086
PC35-VC30-LMMC35	1,070	1,070
PC50-VC30-LMMC50	1,055	1,055
PC25-VC25-LMC25A36	1,092	1,092
PC25-VA36-LMC25A36	1,165	1,168
PC25-VA36-LMC25A36	1,054	1,054
PA36-VA36-LMC25A36	1,070	1,081
PA572-VA572-LMC25A572	1,077	1,090
PC25-VC25-LNMC25	1,098	1,098

Fonte: o autor (2017).

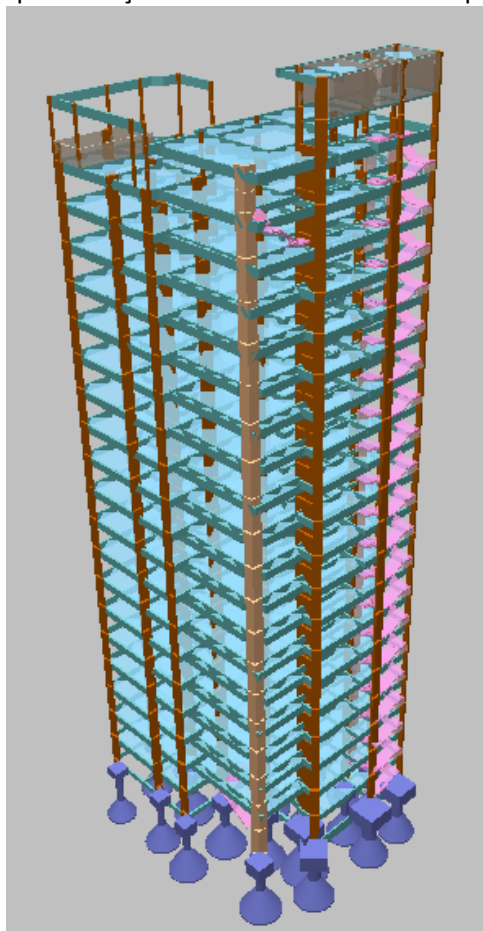
4.2 Caso de Estudo: Mansão Burle Marx

Os resultados obtidos para cada concepção estrutural em estudo, com vista tridimensional da concepção original e quando há variações consideráveis (a exemplo uma eliminação considerável de vigas em lajes nervuradas ou o emprego de perfis metálicos). Em seguida são apresentados os índices da concepção estrutural, os coeficientes em cada direção e deslocamentos apresentados, sintetização dos quantitativos dos materiais empregados em cada um dos elementos e finalmente o custo de cada conjunto de elementos, com o custo global da edificação. Ao final se realiza vistas do desempenho dos elementos de concreto quanto a resistência em situação de incêndio.

4.2.1 PC30-VC30-LMMC30

Esta é a concepção original utilizada na construção, com a representação tridimensional representada pelo CYPECAD a seguir:

Figura 35 - Representação do edifício em sua concepção original.



Fonte: o autor (2017).

Os dados de consumo do esquema estrutural, em relação a área construída são demonstrados na tabela 8:

Tabela 8 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VC30-LMMC30).

Descrição	Valor
Área Total da Obra (m ²)	5416,45
kg de aço por m ² de obra (kg/m ²)	24,681
m ² de fôrmas por m ² de obra (m ² /m ²)	2,191
m ³ de concreto por m ² de obra (m ³ /m ²)	0,226

Fonte: o autor (2017).

Em relação à estabilidade global indicados pelo coeficiente gama-Z e os deslocamentos no topo da edificação, em cada uma das direções:

Tabela 9 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VC30-LMMC30).

Item	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (mm)	31,2	41,12
	Limite=38,2	Limite=38,2
Coeficiente Gama-Z	1,098	1,108
	limite=1,1	limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

Como demonstrado na tabela 9, os valores de gama-Z encontrados já começam a ser um impedimento quanto a considerações mais simples: na direção Y não é mais possível ignorar os esforços de segunda ordem, sendo esses maiores que 10% dos esforços de primeira ordem. A majoração dos carregamentos horizontais deve ser efetuada, fator que afeta diretamente o custo da edificação pelo aumento do consumo de materiais. A consideração dos efeitos de 2º ordem será necessária em todas as estruturas trabalhadas, de forma que todas acabam por utilizar a simplificação proposta pela norma para os casos de $\gamma_z \leq 1,30$. O consumo de materiais do sistema é dividido pela quantidade de materiais utilizados para cada um dos elementos, sintetizado na tabela 10:

Tabela 10 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VC30-LMMC30).

Materiais	Elementos Estruturais					
	Fundações	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Cortinas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	8808,97	38076	29960	50210	4295	2332
Vol. De concreto (m ³)	349,7	230,95	335,84	595,27	4476	17,61
Área de Fôrmas (m ²)	175,08	2466,26	3994,48	4814,14	343,74	247,97

Fonte: o autor (2017).

Com base em cada um dos materiais e mão-de-obra envolvidos na construção dos elementos, com composição e detalhes dos custos expostos nos apêndices A (tabelas 38 a 43).

Tabela 11 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VC30-LMMC30).

PC30-VC30-LMMC30	
Elemento	Preço
Fundações	R\$ 346.349,08
Pilares	R\$ 557.672,38
Vigas	R\$ 567.200,18
Lajes	R\$ 965.068,09
Escadas	R\$ 85.276,83
Cortinas	R\$ 61.179,47
Total	R\$ 2.582.746,03

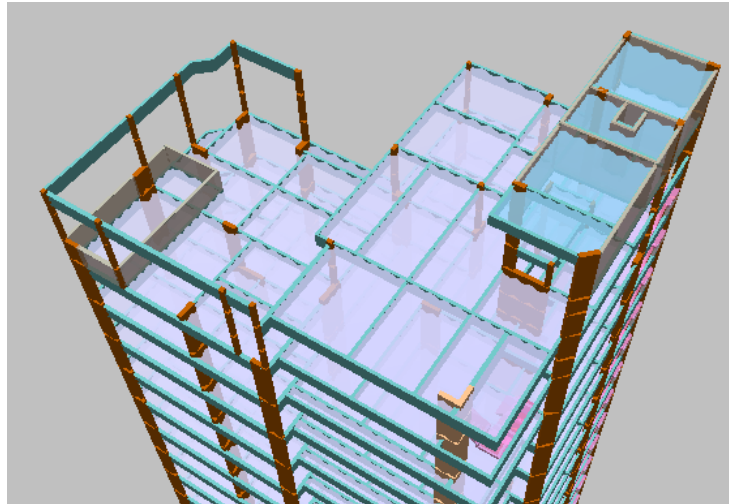
Fonte: o autor (2017).

Se for tomado como base o custo por metro quadrado (CUB) sugerido para o estado da Bahia, com valor de R\$ 1.657,93 reais, com a área construída de 5601,18 metros quadrados, o custo global do edifício acabado seria de R\$ 9.286.364,36, com a estrutura representando a média de 27,81%, valor que se situa na faixa de custos proposta por Gerolla (2016), entre 17 e 29% (mesmo que o autor considere nessa faixa apenas os materiais necessários) para a infraestrutura e supraestrutura somadas. Verifica-se que a estrutura em questão se apresenta próximo ao topo da faixa de preços, representando assim uma possibilidade de economia no caso da mudança de concepção estrutural para decréscimos dos valores de construção.

4.2.2 PC30-VC30-LMC30A36

Para o uso de laje mista tipo steel deck é necessário que se diminua os vãos livres entre os apoios das lajes, sendo fundamental o aumento da quantidade de vigas, constituindo um maior travamento do pórtico tridimensional, como exposto no esquema tridimensional da cobertura:

Figura 36 - Representação do aumento das vigas para apoio das lajes steel deck.



Fonte: o autor (2017).

Os dados de consumo do esquema estrutural, em relação a área construída são demonstrados na tabela 12:

Tabela 12 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VC30-LMC30A36).

Descrição	Valor
Área Total da Obra (m ²)	5416,45
kg de aço por m ² de obra (kg/m ²)	30,206
m ² de fôrmas por m ² de obra (m ² /m ²)	2,263
m ³ de concreto por m ² de obra (m ³ /m ²)	0,219

Fonte: o autor (2017).

Verifica-se aumento da quantidade de aço utilizada, principalmente devido ao fato das lajes tipo steel deck possuírem fôrmas incorporadas constituídas apenas desse material. A quantidade de fôrmas também é relativamente maior, no entanto, nesse quantitativo as áreas de laje mistas estão inclusas. Em relação à estabilidade global indicados pelo coeficiente gama-Z e os deslocamentos no topo da edificação, em cada uma das direções:

Tabela 13 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VC30-LMC30A36).

Item	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (mm)	35,4	54,0
	Limite=38,2	Limite=38,2
Coeficiente Gama-Z	1,114	1,128
	limite=1,3	limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

Devido à menor vinculação das lajes mistas, observa-se aumento de valor do coeficiente gama-Z em relação ao modelo PC30-VC30-LMMC30, de forma que os nós da edificação são considerados como móveis, porém ainda dentro do valor aceitável para cálculo linear, desde que se considerem os esforços de 2º ordem. O consumo de materiais do sistema é dividido pela quantidade de materiais utilizados para cada um dos elementos, sintetizado na tabela 14:

Tabela 14 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VC30-LMC30A36).

Materiais	Fundações	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Cortinas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	8617,84	39311	38438	50210	4292	2394
Vol. De concreto (m³)	300,52	230,81	374,81	515,46	44,76	17,61
Área de Fôrmas (m²)	144,28	2461,1	3953,24	5214,11	343,74	247,97
Chapas (kg)	-	-	-	45674	-	-

Fonte: o autor (2017).

Com base em cada um dos materiais e mão-de-obra envolvidos na construção dos elementos, é apresentado os valores de custos de cada um dos elementos estruturais e o custo global na tabela 15:

Tabela 15 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VC30-LMC30A36).

PC30-VC30-LMC30A36	
Elemento	Preço
Fundações	R\$ 316.087,16
Pilares	R\$ 573.950,79
Vigas	R\$ 677.772,20
Lajes	R\$ 814.889,77
Escadas	R\$ 85.244,80
Cortinas	R\$ 61.841,45
Total	R\$ 2.529.786,18

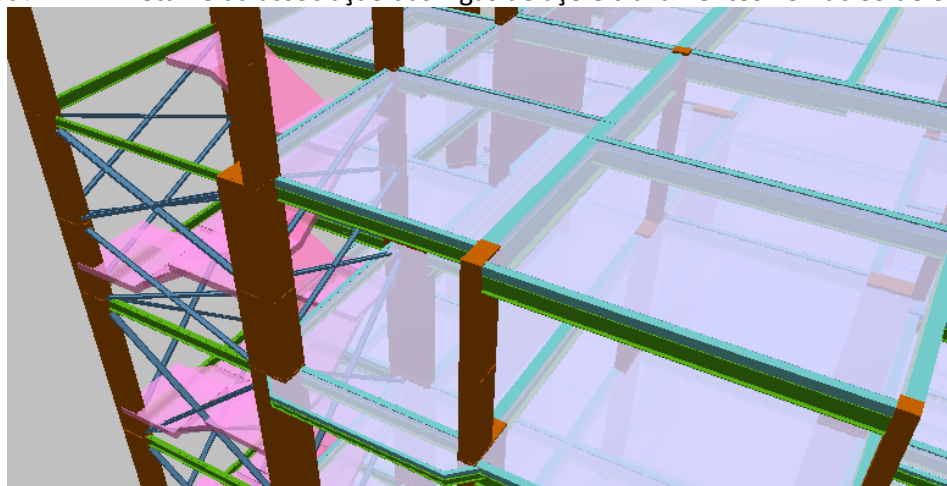
Fonte: o autor (2017).

Em relação ao modelo estrutural convencional encontra-se uma economia de 2,05%, representada pelo valor de R\$ 52.959,85. Essa economia é dada pela eliminação de grande parte das formas de madeira e dos serviços de carpintaria e escoramento, já que grande parte das lajes do projeto são autoportantes, fator que justifica o menor preço global da estrutura mesmo com o maior consumo de aço envolvido.

4.2.3 PC30-VA36-LMC30A36

Para essa estrutura é necessário, além do aumento da quantidade de vigas devido às lajes mistas steel deck, a execução de contraventamento treliçado devido ao decréscimo da rigidez dos pórticos mistos de aço e concreto, visto a seguir:

Figura 37 - Detalhe da associação das vigas de aço e travamentos no núcleo de escadas.



Fonte: o autor (2017).

Os dados da junção das estruturas de aço e concreto são mostrados a seguir:

Tabela 16 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VA36-LMC30A36).

Descrição	Valor
Área Total da Obra (m ²)	5416,45
kg de aço por m ² de obra (kg/m ²)	52,789
m ² de fôrmas por m ² de obra (m ² /m ²)	1,665
m ³ de concreto por m ² de obra (m ³ /m ²)	0,169

Fonte: o autor (2017).

Devido a utilização de vigas com geometria tipo IPE, de aço A36, o quantitativo de aço por metro quadrado possui grande aumento em relação aos itens 4.2.1 e 4.2.2, no entanto, os quantitativos de fôrmas (e conseqüentemente o serviço de carpintaria) e concreto diminuem de forma significativa. A estabilidade global da estrutura deve ser verificada de forma crítica, uma vez que se fez necessária a utilização de travamentos com vigas inclinadas de forma a enrijecer o pórtico tridimensional misto de aço-concreto em ambas as direções de construção.

Na tabela 17 a sintetização dos valores encontrados:

Tabela 17 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VA36-LMC30A36).

Item	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (mm)	74,4	61,2

	Limite=38,2	Limite=38,2
Coeficiente Gama-Z	1,251	1,179
	limite=1,3	limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

Mesmo com o duplo enrijecimento executado no núcleo de escadas na direção X verifica-se a necessidade de majoração relacionada aos esforços de segunda ordem. O deslocamento no topo da edificação é pronunciado, porém não passa por identificação sensorial devido ao fato dos valores serem bastante pequenos se comparados com as dimensões verticais da edificação. Na quantificação dos materiais, mostrada abaixo, verifica-se a inserção dos perfis de aço referentes às vigas, porém é necessário que se perceba que os apoios das cortinas ainda são feitos com vigas de concreto devido a forma de análise do software de auxílio ao cálculo estrutural.

Tabela 18 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VA36-LMC30A36).

Materiais	Fundações	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Cortinas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	8041,3	37628	1735	25133	3440	3151
Vol. De concreto (m ³)	279,68	245	22,99	586,26	41,59	17,61
Área de Fôrmas (m ²)	142,59	2631,47	472,24	39,08	326,58	247,97
Chapas (kg)	-	-	-	44429	-	-
Laminados (kg)	-	-	155684	-	-	-

Fonte: o autor (2017).

Com base em cada um dos materiais e mão-de-obra envolvidos na construção dos elementos, os custos dos elementos e de toda a estrutura:

Tabela 19 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VA36-LMC30A36).

PC30-VA36-LMC30A36	
Elemento	Preço
Fundações	R\$ 293.112,21
Pilares	R\$ 565.939,18
Vigas	R\$ 651.865,83
Lajes	R\$ 865.520,75
Escadas	R\$ 73.781,61
Cortinas	R\$ 69.923,97
Total	R\$ 2.520.143,56

Fonte: o autor (2017).

