



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas -
FATECS

NATALIA MENDONÇA SILVA

**QUANDO CONSTRUIR EM AÇO: uma análise comparativa entre
estrutura metálica e estrutura em concreto pré-moldado para o
Bloco F do edifício Sede Administrativo da CAESB**

BRASÍLIA
2018

SILVA, Natalia Mendonça

QUANDO CONSTRUIR EM AÇO: uma análise comparativa entre estrutura metálica e estrutura em concreto pré-moldado para o Bloco F do edifício Sede Administrativo da CAESB / Natalia Mendonça

Brasília, 2018

73 p. :il.

Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas. Centro Universitário de Brasília, Brasília.

NATALIA MENDONÇA SILVA

QUANDO CONSTRUIR EM AÇO: uma análise comparativa entre estrutura metálica e estrutura em concreto pré-moldado para o Bloco F do edifício Sede Administrativo da CAESB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Stefano Galimi, Msc.

BRASÍLIA
2018

NATALIA MENDONÇA SILVA

QUANDO CONSTRUIR EM AÇO: uma análise comparativa entre estrutura metálica e estrutura em concreto pré-moldado para o Bloco F do edifício Sede Administrativo da CAESB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Stefano Galimi, Msc.

Brasília, 07 de dezembro de 2018.

Banca Examinadora

ARQ: Stefano Galimi, Msc.
Orientador

Eng^o. Civil: Rosanna Duarte Fernandes Dutra, Msc.
Examinador Interno

Eng^o. Civil: Erika Regina Costa Castro, Msc.
Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

A Aslan, a voz que calmamente ruge dentro de mim. Por meio Dele e para Ele são todas as coisas. És para sempre e sempre, meu maior amor.

A Santana e Valdete, minhas âncoras. Mamãe, minha inspiração! Papai, meu maior exemplo depois de Cristo!

Aos meus irmãos Felipe, Victor e Milena. Meus melhores amigos! Não há sintonia maior, amo vocês!

A família Igreja Verbo da vida, pois esta visão nos faz crescer e viver a prática constante da palavra da fé, onde quer que estejamos!

In memoriam ao soldado 1407: André Emanuel Mendonça do Nascimento, por todas boas lembranças que deixou. Minha saudade é imensa, sua ausência reflete em todo lugar dentro de mim!

Ao meu orientador Stefano Galimi por toda dedicação e disponibilidade. Gratidão define!

Aos meus colegas: Yuri Miguel, pelo auxílio na modelagem da estrutura pré-moldada; Welington, meu anjo! Obrigada por cada risada, cada alívio de estresse; Raiane, uma mãe! Em tão pouco tempo ganhou meu coração, obrigada por todo cuidado e atenção!

A todos os professores que me acompanharam durante a graduação, em especial a Rosanna pelos esclarecimentos e ensino sobre a estrutura metálica, e Erika Regina por toda dedicação à coordenação desse curso.

A todos os docentes de minha carreira estudantil, vocês fazem parte de minha conquista!

Gratidão!

“Cada um terá a vista da montanha que
subir.”