Dos três modelos estruturais até aqui mostrados, essa é a composição que apresentou o menor preço, com decréscimo do valor em torno de 2,42% em relação ao modelo PC30-VC30-LMMC30, o que se converte em um valor de R\$ 62.602,47. Mesmo

com o uso de grande quantidade de aço, material reconhecidamente caro dentro da construção civil, a eliminação de grande quantidade de fôrmas e da mão-de-obra de execução se converte em uma diminuição no custo global da estrutura.

4.2.4 PC30-VA36-LMMC30

Para a execução dessa concepção estrutural basicamente se substitui as vigas de concreto do item 4.2.1 por vigas de aço, e devido a esse fator se faz necessária a execução do travamento do núcleo de escadas, assim como no caso PC30-VA26-LMC30A36. Devido a essas alterações foi encontrado um alto índice de aço por metro quadrado de construção, assim como o de fôrmas. Na tabela 20 a síntese de valores:

Tabela 20 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VA36-LMMC30).

Descrição	Valor
Área Total da Obra (m ²)	5416,45
kg de aço por m ² de obra (kg/m ²)	44,598
m ² de fôrmas por m ² de obra (m ² /m ²)	1,665
m ³ de concreto por m ² de obra (m ³ /m ²)	0,180

Fonte: o autor (2017).

Graças ao uso de lajes maciças, que apresentam maior carregamento de peso próprio e maior inércia, os valores do coeficiente gama-Z nas direções X e Y se reduzem em comparação com o modelo estrutural anterior (item 4.2.3):

Tabela 21 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VA36-LMMC30).

Item	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (mm)	56,8	54,6
	Limite=38,2	Limite=38,2
Coeficiente Gama-Z	1,185	1,161
	limite=1,3	limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

Os valores de deslocamento horizontal total no topo da estrutura também mostram redução quando comparados com a associação feita de vigas metálicas e lajes mistas. Os quantitativos também sofrem alterações, porém mais severas, devido à alta demanda de fôrmas e Nas tabelas 22 e 23 os quantitativos dos materiais de cada um dos elementos e a precificação da estrutura:

Tabela 22 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VA36-LMMC30).

Materiais	Fundações	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Cortinas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	8114,21	37105	1633	75049	3440	2710
Vol. De concreto (m ³)	280,05	246,58	23,38	23,38	41,59	17,61
Área de Fôrmas (m ²)	144,25	2651,1	933,98	4856,34	326,58	247,97
Chapas (kg)	-	-	-	-	-	-
Laminados (kg)	-	-	107476	-	-	-

Fonte: o autor (2017).

Tabela 23 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VA36-LMMC30).

PC30-VA36-LMMC30	
Elemento	Preço
Fundações	R\$ 294.023,95
Pilares	R\$ 562.602,97
Vigas	R\$ 480.657,56
Lajes	R\$ 966.838,86
Escadas	R\$ 73.781,61
Cortinas	R\$ 69.923,97
Total	R\$ 2.447.828,93

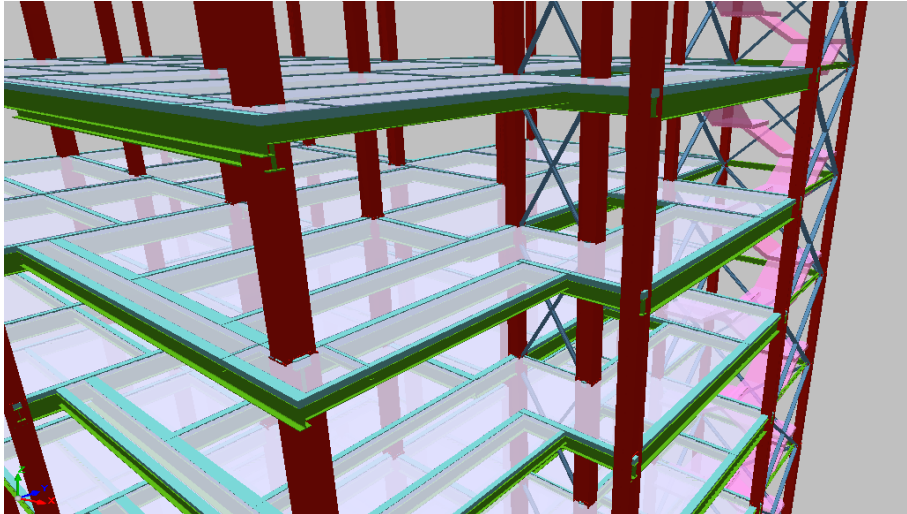
Fonte: o autor (2017).

Esse modelo, mesmo com o alto consumo de aço nas vigas, elimina a mão-de-obra das mesmas e parte dos escoramentos e, mesmo com esses inconvenientes se torna a mais barata até o momento e, comparada ao primeiro item (4.2.1) representa uma economia de 5,22%, o que se espelha em um valor de R\$ 134.917,10. Mesmo com uma opção de laje mais cara, as possibilidades de vãos maiores entre os apoios das lajes diminuem o preço geral quando se compara com o item 4.2.3 (anterior), com custos bastante similares nos demais itens, o que torna as estruturas similares em quase todos os aspectos.

4.2.5 PA36-VA36-LMC30A36

Esse é o primeiro modelo totalmente metálico, com toda a estrutura ligada por conexões soldadas e aço A36. Uma grande vantagem dessa estrutura é a possibilidade de sua rápida execução, que deve ser analisada para vibrações. A seguir a imagem tridimensional apresentada pelo CYPECAD, em um detalhe no qual se visualiza o travamento interno proposto em substituição ao pilar-parede, próximo ao fosso de elevadores:

Figura 38 - Detalhe do travamento interno da estrutura metálica.



Fonte: o autor (2017).

Nesse modelo estrutural destaca-se a utilização de pilares da família IPE, com dimensões diversificadas, em uma junção tipo caixa dupla soldada, com cordão contínuo, o que afeta a geometria de tal forma que a inércia seja melhorada, possibilitando o uso de perfis de menores dimensões e análise mais precisa do gama-Z. A utilização dor perfis de aço como pilares é vantajosa devido a sua veloz execução e aprimorado controle de qualidade, porém, mesmo com sua elevada resistência, devido à baixa inércia característica, sistemas cujo contraventamento sejam executados em aço devem possuir travamentos e verificações diversas.

É bastante comum o uso de contraventamentos de concreto em estruturas cujo os elementos são principalmente constituídos por aço, para que esses últimos trabalhem apenas os esforços normais. A utilização de uma estrutura quase totalmente de aço impacta os índices de construção de forma perceptível:

Tabela 24 - Índices de consumo de materiais por área construída (PA36-VA36-LMC30A36).

Descrição	Valor
Área Total da Obra (m ²)	5416,45
kg de aço por m ² de obra (kg/m ²)	79,017
m ² de fôrmas por m ² de obra (m ² /m ²)	1,190
m ³ de concreto por m ² de obra (m ³ /m ²)	0,123

Fonte: o autor (2017).

O consumo de aço por metro quadrado tem subida considerável, sendo, em média, 320,16% maior que o do modelo PC30-VC30-LMMC30. O consumo de mão-de-obra,

fôrmas e concreto, no entanto, tem baixa extremamente acentuada, já que os perfis vêm prontos para utilização da fábrica na qual foram encomendados.

A utilização de uma estrutura totalmente em aço, sem contraventamentos em concreto impacta ainda nos valores do coeficiente de estabilidade em ambas as direções, assim como nos deslocamentos da estrutura, ambos mostrados na tabela 25:

Tabela 25 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PA36-VA36-LMC30A36).

Item	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (mm)	112,6	77,4
	Limite=38,2	Limite=38,2
Coeficiente Gama-Z	1,238	1,188
	limite=1,3	limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

Verifica-se que os deslocamentos em ambas as situações são os mais pronunciados dentre os modelos estruturais até aqui discutidos, porém esperados em estruturas construídas totalmente em aço. Nessas modalidades estruturais é comum que os fechamentos do edifício sejam construídos de forma a aceitar tais deformações devido as ações provocadas pelo vento e em seguida retornar às suas posições iniciais.

O fato de a estrutura ser consideravelmente mais leve afeta diretamente as fundações, com menor consumo de materiais para esse elemento, devido ao menor peso próprio da edificação.

Tabela 26 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PA36-VA36-LMC30A36).

Materiais	Fundações	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Cortinas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	3219,84	-	1077	24919	3432	4217
Vol. De concreto (m ³)	220,63	-	21,18	585,92	42,42	17,52
Área de Fôrmas (m ²)	105,36	-	619,13	39,3	326,51	250,24
Chapas (kg)	-	-	-	44627	-	-
Laminados (kg)	-	167617	178883	-	-	-

Fonte: o autor (2017).

A verificação dos custos dos elementos e global é dado na tabela 27:

Tabela 27 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PA36-VA36-LMC30A36).

PA36-VA36-LMC30A36	
Elemento	Preço
Fundações	R\$ 194.338,62
Pilares	R\$ 645.325,45
Vigas	R\$ 726.142,99
Lajes	R\$ 842.972,03

Escadas	R\$	74.049,75
Cortinas	R\$	81.530,83
Total	R\$	2.564.359,67

Fonte: o autor (2017).

Essa estrutura, mesmo sendo costumeiramente classificada como uma modalidade estrutural de elevado valor é mais barata que a opção convencional, apresentando economia de 0,71%, o que significa a importância de R\$ 18.386,36 aliada com alta velocidade de execução. Como desvantagem marcante, a manutenção tem custo mais pronunciado e deve ser executada em menores intervalos de tempo.

As estruturas de aço necessitam de análise quanto às vibrações devido a grande esbeltez das peças e que os coeficientes presentes na norma 6118:2014 podem não representar com total coerência peças delgadas, sendo necessários ainda estudos mais aprofundados para construções em aço e mistas, constituindo essa, dentre outras, uma sugestão para estudos futuros. O valor do coeficiente gama-Z, mesmo que não seja completamente adequado para estruturas totalmente em aço é mantido nesse escrito como uma forma de comparação com os valores para as demais concepções estruturais. É bastante comum a utilização de outros coeficientes como o P- Δ para peças delgadas, principalmente de aço.

4.2.6 PA572-VA572-LMC30A572

O sistema estrutural para essa proposição é similar ao anterior, com diferenciação no uso de um aço com módulo de elasticidade mais elevado: aço A572 grau 50, com 345 MPa de resistência. A composição e críticas também são similares ao modelo PA36-VA36-LMC30A36, de forma que os resultados obtidos são os seguintes:

Tabela 28 - Índices de consumo de materiais por área construída (PA572-VA572-LMC30A572).

Descrição	Valor
Área Total da Obra (m ²)	5416,45
kg de aço por m ² de obra (kg/m ²)	79,017
m ² de fôrmas por m ² de obra (m ² /m ²)	1,190
m ³ de concreto por m ² de obra (m ³ /m ²)	0,123

Fonte: o autor (2017).

Com a mudança do tipo de aço empregado são alterados os deslocamentos e o coeficiente de estabilidade global, como pode ser visto:

Tabela 29 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PA572-VA572-LMC30A572).

Item	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (mm)	136,7	88,5
	Limite=38,2	Limite=38,2
Coeficiente Gama-Z	1,280	1,216
	limite=1,3	limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

Verifica-se a subida dos deslocamentos e dos valores do coeficiente de estabilidade global, influenciados principalmente pela utilização de perfis mais esbeltos devido a maior resistência do aço. Verifica-se as mesmas limitações comentadas no item 4.2.5 (anterior, de aço A36), e, mesmo com o uso do coeficiente gama-Z verifica-se a possibilidade de execução da edificação com a utilização do aço proposto.

A seguir o quantitativo de cada um dos elementos:

Tabela 30 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PA572-VA572-LMC30A572).

Materiais	Fundações	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Cortinas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	3219,84	-	1077	24919	3432	4217
Vol. De concreto (m ³)	220,63	-	21,18	585,92	42,42	17,52
Área de Fôrmas (m ²)	105,36	-	619,13	39,3	326,51	250,24
Chapas (kg)	-	-	-	44627	-	-
Laminados (kg)	-	167617	178883	-	-	-

Fonte: o autor (2017).

Com base no projeto estável encontram-se os preços de cada um dos elementos:

Tabela 31 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PA572-VA572-LMC30A572).

PA572-VA572-LMC30A572	
Elemento	Preço
Fundações	R\$ 183.448,11
Pilares	R\$ 524.161,68
Vigas	R\$ 740.547,29
Lajes	R\$ 867.449,20
Escadas	R\$ 74.045,60
Cortinas	R\$ 88.240,75
Total	R\$ 2.477.892,63

Fonte: o autor (2017).

A composição estrutural com esse tipo de aço apresentou uma grande economia, com valor em torno de 4,06% em relação a estrutura convêncional, o que representa a cifra de R\$ 104.853,40, aliada com alta velocidade de execução. A realidade é que a

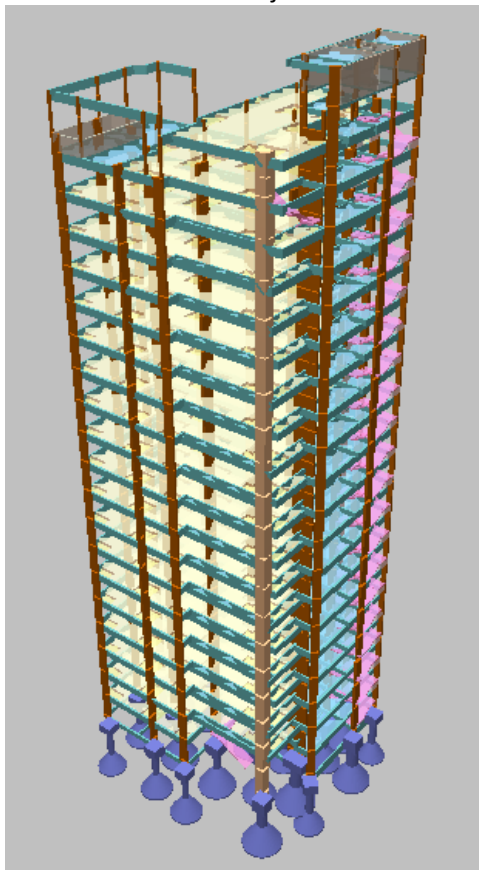
economia apresentada pode ser ainda maior com a execução de análise específica de estabilidade global para estruturas de aço e mistas, que leva em consideração os efeitos nas peças de aço, tanto globalizado quanto localizado.

A verificação das dimensões dos perfis executada inicialmente pelo coeficiente gama-Z pode fornecer um indicativo das dimensões das peças para inserção no software de cálculo que utilize elementos finitos, com resultados finais obtidos é então possível a verificação da estrutura como proposto em norma. O estudo detalhado com os parâmetros específicos propostos para aço pode baratear a estrutura mostrada.

4.2.7 PC30-VC30-LNVC30

Como última concepção estrutural investigada, manteve-se a utilização de concreto armado em todos os elementos da estrutura, variando-se apenas a geometria da laje, que se utilizou de vigas de bordo assim como proposto por Gouveia (2016) e lajes nervuradas lisas com capitéis nos pilares. A seguir a imagem do modelo estrutural utilizado, baseado no item 4.2.1 (PC30-VC30-LMMC30):

Figura 39 - Esquema estrutural com lajes nervuradas e vigas de bordo.



Fonte: o autor (2017).

Esse modelo estrutural é reconhecidamente um dos mais econômicos em relação a mão-de-obra e materiais, com índices sintetizados a seguir:

Tabela 32 - Índices de consumo de materiais por área construída (PC30-VC30-LNNC30).

Descrição	Valor
Área Total da Obra (m ²)	5416,45
kg de aço por m ² de obra (kg/m ²)	34,761
m ² de fôrmas por m ² de obra (m ² /m ²)	2,033
m ³ de concreto por m ² de obra (m ³ /m ²)	0,242

Fonte: o autor (2017).

A seguir os valores relacionados ao deslocamento horizontal do topo da estrutura e o coeficiente gama-Z:

Tabela 33 - Deslocamento máximo horizontal e coeficiente gama-Z (PC30-VC30-LNNC30).

Item	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (mm)	28,3	38,9
	Limite=38,2	Limite=38,2
Coeficiente Gama-Z	1,094	1,112
	limite=1,1	limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

Verifica-se grande similaridade de comportamento em relação a concepção PC30-VC30-LMM30, com deslocamentos reduzidos em relação a esse modelo e grande similaridade em relação aos valores do coeficiente gama-Z. A modalidade de laje adotada é bastante versátil, com menor uso de concreto e aço, o que conseqüentemente afeta toda a estrutura com a redução do peso próprio, como indica os quantitativos a seguir:

Tabela 34 - Quantitativo sintetizado para cada um dos elementos (PC30-VC30-LNNC30).

Materiais	Fundações	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Cortinas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	8091,77	39650	22042	30118	4295	2396
Vol. De concreto (m ³)	289,88	234,78	261,87	754,38	44,76	17,61
Área de Fôrmas (m ²)	142,03	2523,41	2959,25	4936,06	343,74	247,97

Fonte: o autor (2017).

A redução da quantidade de aço e concreto empregados, com utilização simultânea de fôrmas plásticas alugadas com grande quantidade de reutilizações afetam diretamente o custo, tanto com fôrmas quanto mão-de-obra e tempo de execução. Todos os quantitativos são reduzidos assim como o uso de materiais descartáveis tais como as madeiras utilizadas nas fôrmas.

O resultado final converte-se em um decréscimo de custos considerável, como pode ser visto a seguir:

Tabela 35 - Valores de construção de cada um dos elementos e custo global do sistema estrutural (PC30-VC30-LN/NC30).

PC30-VC30-LN/NC30	
Elemento	Preço
Fundações	R\$ 302.131,19
Pilares	R\$ 583.474,62
Vigas	R\$ 421.788,86
Lajes	R\$ 629.665,38
Escadas	R\$ 85.276,83
Cortinas	R\$ 61.862,80
Total	R\$ 2.084.199,68

Fonte: o autor (2017).

Como modelo mais econômico verificado, é perceptível o grande decréscimo de custo, em torno de 19,30% em relação ao edifício de mesmo material que utiliza laje maciça. Esse modelo estrutural não é apenas o mais barato, mais reflete os resultados propostos por Gerolla (2016), de forma que essa estrutura representa o custo total de edificação em torno de 22,44%, próximo a média proposta que se situa no intervalo entre 17 e 29%. Modelos estruturais como esse preveem utilização em grandes vãos apoiados, o que indica a possibilidade de re-concepção estrutural do edifício com adoção de menor número de pilares e uso de concretos com maiores resistências.

Existem críticas diversas quanto ao desempenho das lajes nervuradas de concreto em situação de incêndio, mas o fato é que a mesma é prevista em norma e, desde que as nervuras adotadas sejam suficientes para os vãos adotados a mesma pode ser liberada de verificação em situação de incêndio assim como as lajes maciças.

4.2.8 Comparativo Sintetizado Entre as Concepções Estruturais

Dentre as diferentes concepções estruturais abordadas verifica-se grandes alterações, tanto em relação às deformações horizontais do todo da edificação e valores do coeficiente gama-Z quanto em relação aos valores de construção da estrutura. Ambas as verificações são de fundamental importância para a escolha do sistema estrutural que será adotado. Como primeiro dos fatores observados, verifica-se a segurança e conforto dos usuários da edificação, de forma que se verifiquem comparativamente os parâmetros relacionados aos deslocamentos e estabilidade global:

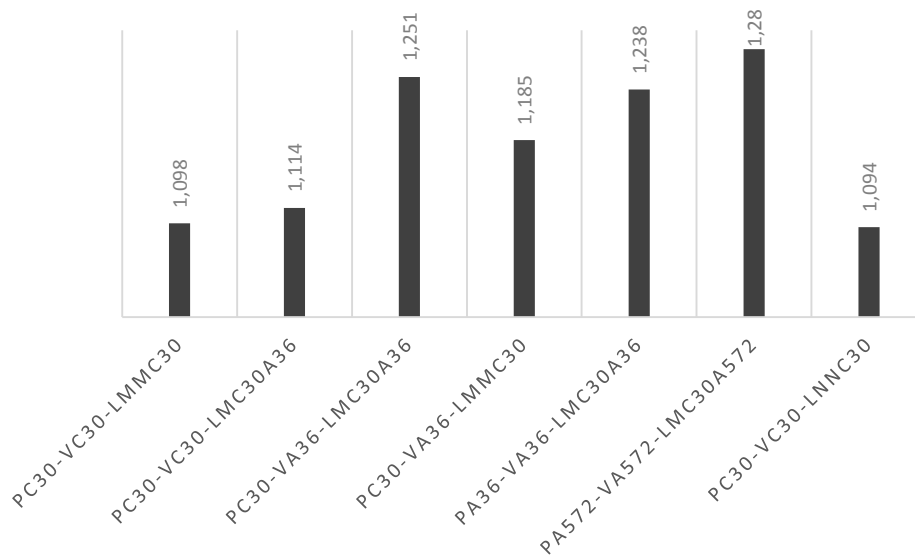
Tabela 36 - Tabela resumo das deformações e coeficiente de estabilidade global.

Concepção Estrutural	Item	Direção X	Direção Y
PC30-VC30-LMMC30	Deslocamento Total (mm)	31,2 Limite=38,2	41,12 Limite=38,2
	Coeficiente Gama-Z	1,098 limite=1,1	1,108 limite=1,3
PC30-VC30-LMC30A36	Deslocamento Total (mm)	35,4 Limite=38,2	54,0 Limite=38,2
	Coeficiente Gama-Z	1,114 limite=1,3	1,128 limite=1,3
PC30-VA36-LMC30A36	Deslocamento Total (mm)	74,4 Limite=38,2	61,2 Limite=38,2
	Coeficiente Gama-Z	1,251 limite=1,3	1,179 limite=1,3
PC30-VA36-LMMC30	Deslocamento Total (mm)	56,8 Limite=38,2	54,6 Limite=38,2
	Coeficiente Gama-Z	1,185 limite=1,3	1,161 limite=1,3
PA36-VA36-LMC30A36	Deslocamento Total (mm)	112,6 Limite=38,2	77,4 Limite=38,2
	Coeficiente Gama-Z	1,238 limite=1,3	1,188 limite=1,3
PA572-VA572-LMC30A572	Deslocamento Total (mm)	136,7 Limite=38,2	88,5 Limite=38,2
	Coeficiente Gama-Z	1,280 limite=1,3	1,216 limite=1,3
PC30-VC30-LMNC30	Deslocamento Total (mm)	28,3 Limite=38,2	38,9 Limite=38,2
	Coeficiente Gama-Z	1,094 limite=1,1	1,112 limite=1,3

Fonte: o autor (2017).

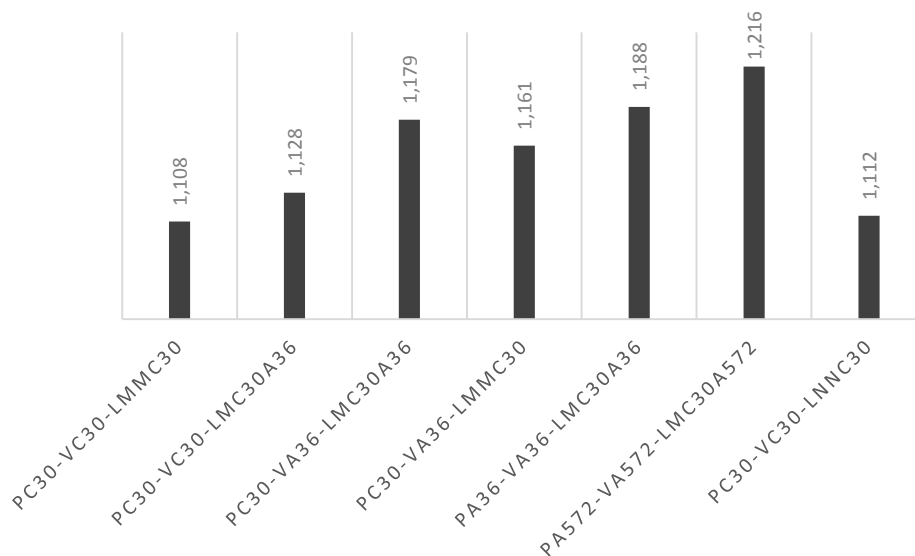
Verifica-se que as configurações com menores deformações e coeficientes gama-Z mais próximo ao recomendado para estruturas de nós móveis são fornecidas pelos modelos de concreto com lajes maciças e nervuradas, respectivamente. Como os valores estão bastante próximos, o critério de segurança estrutural é atendido pelas recomendações normativas, sendo necessário que se atribua o critério de desempate a questão de menor custo. Como modelo comparativo é possível criar-se gráficos que melhor ilustrem o comparativo correlacionado entre as concepções estruturais e os desempenhos relacionados aos coeficientes gama-Z em cada uma das direções:

Gráfico 1. Relação de valores no coeficiente gama-Z na direção X.



Fonte: o autor (2017).

Gráfico 2. Relação de valores do coeficiente gama-Z na direção Y.



Fonte: o autor (2017).

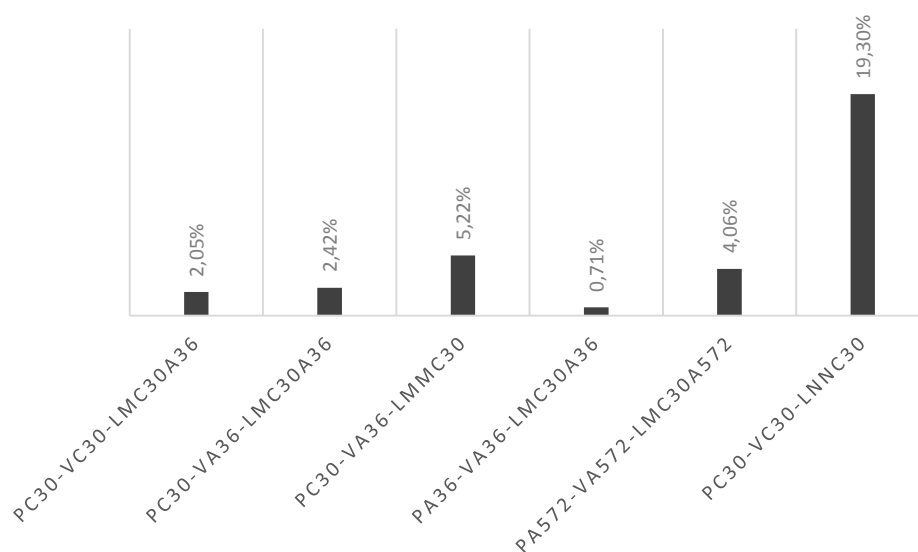
Na tabela 37 a representação conjunta dos preços de cada uma das estruturas, seguida do gráfico comparativo da redução percentual para cada uma dos sistemas estruturais utilizados:

Tabela 37 - Comparativo de custos entre as concepções estruturais.

Concepção Estrutural	Custo Total	Redução do Custo
PC30-VC30-LMMC30	R\$ 2.582.746,03	-
PC30-VC30-LMC30A36	R\$ 2.529.786,18	2,05%
PC30-VA36-LMC30A36	R\$ 2.520.143,56	2,42%
PC30-VA36-LMMC30	R\$ 2.447.828,93	5,22%
PA36-VA36-LMC30A36	R\$ 2.564.359,67	0,71%
PA572-VA572-LMC30A572	R\$ 2.477.892,63	4,06%
PC30-VC30-LNMC30	R\$ 2.084.199,68	19,30%

Fonte: o autor (2017).

Gráfico 3. Comparativo das reduções percentuais de gasto em relação ao sistema utilizado na execução.



Fonte: o autor (2017).

Verifica-se que a estrutura de concreto com laje maciça é a mais onerosa, apresentando ínfimas diferenças em relação ao sistema de lajes nervuradas quanto a estabilidade, porém com custo 19,3% maior. A economia do sistema de lajes nervuradas é devido a inúmeros fatores, mais dentre eles destacam-se o menor consumo de concreto e aço devido a grande inércia do sistema. A menor utilização de vigas diminui de forma considerável a mão de obra envolvida nesse aspecto, sendo o conjunto de fôrmas reutilizáveis de grande auxílio no decréscimo dos gastos e aumento da velocidade de execução. A redução do consumo de aço não afeta e forma considerável o peso próprio, porém o de concreto sim, e esse impactará ainda as vigas de bordo utilizadas e consequentemente nos pilares e fundações executados.

As estruturas metálicas padecem de dois pontos importante de observação: a economia tende a aumentar quando se executa análise de estabilidade mais aprofundada, levando em consideração o parâmetro $P-\Delta$, no entanto existe um custo que não é levado em consideração: a necessidade de aluguel de guindaste. Ou seja, existe uma economia de material que não é considerada devido a um estudo específico para essa modalidade estrutural e um custo com equipamento que depende de um planejamento de montagem que necessita de cronograma. A montagem pode ser extremamente agilizada, com execução de mais um pavimento diariamente e o decréscimo das quantidades materiais pode ser marcante, tanto nas vigas quanto nos pilares.

Em relação a uma escolha baseada apenas nos parâmetros de estabilidade global pelo coeficiente gama-Z e custo a escolha óbvia seria a última das opções apresentadas, porém a opção depende de funções e do mercado. Em um ambiente imobiliário aquecido o prazo de termino reduzido pode ser um diferencial ou até mesmo uma necessidade mercadológica que pode gerar aumento de lucros, e deve ser observada em um estudo de viabilidade do projeto. Estruturas de aço podem ser economicamente viáveis em edifícios comerciais onde o prazo de execução pode representar ganhos maiores que a economia construtiva, e então seria necessário a continuação das análises específicas para estruturas de aço, de forma que dentre elas se obtivesse a configuração ótima.

Para o edifício residencial apresentado, onde o prazo de execução muito pouco afeta os custos, a escolha do sistema mais barato e confiável afeta diretamente a escolha da concepção. Com base na opção mais barata de sistema estrutural (PC30-VC30-LN/C30) é possível realizar adequações a estrutura proposta até que essa atinja desempenho satisfatório em situação de incêndio, nesse caso observação quanto as exigências específicas de cobrimentos e dimensões mínimas das nervuradas. É necessário que se verifique que nenhuma das estruturas verificadas são resistentes à situação de incêndio: os elementos de concreto não apresentam dimensões e cobrimentos suficientes e os elementos de aço exigem verificações detalhadas, não podendo ser considerados resistentes quanto ao incêndio até que as aferições assim indiquem, porém esse é um tópico que exige estudo além daquele feito para estabilidade global e concepções estruturais.

Quanto ao projeto de maior viabilidade, a concepção ideal pode passar por muitos refinamentos, porém não há discussão quanto a sua clara vantagem em detrimento aos demais: apresenta grande economia, é versátil e seguro, possibilitando ainda qualquer ajuste necessário durante a execução e, depois de pronto, exige baixo custo de manutenção e longa vida útil. Na escolha desse sistema o projetista pode combinar materiais de resistência variados, principalmente para o concreto empregado, as combinações de fundação utilizadas e demais pormenores, até que se atinja a combinação ideal.

CONCLUSÃO

Conforme os resultados encontrados devem-se observar diversos aspectos quanto padrões de estabilidade apresentados, tanto para estruturas de concreto quanto para as de aço ou mistas de ambos os materiais.

As estruturas de concreto, apesar da cultura geral do meio técnico, não constituem as opções mais baratas. Mesmo que a estrutura mais barata tenha sido totalmente de concreto armado, com uso de lajes nervuradas (19,3% mais econômica que o sistema estrutural que foi executado), a mais cara também foi constituída em sua totalidade por concreto armado, com o uso de lajes maciças. Verificou-se que a utilização de fôrmas e a mão-de-obra envolvida na mesma, em conjunto com o emprego de maior quantidade de concreto e aço refletiu de forma negativa nos custos, sem grandes ganhos em termos de estabilidade estrutural.

As estruturas mistas mostraram serem viáveis, com vantagens em diversos aspectos, possuindo a possibilidade de redução significativa no prazo de execução e diferenças de custo, em relação a estrutura construída, que oscilaram entre 2,05 e 5,22%. A utilização de estruturas mistas de aço e concreto trazem ainda praticidade quanto a limpeza da obra e segurança dos colaboradores: a maioria das lajes mistas são autoportantes, ou seja, dispensam o uso de escoras e facilitam o trânsito durante a execução. A utilização de vigas de aço dentro da edificação pode representar ainda uma possibilidade arquitetônica e construtiva, desde que se averigüe a mesma em situação de incêndio. As lajes mistas têm verificação muito mais simples, com cálculo aproximado de uma espessura efetiva (devido as áreas com e sem nervuras) e então utilizar método tabular similar ao empregado nas estruturas de concreto.

As estruturas de aço mostraram ser opções de alta viabilidade, dentre outros devido a economia que ocasionam nas fundações. Para essas estruturas devem ser executadas verificações diferentes das necessárias para estruturas de concreto armado. O coeficiente gama-Z serviria apenas como parâmetro auxiliar de comparação e, na escolha dessa concepção estrutural executam-se as demais verificações, tanto o desenvolvimento das investigações pertinentes às estruturas de aço quanto a disposição sobre as precauções em situação de incêndio. Geralmente as estruturas de aço já contam com arquitetura destinada para esse sistema e, baseados em estudos como o que aqui se

desenvolveu, viabiliza-se um empreendimento nesse aspecto, com entendimento da necessidade de projeto específico para incêndio e estabilidade.

As estruturas de aço apresentaram economia de até 4,06% em relação a estrutura convencional de concreto armado, no entanto, existirão gastos com projeto e dentro no canteiro que tornarão os custos similares. A análise de viabilidade de projeto pode justificar a utilização desse sistema estrutural. Em edifícios projetados para fins comerciais é justificável pensar-se em ganhos com termos antecipados, o que justifica, por exemplo, o fato de grandes lojas de departamento manterem fábricas que trabalham exclusivamente na execução de unidades em todos os lugares do país: o aumento da agilidade de execução, mesmo com maiores gastos, é justificado por antecipação dos ganhos em valores que justificam tal investimento.

É fato que todos os projetos devem passar por estudo básico como o que foi aqui executado e, após a escolha do modelo estrutural mais atrativo, realizar as diversas adequações de acordo com as normas. A arquitetura deve sempre levar em conta a geometria estrutural e, dessa forma, o custo ótimo pode ser atingido com maior facilidade.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Devido a amplitude desse assunto sugere-se como temas para trabalhos futuros:

- Estudo de viabilidade de execução da estrutura metálica;
- Análise de cronogramas comparados para cada uma das concepções estruturais;
- Estudo de fundações para o atendimento em valor ótimo da estrutura PC30-VC30-LNNC30;
- Análise de vibrações e estabilidade específica para as estruturas metálicas;
- Estudo da variação do fck do concreto em relação a demanda de aço para o ponto ótimo de custos das estruturas de concreto.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. T. (1999). *Análise de Alternativas Estruturais Para Edifícios em Concreto Armado*. São Carlos: Escola de Engenharia - Universidade de São Carlos.

ALONSO, U. R. (2010). *Exercícios de Fundações*. São Paulo: Blucher.

ALVA, G. M. (2007). *Concepção Estrutural de Edifícios em Concreto Armado*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.

ANDRADE NETO, I. C. (2013). *Contribuição à análise de estabilidade global em edifícios de concreto armado com redução brusca de rigidez entre pavimentos*. Brasília/DF: Universidade de Brasília.

ANTUNES, B. (Agosto de 2004). *Debates Técnicos: Fôrmas*. Acesso em 22 de Junho de 2017, disponível em Construção Mercado: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/37/formas-283415-1.aspx>

ARAÚJO, J. M. (2010). *Curso de Concreto Armado, vol. 2*. Cidade Nova/RS: Dunas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL - ABECE. (s.d.). *Recomendações Para Elaboração de Projetos Estruturais de Edifícios de Concreto*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1999). *NBR 14323: Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2004). *NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio - procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2006). *NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios - procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2008). *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2014). *NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

BASTOS, P. S. (2015). *Estruturas de Concreto Armado - Notas de Aula*. Bauru/SP: Universidade Estadual Paulista.

CARINI, M. R. (2014). *Estruturas Mistas de Aço e Concreto: Projeto de Edifício Comercial*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CARMO, R. M. (1995). *Efeitos de Segunda Ordem em Edifícios Usuais de Concreto Armado*. São Carlos/SP: Universidade de São Paulo.

- CARVALHO, R. C. (2012). *Estruturas em Concreto Protendido*. São Paulo: PINI.
- CARVALHO, R. C., & FIGUEIREDO FILHO, J. R. (2015). *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado - vol. 1*. São Carlos: EdufScar.
- CARVALHO, R. C., & PINHEIRO, L. M. (2009). *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado - vol. 2*. São Paulo: PINI.
- CASARIL, C. C., TÖWS, R. L., & MENDES, C. M. (Junho de 2011). *Vitruvius - arquitextos*. Fonte: Arranha-Céus: evolução e materialidade na urbanização mundial: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.133/3947>
- CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. (s.d.). Acesso em 25 de Junho de 2017, disponível em CUB/m²: <http://www.cub.org.br/>
- CLÍMACO, J. C. (2016). *Estruturas de Concreto Armado*. Brasília/DF: Elsevier.
- CYPE Ingenieros. (20 de Agosto de 2017). *Gerador de Preços*. Fonte: CYPA Brasil: http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Aco/Vigas/Aco_em_vigas.html
- ENGEL, H. (2006). *Sistemas Estruturais*. Barcelona: Gustavo Gili.
- FUSCO, P. B. (1981). *Estruturas de Concreto: solicitações normais*. Rio de Janeiro - RJ: Guanabara Dois.
- GEROLLA, G. (28 de Novembro de 2016). *Qual o percentual médio do orçamento correspondente a cada etapa da obra*. Acesso em 25 de Junho de 2017, disponível em Construção e Reforma: <https://estilo.uol.com.br/casa-e-decoracao/listas/qual-percentual-medio-do-orcamento-corresponde-a-cada-etapa-da-obra.htm>
- GOUVEIA, J. M. (2016). *A Influência da Concepção Estrutural na Estabilidade Global em Edifícios de Concreto Armado*. Barreiras/BA: Universidade Federal do Oeste da Bahia.
- NEUFERT, E., & KISTER, J. (2015). *NEUFERT: a arte de projetar em arquitetura*. São Paulo/SP: Gustavo Gili.
- PFEIL, W., & PFEIL, M. (2008). *Estruturas de Aço*. Rio de Janeiro: LTC.
- PINHEIRO, L. M. (2003). *Fundamentos de Concreto e Projeto de Edifícios (2ª ed.)*. São Carlos: USP - EESC - Departamento de Engenharia de Estruturas.
- PINI. (2010). *TCPO - Tabelas de Composições de Preços e Orçamentos: engenharia civil, construção e arquitetura*. São Paulo: PINI.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. (16 de Dezembro de 1964). *Lei 4.591*. Acesso em 25 de Junho de 2017, disponível em Casa Civil - Subchefia de Assuntos Jurídicos: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4591.htm
- QUEIROZ, G., PIMENTA, R. J., & MARTINS, A. G. (2012). *Estruturas Mistas - vol. 1*. Rio de Janeiro: CBCA.

QUEIROZ, G., PIMENTA, R. J., & MARTINS, A. G. (2012). *Estruturas Mistas - vol. 2*. Rio de Janeiro: CBCA.

REBELLO, Y. C. (2008). *FUNDAÇÕES: guia prático de projeto, execução e dimensionamento*. São Paulo: Zigurate.

SINDUSCON - BA. (Janeiro de 2017). *CUB/m² Estadual*. Acesso em 25 de Junho de 2017, disponível em CUB/m²: <http://www.cub.org.br/cub-m2-estadual/BA/>

SOUZA, W. D. (2014). *Análise de Viabilidade da Utilização de Lajes Lisas Planas em Edifícios na Cidade de Barreiras/BA*. Barreiras/BA: Universidade Federal do Oeste da Bahia.

SPOHR, V. H. (2008). *Análise Comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.

VAN ACKER, A. (2002). *Manual de Estruturas Pré-Moldadas de Concreto Armado*. FIP.

APÊNDICE A

Tabela 38 - Orçamento de fundações (PC30-VC30-LMMC30).

FUNDAÇÕES			
Escavação manual para tubulão a céu aberto			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Poceiro	h	27,1	71058,91
Servente	h	13,78	36132,54
Escavação manual de vala em solo de 1ª categoria profundidade até 2 m			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Servente	h	13,78	4822,45
Concreto estrutural dosado em central, fck 20 MPa, abatimento 8±1 cm			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto usinado fck 20 MPa brita 1 e 2 abatimento 8±1	m ³	260,82	95769,19
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	11361,23
Servente	h	13,78	21684,90
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	h pro d	1,13	256,85
Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, 10 aproveitamentos			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos - fabricação	m ²	31,13	545,02
Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos - montagem	m ²	6,79	1188,79
Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos - desmontagem	m ²	2,14	374,67
Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte, dobra e montagem			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	75,96
Armador	h	19,58	53,09
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	65,64
Aço CA-60 Ø 7,00 mm, em barra, massa nominal 0,302 kg/m	kg	3,56	132,71

Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	6,30
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	34,91

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	6456,67
Armador	h	19,58	4512,23
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	4269,11
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	11882,64
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg h	9,29	669,03
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	2967,06

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø >12,5 mm até 25,0 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	21535,23
Armador	h	19,58	15049,87
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	1394,62
Aço CA-50 Ø 25,0 mm, em barra, massa nominal 4,00 kg/m	kg	3,43	22239,72
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg h	9,29	1848,13
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	9961,60

Fonte: o autor (2017).

Tabela 39 - Orçamento de pilares (PC30-VC30-LMMC30).

PILARES			
Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	76385,17
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	7503,54
Servente	h	13,78	14321,83
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	h pro d	1,13	169,64
Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e			

montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	45508,04
Armador	h	19,58	31803,25
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	30089,64
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	83751,53
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	4715,46
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	20912,50

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø >12,5 mm até 25,0 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	50375,67
Armador	h	19,58	35204,98
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	3262,34
Aço CA-50 Ø 25,0 mm, em barra, massa nominal 4,00 kg/m	kg	3,43	52023,63
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	4323,18
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	23302,40

Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	901,04
Armador	h	19,58	629,69
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	778,67
Aço CA-60 Ø 7,00 mm, em barra, massa nominal 0,302 kg/m	kg	3,56	1574,23
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	74,69
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	414,06

Forma para pilares, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 aproveitamentos

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para pilares, com chapa compensada plastificada, e=12mm - fabricação	m ²	69,8	57315,88
Forma para pilares, com chapa compensada plastificada, e=12mm	m ²	3,96	9766,39

- montagem

Forma para pilares, com chapa compensada plastificada, e=12mm

- desmontagem

m² 1,04 2564,91

Fonte: o autor (2017).

Tabela 40 - Orçamento de vigas (PC30-VC30-LMMC30).

VIGAS			
Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
			111072,0
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	3
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	10910,94
Servente	h	13,78	20825,44
	h		
	pro		
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	d	1,13	246,67
Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	26662,57
Armador	h	19,58	18633,11
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	17629,13
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	49068,94
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	2762,73
	h		
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro	17,25	12252,37
	d		
Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø >12,5 mm até 25,0 mm, corte, dobra e montagem			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	31795,89
Armador	h	19,58	22220,52
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	2059,11
Aço CA-50 Ø 25,0 mm, em barra, massa nominal 4,00 kg/m	kg	3,43	32836,04
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	2728,69
	h		
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro	17,25	14707,90
	d		
Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte,			

dobra e montagem			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	14868,78
Armador	h	19,58	10391,03
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	12849,48
Aço CA-60 Ø 7,00 mm, em barra, massa nominal 0,302 kg/m	kg	3,56	25977,57
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	1232,54
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	6832,71

Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 aproveitamentos

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - fabricação	m ²	69,8	92831,72
Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - montagem	m ²	4,28	17096,37
Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - desmontagem	m ²	1,47	5871,89

**Escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalipto Ø 10cm para
altura entre 2,2 e 3 m**

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Fabricação de escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalipto	m ²	29,08	2746,32
Montagem de escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalipto	m ²	0,79	74,61
Desmontagem de escoramento em madeira de vigas de edificação	m ²	0,16	15,11

Fonte: o autor (2017).

Tabela 41 - Orçamento de lajes (PC30-VC30-LMMC30).

LAJES			
Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	196873,05
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	19339,43
Servente	h	13,78	36912,69
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	pro	1,13	437,23

d

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
			112540,6
Ajudante de armador	h	16,01	9
Armador	h	19,58	78648,94
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	74411,22
			207116,2
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	5
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	11661,27
	h		
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	51716,30
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 reaproveitamentos			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - fabricação	m ²	69,8	111880,6
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - montagem	m ²	3,79	18245,59
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - desmontagem	m ²	0,79	3803,17
Escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes 7,5 x 7,5cm para altura de 2,7 a 3 m			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Fabricação de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	m ²	37,1	40627,47
Montagem de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	m ²	0,75	821,31
Desmontagem de escoramento em madeira de lajes de edificação	m ²	0,03	32,85

Tabela 42 - Orçamento de escadas (PC30-VC30-LMMC30).

ESCADAS			
Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	14803,43
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)

Pedreiro	h	19,69	1454,19
Servente	h	13,78	2775,57
	h		
	pro		
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	d	1,13	32,88

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	9626,81
Armador	h	19,58	6727,69
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	6365,19
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	17716,88
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	997,51
	h		
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	4423,85

Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 aproveitamentos

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - fabricação	m ²	141,75	16224,53
Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - montagem	m ²	8,95	3076,47
Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - desmontagem	m ²	3,06	1051,84

Fonte: o autor (2017).

Tabela 43 - Orçamento de cortinas (PC30-VC30-LMMC30).

CORTINAS

Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	5824,14

Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	572,12
Servente	h	13,78	1092,00
	h		
	pro		
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	d	1,13	12,93

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário	Preço Total
-----------	-------	----------------	-------------

		(R\$)	(R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	5226,94
Armador	h	19,58	3652,84
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	3456,02
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	9619,50
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	541,61
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	h pro d	17,25	2401,96

Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm - fabricação	m ²	110	27276,70
Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm - montagem	m ²	4,67	1158,02
Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm - desmontagem	m ²	1,39	344,68

Fonte: o autor (2017).

Tabela 44 - Orçamento de fundações (PA36-VCA36-LMC30A36).

FUNDAÇÕES			
Escavação manual para tubulão a céu aberto			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Poceiro	h	27,1	48584,88
Servente	h	13,78	24704,78
Escavação manual de vala em solo de 1ª categoria profundidade até 2 m			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Servente	h	13,78	2279,21
Concreto estrutural dosado em central, fck 20 MPa, abatimento 8±1 cm			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto usinado fck 20 MPa brita 1 e 2 abatimento 8±1	m ³	260,82	60421,95
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	7167,94
Servente	h	13,78	13681,27
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	h pro d	1,13	162,05

Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, 10 aproveitamentos

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos - fabricação	m ²	31,13	327,99
Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos - montagem	m ²	6,79	715,39
Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos - desmontagem	m ²	2,14	225,47

**Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte,
dobra e montagem**

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	58,43
Armador	h	19,58	40,84
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	50,50
Aço CA-60 Ø 7,00 mm, em barra, massa nominal 0,302 kg/m	kg	3,56	102,09
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	4,84
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	26,85

**Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e
montagem**

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	4711,85
Armador	h	19,58	3292,87
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	3115,45
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	8671,53
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	488,23
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	2165,26

**Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø >12,5 mm até 25,0 mm, corte,
dobra e montagem**

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	3988,07
Armador	h	19,58	2787,06
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	un	0,13	258,27
Aço CA-50 Ø 25,0 mm, em barra, massa nominal 4,00 kg/m	kg	3,43	4118,53
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	342,25

Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	h pro d	17,25	1844,77
---	---------------	-------	---------

Tabela 45 - Orçamento de pilares (PA36-VCA36-LMC30A36).

PILARES			
Aço A 36 em pilares, com peças simples de perfis laminados a quente com ligações soldadas.			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Aço laminado A 36, em perfis laminados a quente, peças simples, para aplicações estruturais, segundo ASTM A 36.	kg	2,24	393899,95
Tinta de fundo de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	l	13,35	112303,39
Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	h	6,63	16761,70
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	14,81	56989,78
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	9,2	35199,57
Meios auxiliares	%	3,67	11733,19
Custos indiretos	%	3,74	18437,87

Fonte: o autor (2017).

Tabela 46 - Orçamento de vigas (PA36-VCA36-LMC30A36).

VIGAS			
Aço A 36 em vigas, com peças simples de perfis laminados a quente das séries IPN, IPE, UPN, HEA, HEB ou HEM com ligações soldadas.			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Aço laminado A 36, em perfis laminados a quente, peças simples, para aplicações estruturais, segundo ASTM A 36.	kg	2,24	420375,05
Tinta de fundo de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	l	13,35	119851,61
Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	h	6,63	17888,30
Oficial de 1ª montador de estrutura metálica.	h	14,81	60820,22
Ajudante de montador de estrutura metálica.	h	9,2	37565,43
Meios auxiliares	%	3,67	12521,81
Custos indiretos	%	3,74	19677,13
Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	7004,84
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	688,11
Servente	h	13,78	1313,37

	h		
	pro		
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	d	1,13	15,56

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	1315,70
Armador	h	19,58	919,48
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	869,93
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	2421,38
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	136,33
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	h pro d	17,25	604,61

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø >12,5 mm até 25,0 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	280,59
Armador	h	19,58	196,09
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	18,17
Aço CA-50 Ø 25,0 mm, em barra, massa nominal 4,00 kg/m	kg	3,43	289,77
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	24,08
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	h pro d	17,25	129,79

Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	805,78
Armador	h	19,58	563,12
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	696,35
Aço CA-60 Ø 7,00 mm, em barra, massa nominal 0,302 kg/m	kg	3,56	1407,80
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	66,80
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	h pro d	17,25	370,29

Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 aproveitamentos

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm -	m ²	25,6	5277,96

fabricação			
Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - montagem	m ²	4,28	2649,88
Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - desmontagem	m ²	1,47	910,12

Escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalipto Ø 10cm para altura entre 2,2 e 3 m

Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Fabricação de escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalipto	m ²	29,08	8199,69
Montagem de escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalipto	m ²	0,79	222,76
Desmontagem de escoramento em madeira de vigas de edificação	m ²	0,16	45,12

Fonte: o autor (2017).

Tabela 47 - Orçamento de lajes (PA36-VCA36-LMC30A36).

LAJES			
Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
			193780,7
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	4
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	19035,66
Servente	h	13,78	36332,90
	h		
	pro		
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	d	1,13	430,36
Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem			
Descrição	Uni d.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	55853,45
Armador	h	19,58	39033,12
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	36929,96
			102790,8
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	8
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	5787,44
	h		
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	25666,57
Laje pré-fabricada steel deck para piso com capa de concreto fck = 25 MPa, espessura da laje 13 cm, espessura da chapa 0,95 mm			

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Montador	h	20,86	21743,05
Chapa de aço com nervuras trapezoidais para laje # 0,95 mm	m ²	58,14	303005,9

Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 reaproveitamentos

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - fabricação	m ²	69,8	913,33
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - montagem	m ²	3,79	148,95
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - desmontagem	m ²	0,79	31,05

Escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes 7,5 x 7,5cm para altura de 2,7 a 3 m

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Fabricação de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	m ²	37,1	1458,03
Montagem de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	m ²	0,75	29,48
Desmontagem de escoramento em madeira de lajes de edificação	m ²	0,03	1,18

Fonte: o autor (2017).

Tabela 48 - Orçamento de escadas (PA36-VCA36-LMC30A36).

ESCADAS

Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	14029,52

Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	1378,16
Servente	h	13,78	2630,46
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	h pro d	1,13	31,16

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	7692,48
Armador	h	19,58	5375,88

Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	5086,22
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	14157,00
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	797,08
	h		
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	3534,96

Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 aproveitamentos

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - fabricação	m ²	141,75	15414,58
Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - montagem	m ²	8,95	2922,89
Forma para escadas, com chapa compensada plastificada, e=12mm - desmontagem	m ²	3,06	999,33

Fonte: o autor (2017).

Tabela 49 - Orçamento de cortinas (PA36-VCA36-LMC30A36).

CORTINAS

Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	5794,37

Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	569,20
Servente	h	13,78	1086,42
	h		
	pro		
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	d	1,13	12,87

Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	9451,98
Armador	h	19,58	6605,51
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	6249,59
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	17395,13
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	979,40
	h		
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	pro d	17,25	4343,51

Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm - fabricação	m ²	110	27526,40
Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm - montagem	m ²	4,67	1168,62
Forma de madeira para cortina de concreto ou parede estrutural, compensado plastificado e = 12 mm - desmontagem	m ²	1,39	347,83

Fonte: o autor (2017).

Tabela 50 - Orçamento de lajes (PC30-VC30-LNNC30).

LAJES			
Concreto estrutural dosado em central, auto-adensável, fck 30 MPa			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Concreto dosado em central auto-adensável (resistência: 30 MPa)	m ³	314,98	23223,79
Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão motor elétrico			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pedreiro	h	19,69	2281,34
Servente	h	13,78	4354,34
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP 0,75 KW	h prod	1,13	51,58
Armadura de aço CA-50 para estruturas de concreto armado, Ø até 12,5 mm, corte, dobra e montagem			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Ajudante de armador	h	16,01	89218,93
Armador	h	19,58	62350,55
Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobertura 3 cm	un	0,13	58991,01
Aço CA-50 Ø 12,5 mm, em barra, massa nominal 0,963 kg/m	kg	3,75	3
Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	kg	9,29	9244,71
Dobradora para ferro, elétrica, 5 HP 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	h prod	17,25	40999,15
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 3 reaproveitamentos			
Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - fabricação	m ²	69,8	13991,64
Forma para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - montagem	m ²	3,79	2281,77

Forma para lajes, com chapa compensada plastificada,
e=12mm - desmontagem m² 0,79 475,62

Escoramento em madeira para lajes de edificação, com puntaletes 7,5 x 7,5cm para altura de 2,7 a 3 m

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Fabricação de escoramento em madeira para lajes de edificação, com puntaletes	m ²	37,1	3839,11
Montagem de escoramento em madeira para lajes de edificação, com puntaletes	m ²	0,75	77,61
Desmontagem de escoramento em madeira de lajes de edificação	m ²	0,03	3,10

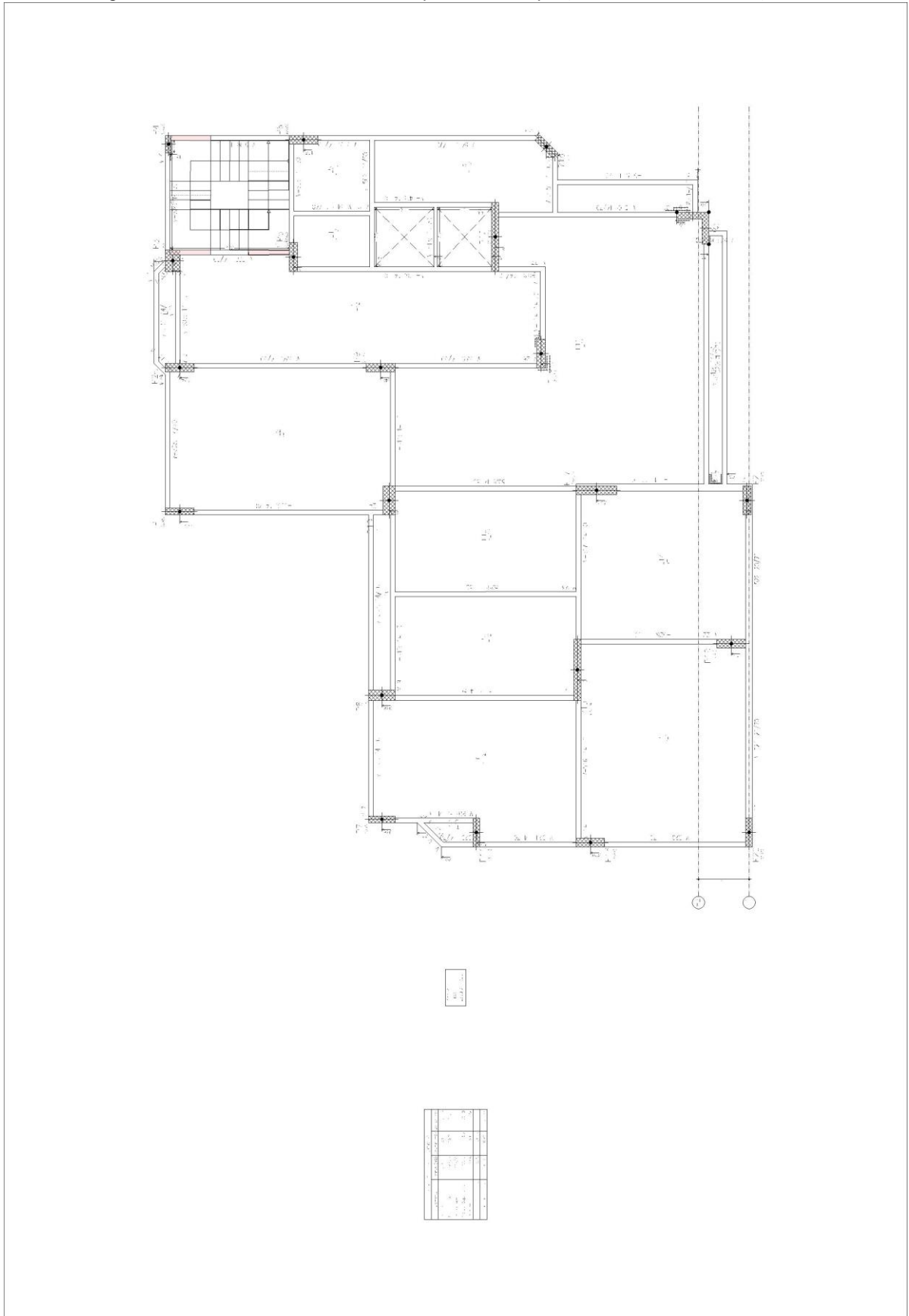
Laje nervurada com Forma de polipropileno com capa de concreto com 25 MPa, lançamento e adensamento, espessura da laje 23 cm, dimensões da Forma de polipropileno 18 x 57 x 60 cm, capeamento 5 cm

Descrição	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Carpinteiro	h	19,58	67887,93
Servente	h	16,04	24331,13
Forma de polipropileno para laje nervurada 57 x 60 x 15 cm	loc/un /dia	241,04	58501,51
Perfil cartola de chapa #13 de aço galvanizado dobrada abas de 2,5 cm x 7,5 cm de largura	loc/m/ dia	0,1	650,10
Desmoldante de formas de madeira para concreto	l	5,22	2714,82

Fonte: o autor (2017).

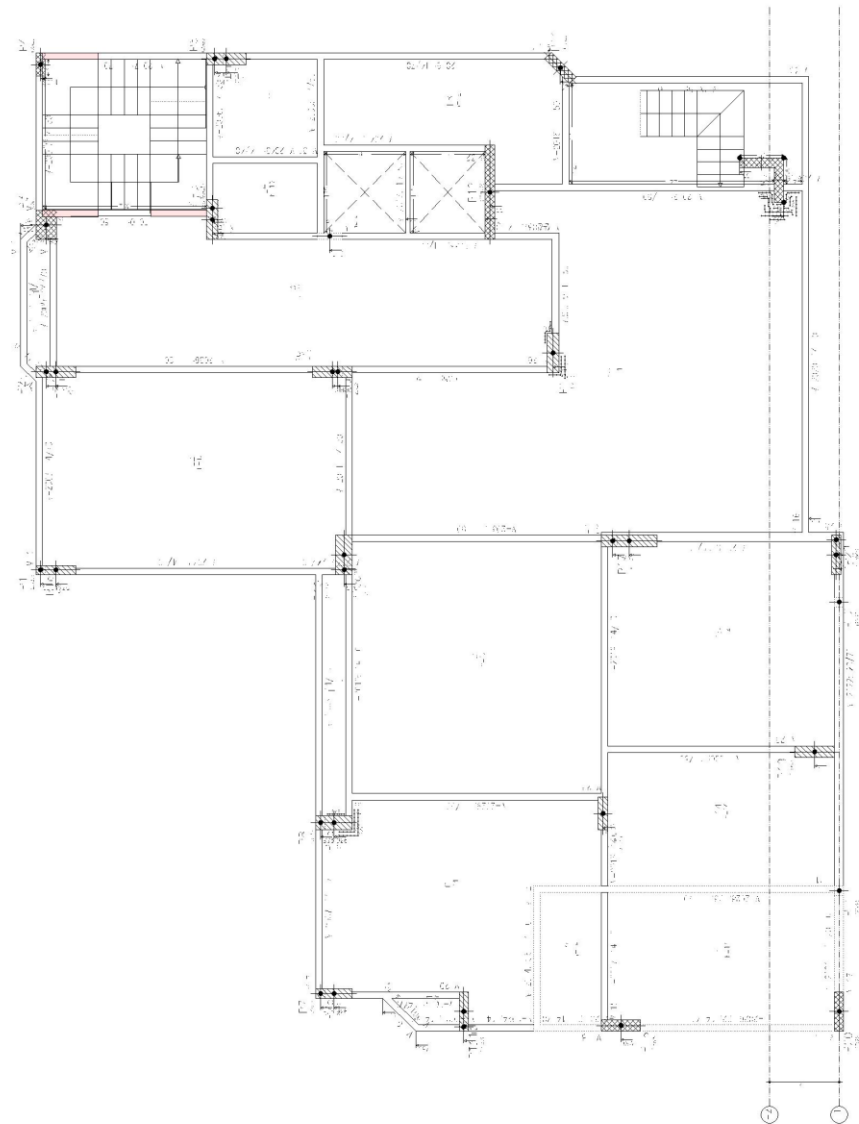
APÊNDICE B

Figura 40 - Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LMMC30).



Fonte: o autor (2017).

Figura 41 - Planta de fôrmas da estrutura de suporte da piscina (PC30-VC30-LMMC30).

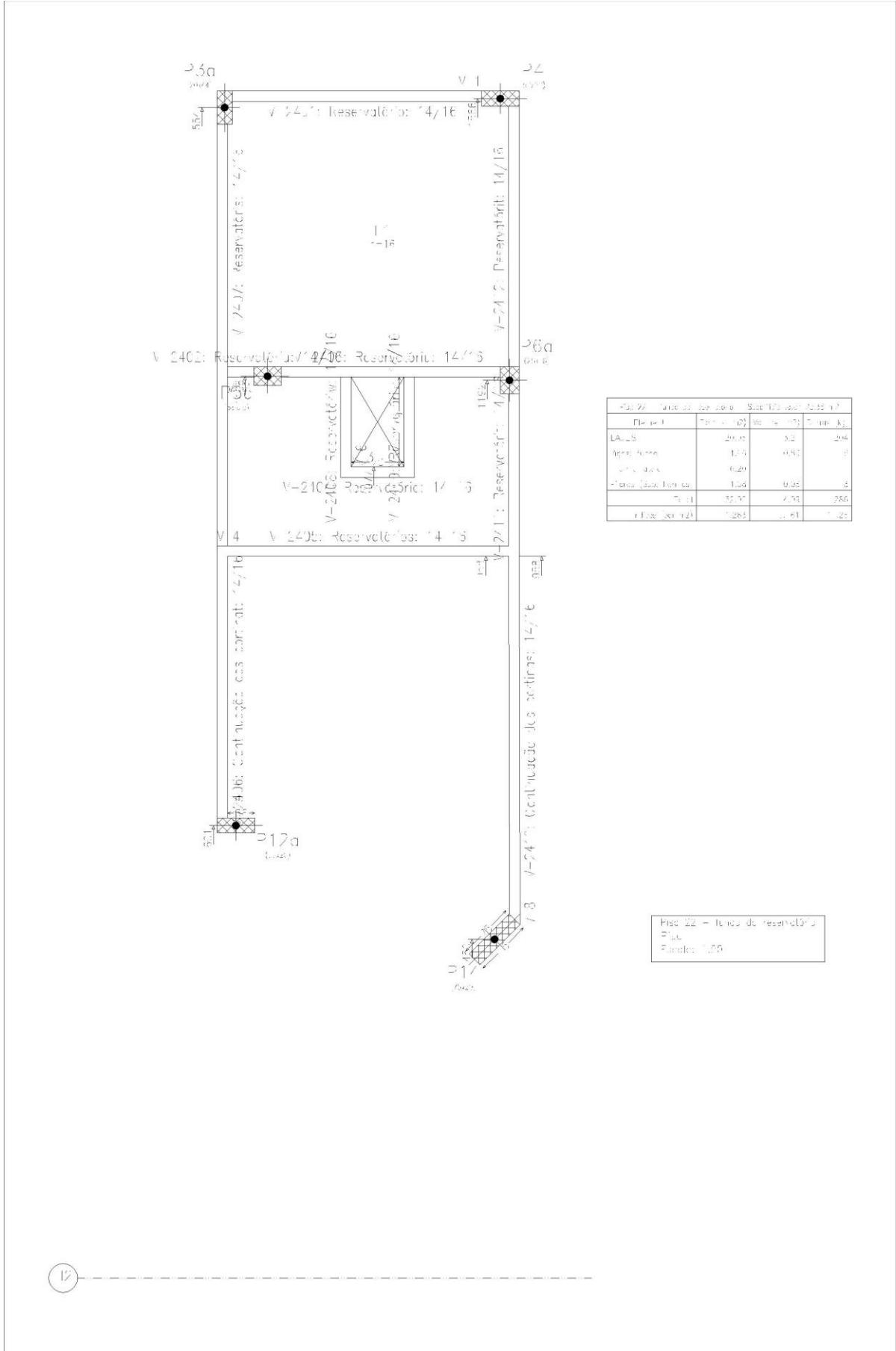


FORMA DE SUporte

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Forma de Suporte	1	m ²
2	Forma de Suporte	1	m ²
3	Forma de Suporte	1	m ²
4	Forma de Suporte	1	m ²
5	Forma de Suporte	1	m ²
6	Forma de Suporte	1	m ²
7	Forma de Suporte	1	m ²
8	Forma de Suporte	1	m ²
9	Forma de Suporte	1	m ²
10	Forma de Suporte	1	m ²

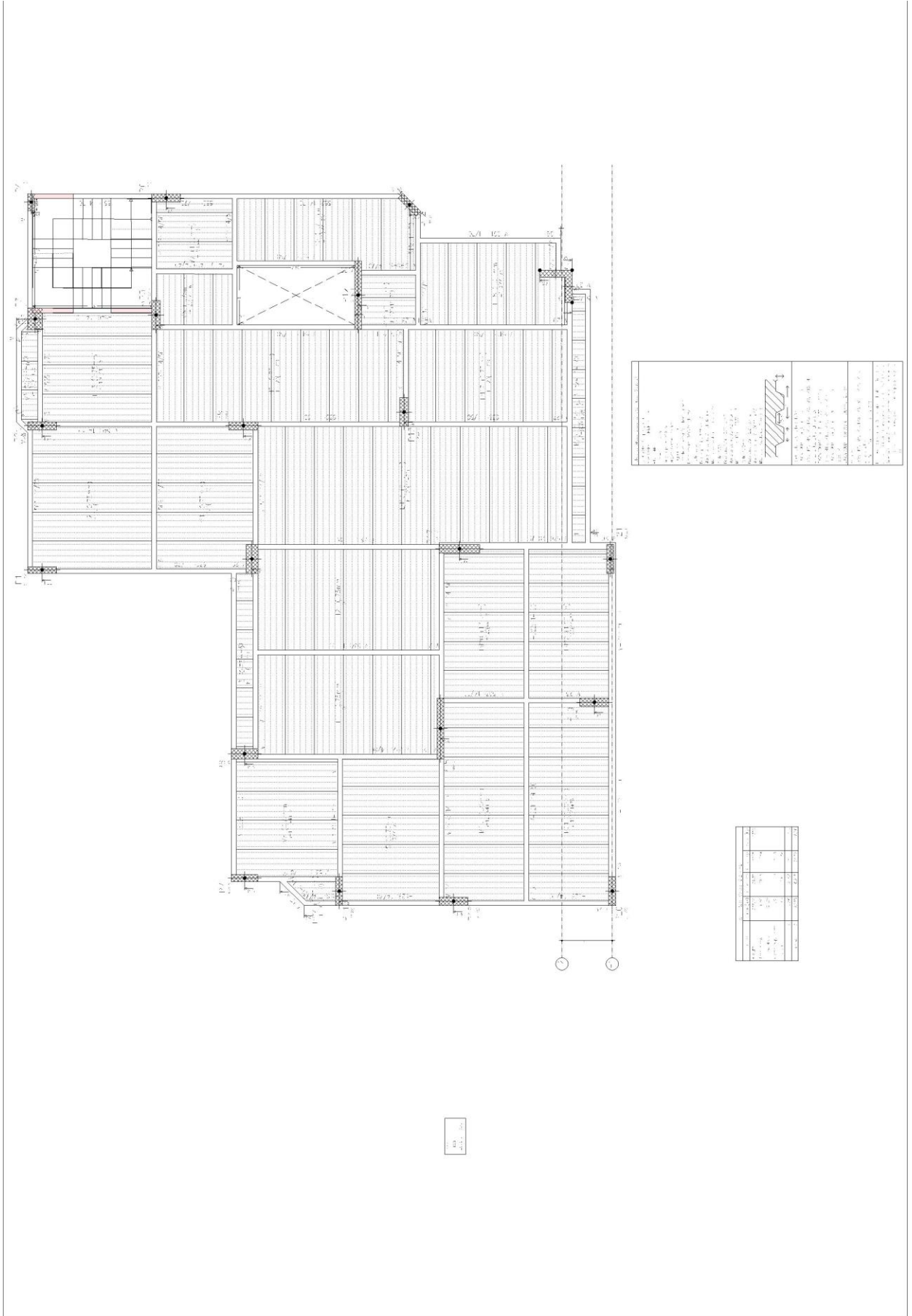
Fonte: o autor (2017).

Figura 42 - Planta de fôrmas do reservatório (PC30-VC30-LMMC30).



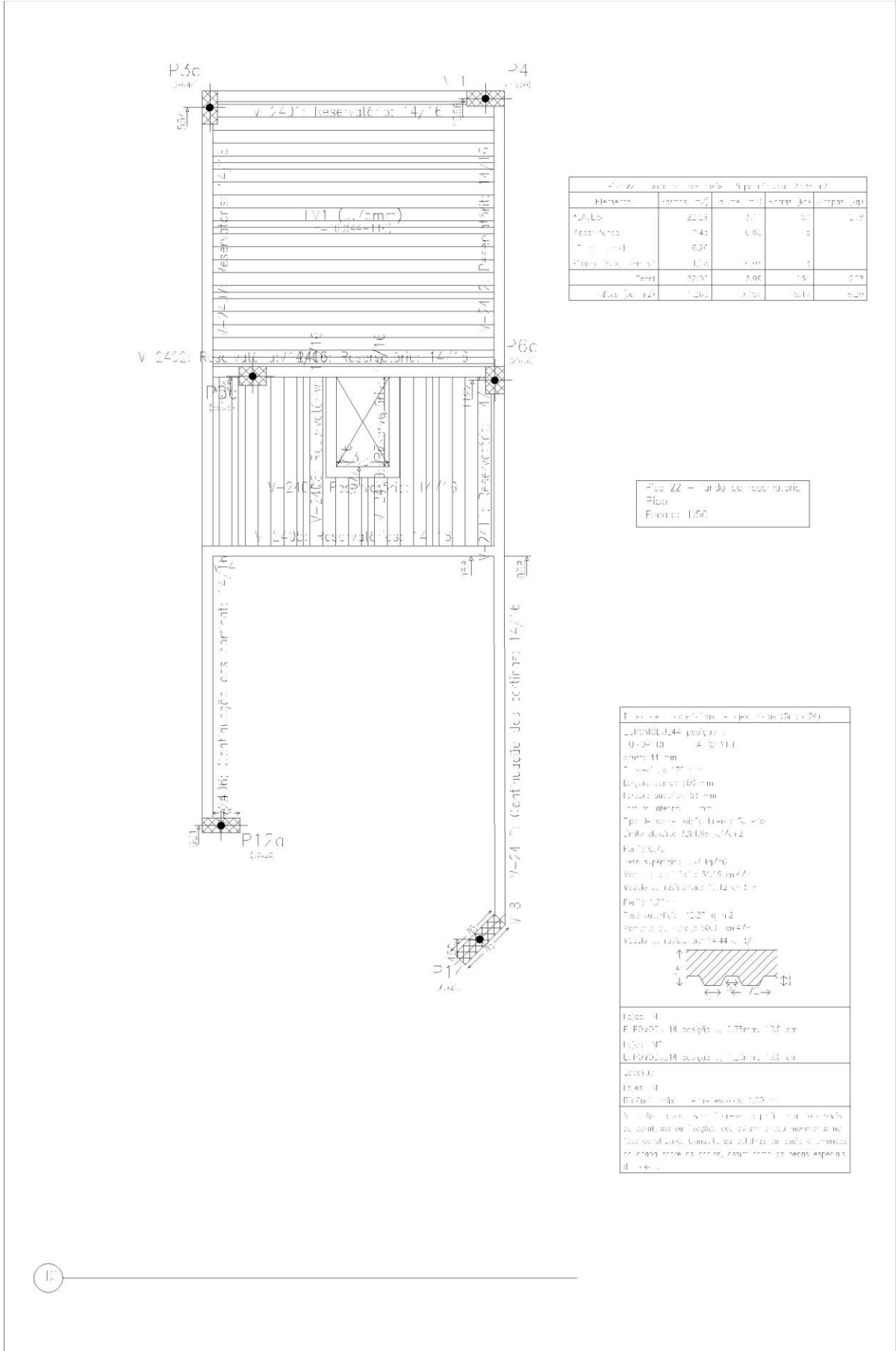
Fonte: o autor (2017).

Figura 43 - Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LMC30A36).



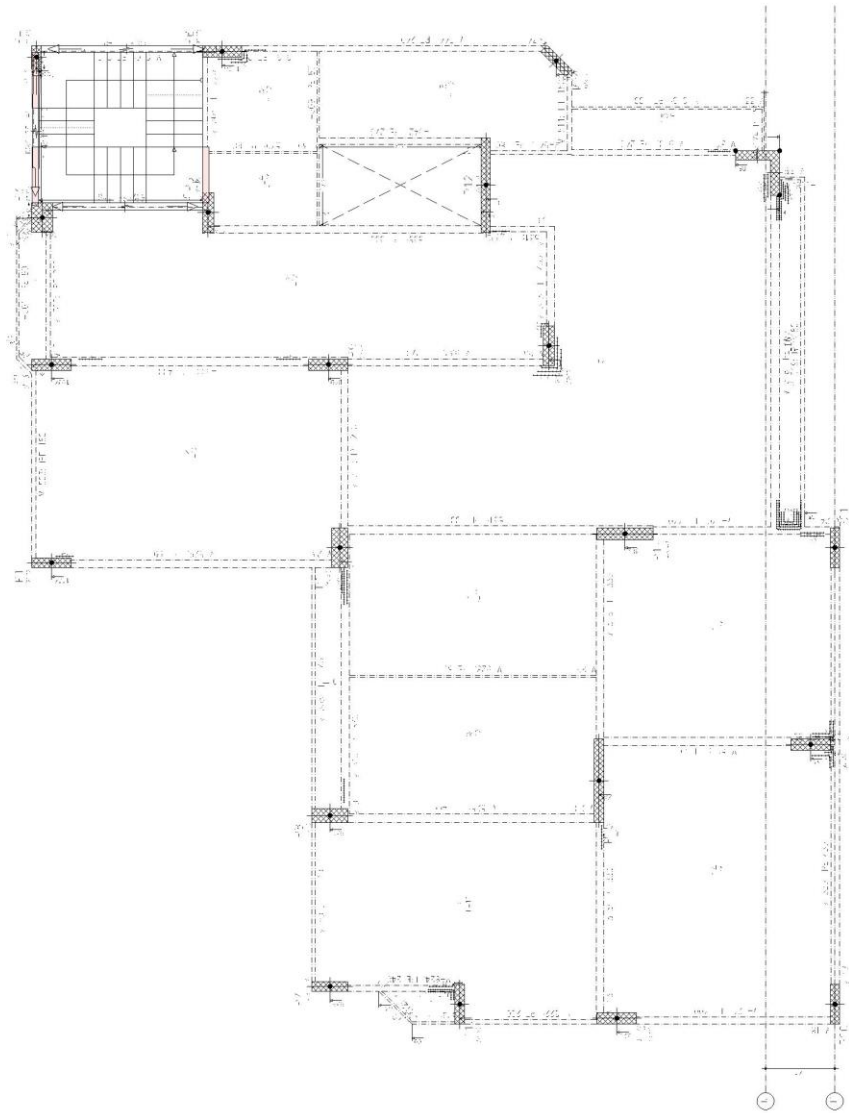
Fonte: o autor (2017).

Figura 45 - Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LMC30A36).



Fonte: o autor (2017).

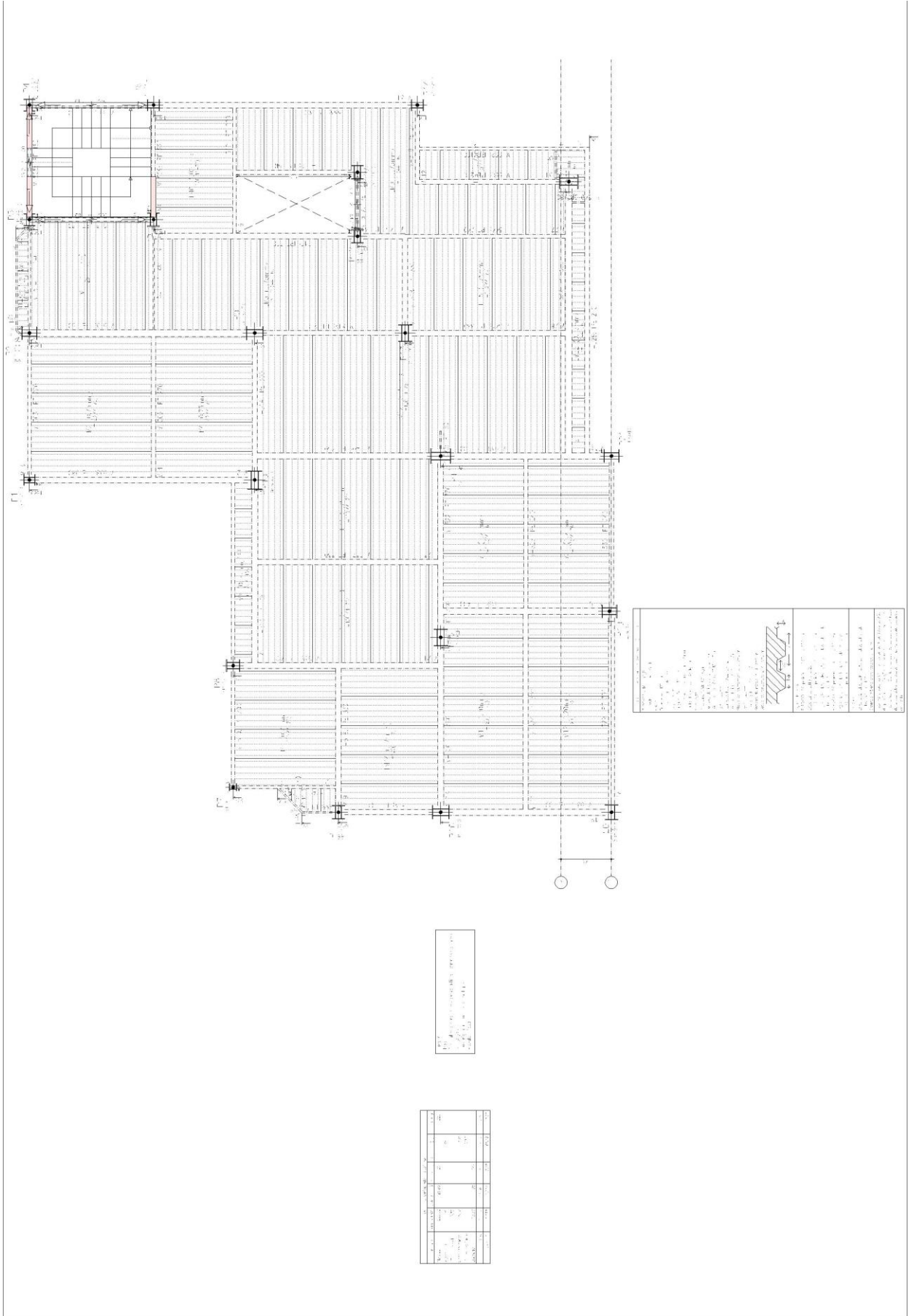
Figura 48 - Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VA36-LMMC30).



1. Fôrmas para concreto armado
 2. Fôrmas para concreto pronto
 3. Fôrmas para concreto pronto com isolamento térmico
 4. Fôrmas para concreto pronto com isolamento térmico e acústico

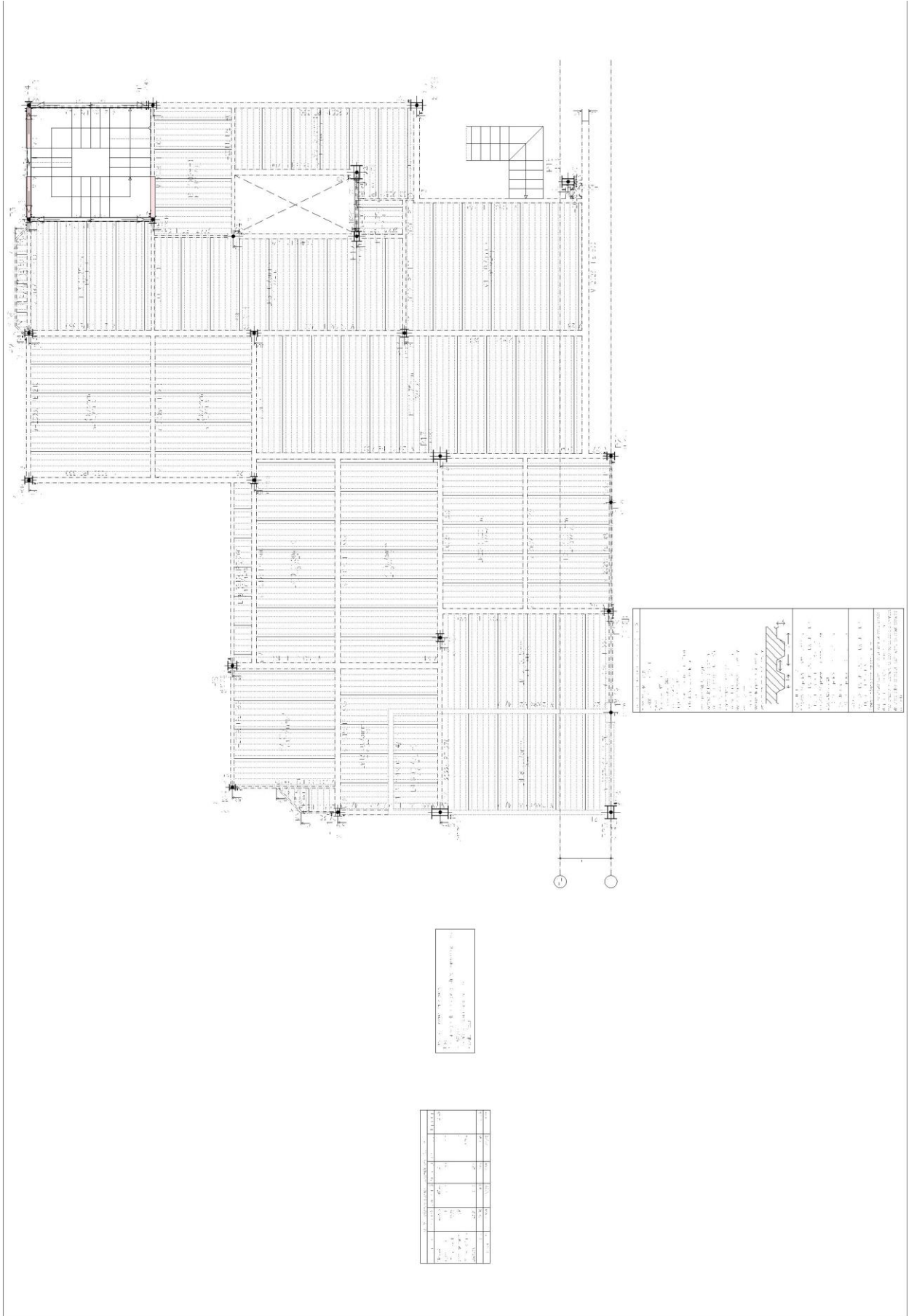
Item	Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Fôrmas para concreto armado	1.200,00	1,50	1.800,00
2	Fôrmas para concreto pronto	800,00	1,20	960,00
3	Fôrmas para concreto pronto com isolamento térmico	400,00	1,80	720,00
4	Fôrmas para concreto pronto com isolamento térmico e acústico	200,00	2,50	500,00
Subtotal		2.600,00		3.980,00
Impostos (10%)				398,00
Total				4.378,00

Figura 49 - Planta de fôrmas do pavimento tipo (PA36-VA36-LMC30A36).



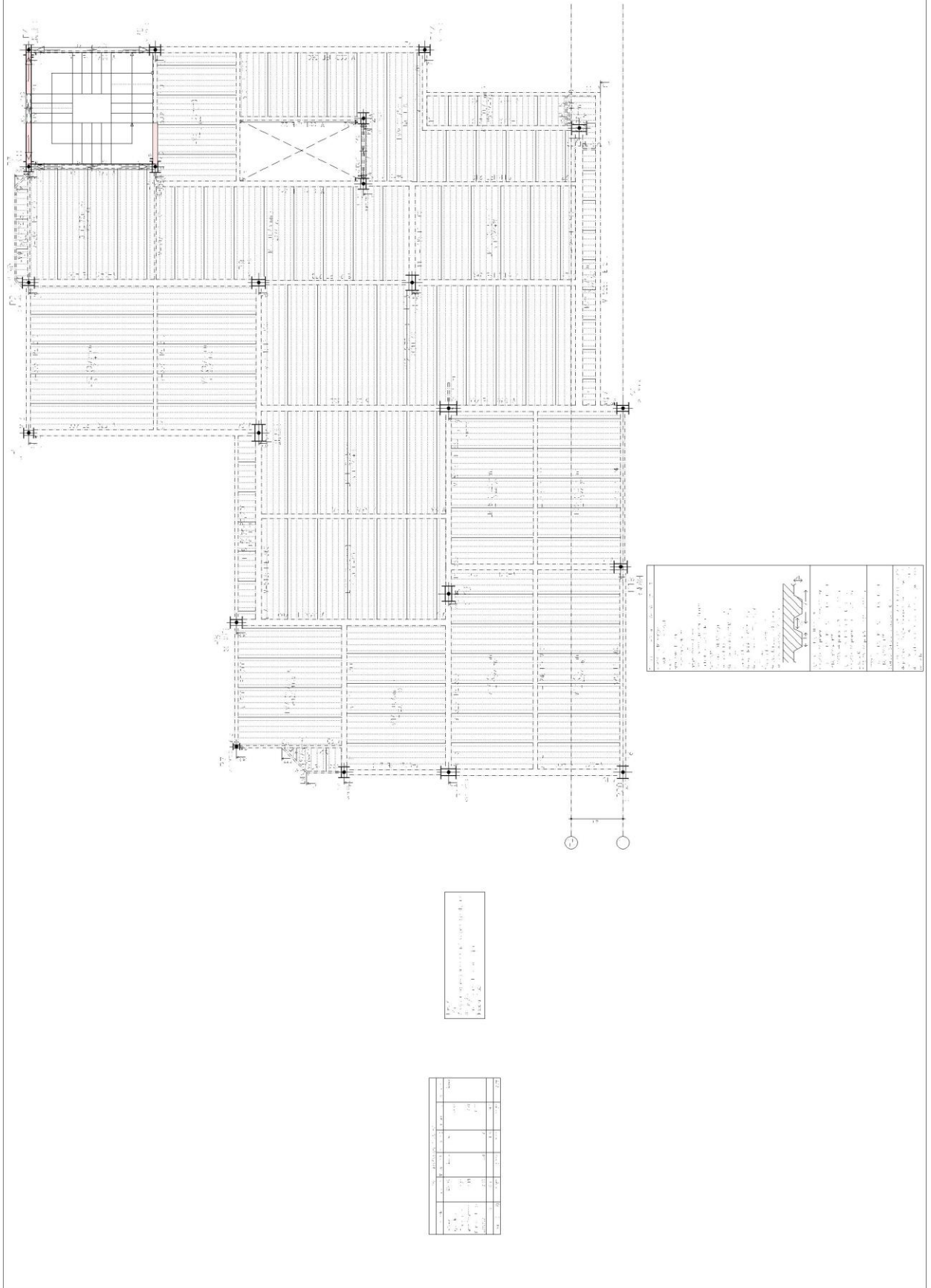
Fonte: o autor (2017).

Figura 50 - Planta de fôrmas da estrutura da piscina (PA36-VA36-LMC30A36).



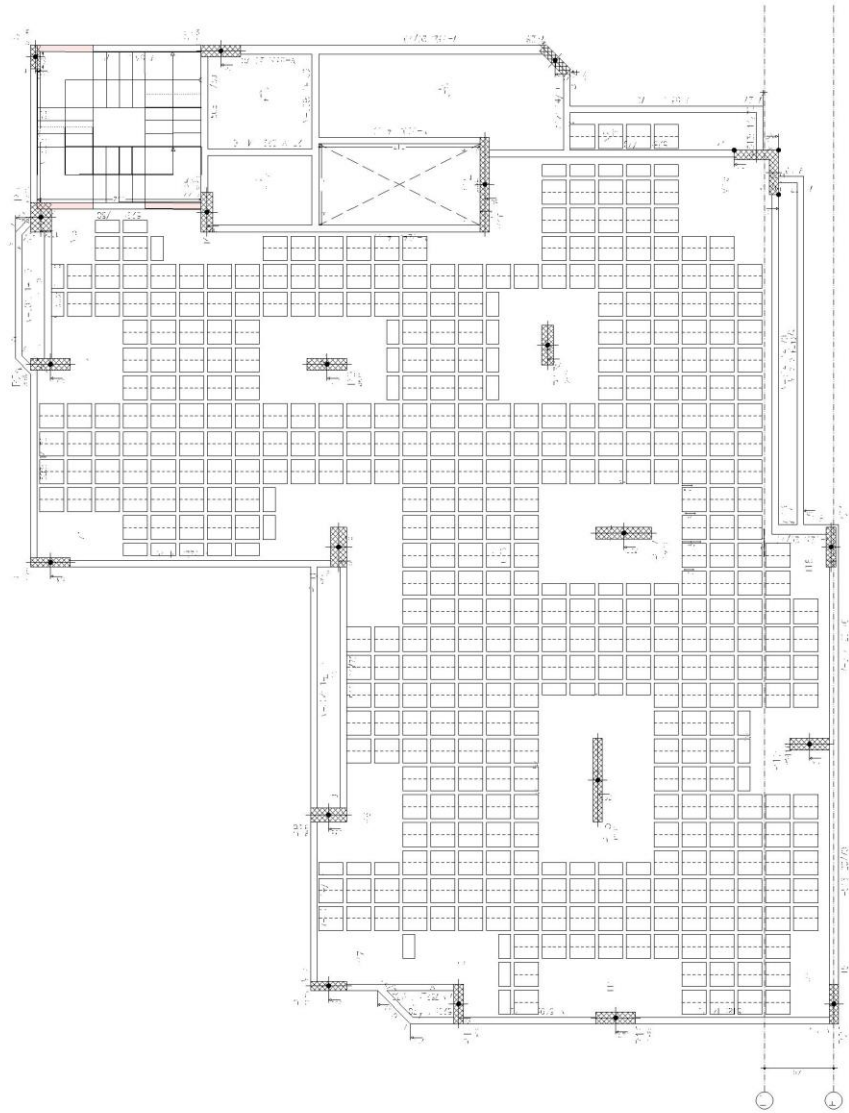
Fonte: o autor (2017).

Figura 52 - Planta de fôrmas do pavimento tipo (PA572-VA572-LMC30A572).



Fonte: o autor (2017).

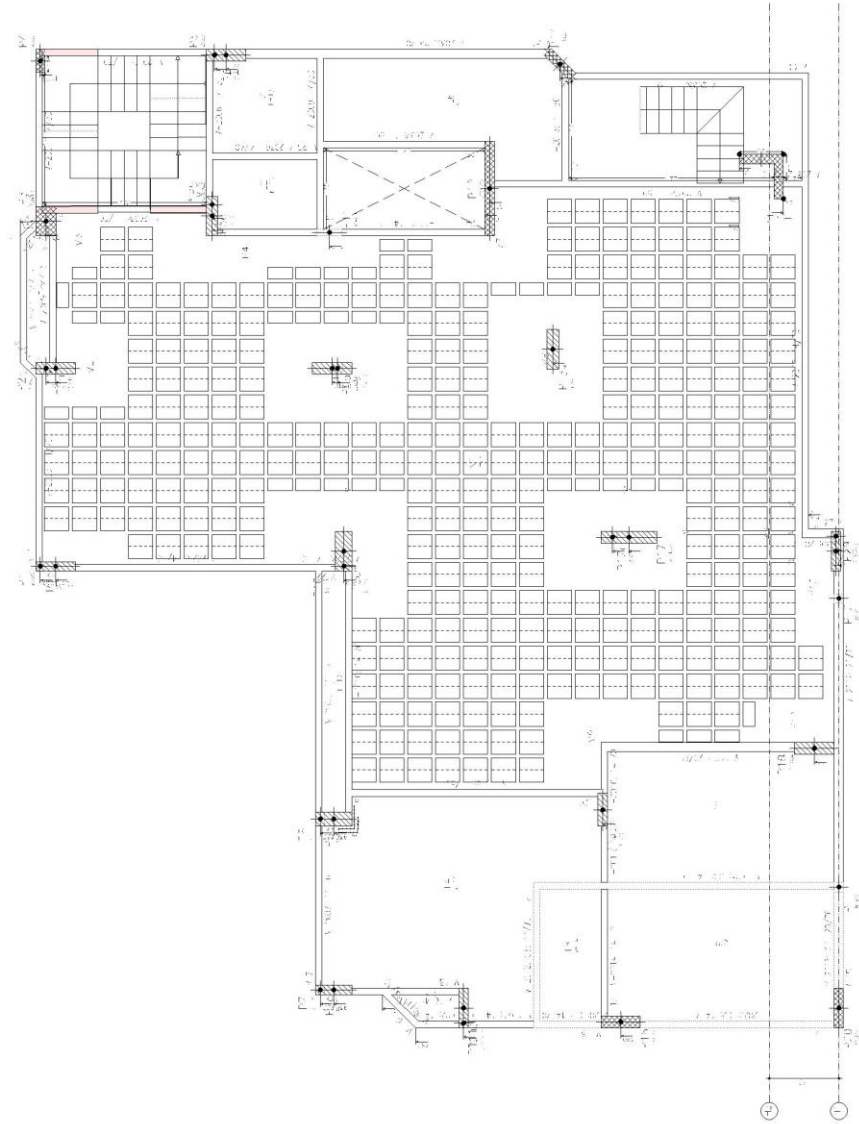
Figura 53 - Planta de fôrmas do pavimento tipo (PC30-VC30-LNNC30).



Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Fôrmas de concreto	100	m²
2	Alças de madeira	50	unidade
3	Parafusos de madeira	1000	unidade
4	Parafusos de metal	500	unidade
5	Alças de metal	20	unidade
6	Parafusos de plástico	200	unidade
7	Alças de plástico	10	unidade
8	Parafusos de alumínio	50	unidade
9	Alças de alumínio	5	unidade
10	Parafusos de aço	100	unidade
11	Alças de aço	5	unidade
12	Parafusos de latão	50	unidade
13	Alças de latão	5	unidade
14	Parafusos de cobre	50	unidade
15	Alças de cobre	5	unidade
16	Parafusos de zinco	50	unidade
17	Alças de zinco	5	unidade
18	Parafusos de níquel	50	unidade
19	Alças de níquel	5	unidade
20	Parafusos de titânio	50	unidade
21	Alças de titânio	5	unidade

Projeto de Engenharia Civil
 Autor: [Nome do Autor]
 Data: [Data]

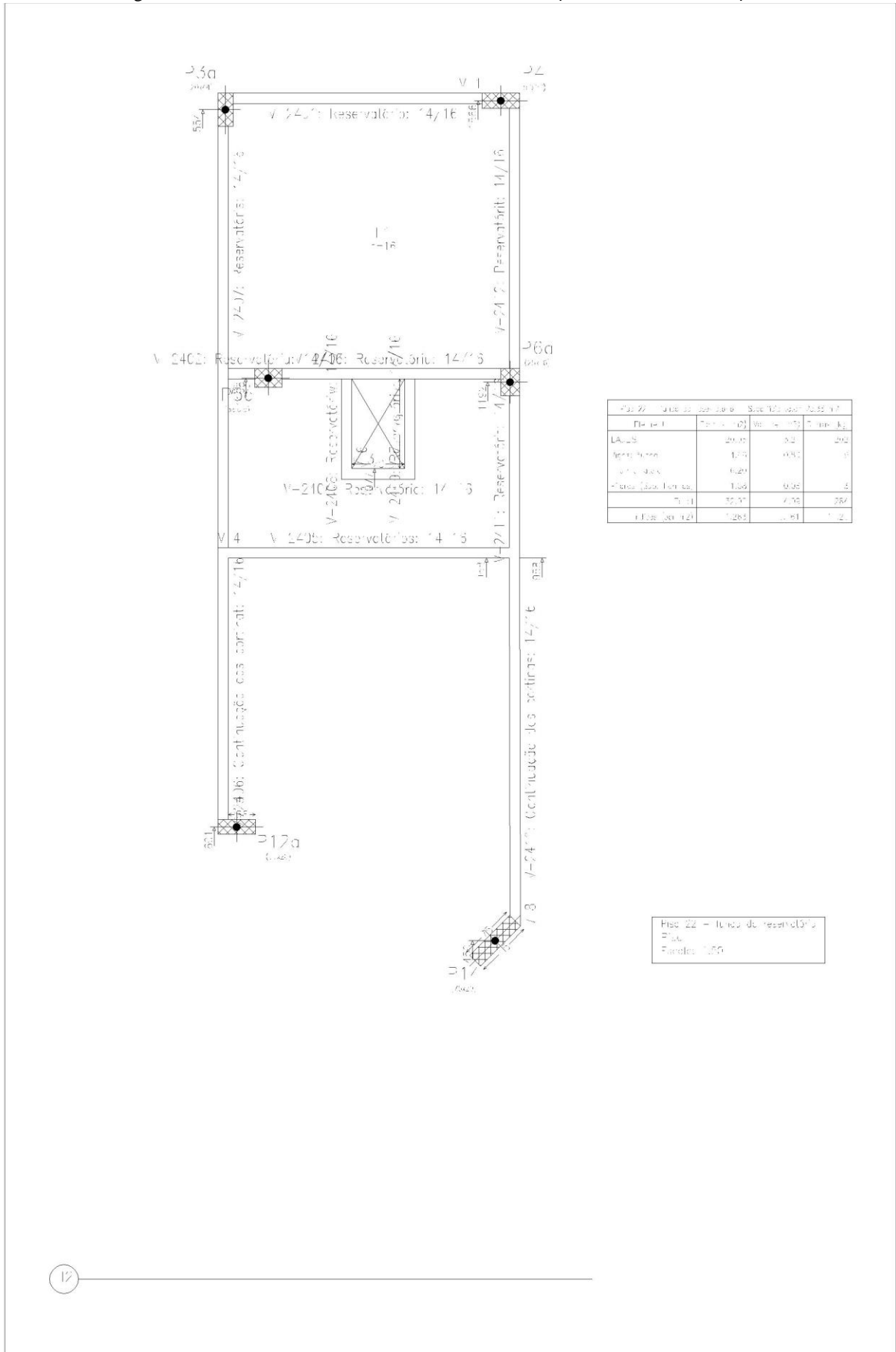
Figura 54 - Planta de fôrmas da estrutura da piscina (PC30-VC30-LVNC30).



Item	Descrição	Quantidade	Unidade
1	Forma de concreto	100	m ²
2	Forma de madeira	200	m ²
3	Forma de metal	50	m ²
4	Forma de plástico	10	m ²
5	Forma de vidro	5	m ²
6	Forma de cerâmica	2	m ²
7	Forma de tijolo	1	m ²
8	Forma de pedra	1	m ²
9	Forma de cimento	1	m ²
10	Forma de areia	1	m ²

1. Formas de concreto
 2. Formas de madeira
 3. Formas de metal
 4. Formas de plástico
 5. Formas de vidro
 6. Formas de cerâmica
 7. Formas de tijolo
 8. Formas de pedra
 9. Formas de cimento
 10. Formas de areia

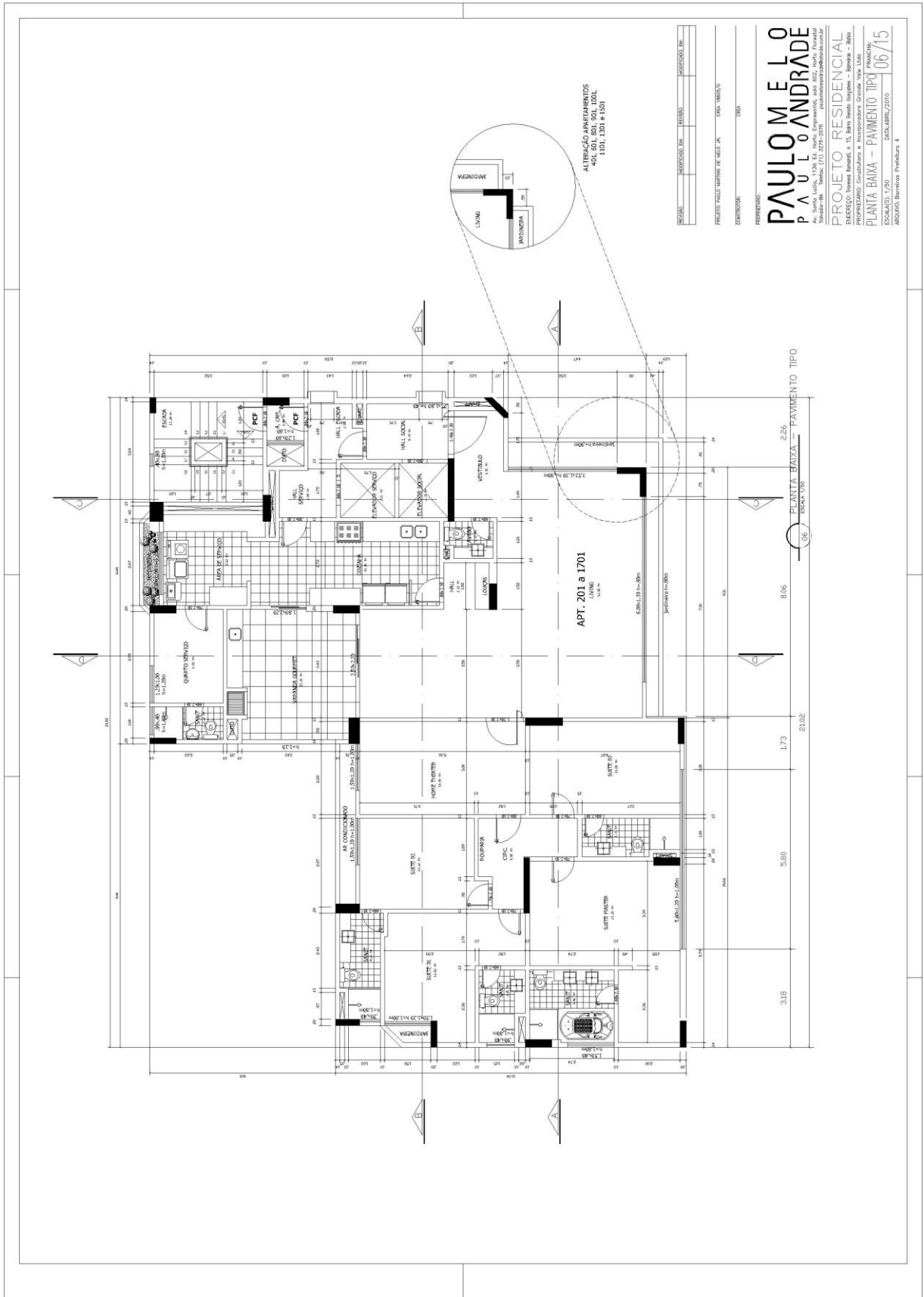
Figura 55 - Planta de fôrmas do reservatório (PC30-VC30-LNNC30).



Fonte: o autor (2017).

ANEXO A

Figura 56 - Arquitetura do pavimento tipo.



Fonte: Construtora Grande Vale (2017).