- Ícaro Fonseca

RESUMO

Um dos maiores obstáculos para se identificar o tipo de estrutura mais adequada para um empreendimento é a falta de metodologias de avaliação, além do que somente o comparativo de custos. Ponderar outros aspectos podem requerer um estudo detalhado que identifique quais fatores seriam mais relevantes, para enfim identificar qual estrutura seria mais adequada. Observando essa demanda, traçou-se 5 parâmetros de desempenho em diversos aspectos que vão desde identificação do peso estrutural e sua influência nas fundações, o tempo de construção que a estrutura carece, os máximos vãos que se podem alcançar, os custos financeiros a longo e curto prazo, até o desempenho desse sistema aos deslocamentos. Logo, observando esses cinco fatores fundamentais, será analisado comparativamente os específicos sistemas: o pré-moldado de concreto e o sistema metálico, estabelecendo qual estrutura seria mais adequada para uma obra específica. Utilizando softwares para obtenção de dados referentes aos deslocamentos, vãos máximos e peso estrutural, o *SAP2000* foi a ferramenta utilizada para modelagem da estrutura metálica, enquanto o software *AltoQi Eberick* foi empregado para modelagem da estrutura pré-moldada. Considerando que a notoriedade da estrutura metálica frente a outros sistemas se dá principalmente referente a vantagens quanto a desempenho, grandes vãos e menor peso estrutural, nesse estudo pode-se comprovar que também quanto a custos financeiros referentes as fundações e manutenção estrutural, o sistema metálico alcançou êxito por possuir um custo inferior se comparado ao sistema de concreto pré-moldado. Os quesitos nos quais a estrutura pré-moldada possui maior vantagem, são em relação ao seu tempo construtivo e custos referentes ao investimento inicial para concepção da estrutura. Como as estruturas em aço e em concreto pré-moldado são produzidos industrialmente, vantagens referentes a esses serviços são inúmeras, gerando uma comparabilidade pertinente e resultados relevantes.

Palavras-chave: Aço, Estruturas metálicas, Concreto Pré-moldado, Metodologias de avaliação.

ABSTRACT

One of the major obstacles to identifying the most appropriate type of structure for an enterprise is the lack of evaluation methodologies, in addition to comparing costs. Pondering other aspects may require a detailed study that identifies which factors would be the most relevant, in order to identify which structure would be most appropriate. Observing this demand, five performance parameters were drawn in several aspects, ranging from the identification of the structural weight and its influence on the foundations, the construction time that the structure lacks, the maximum gaps that can be reached, the long and to the performance of this system to the displacements. Therefore, in order to observe these five fundamental factors, the specific systems will be analyzed comparatively: the concrete precast and the metallic system, establishing which structure would be most suitable for a specific work. Using software to obtain data concerning displacements, maximum spans and structural weight, SAP2000 was the tool used to model the metal structure, while AltoQi Eberick software was used to model the precast structure. Considering that the reputation of the metal structure against others systems is mainly related to advantages in terms of performance, large gaps and lower structural weight, in this study it can be shown that also regarding financial costs related to foundations and structural maintenance, the metallic system was successful because it had a lower cost than the precast concrete system. The requirements in which the precast structure has the greatest advantage are in relation to its construction time and costs related to the initial investment in the design of the structure. Because steel structures and precast concrete are industrially produced, the benefits of such services are numerous, leading to relevant comparability and relevant results.

Keywords: Steel, Steel structures, Precast concrete, Evaluation methodologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama Tensão-Deformação dos aços estruturais mais utilizados.....	18
Figura 2 - Perfil Estrutural.	21
Figura 3 – Laje steel deck.	22
Figura 4 - Dimensões da laje Steel Deck MF 75.	22
Figura 5 – Diagrama tensão-deformação do concreto a compressão.	26
Figura 6 - Pilar pré-moldado.....	28
Figura 7 - Viga pré-moldada.....	28
Figura 8 - Laje pré-moldada.	28
Figura 9 - Gráfico de pré-dimensionamento para vigas simples de aço.	31
Figura 10 – Localização do edifício Sede Administrativo da Caesb.....	38
Figura 11 – Planta baixa do Bloco F do edifício Administrativo da CAESB.	39
Figura 12 – Croqui do sistema metálico no software AutoCad.	40
Figura 13 - Modelo estrutural metálico no SAP2000.	41
Figura 14 - Modelo estrutural concreto pré-moldado no Eberick.	43
Figura 15 - Ligação entre o pilar e o cálice, tipo rugosa	44
Figura 16 - Análise estática linear da estrutura metálica	44
Figura 17 - Peso próprio estrutura pré-moldada.....	46
Figura 18 – Visão frontal da estrutura metálica (cota em mm).	47
Figura 19 - Visão frontal da estrutura pré-moldada (cota em cm).....	47
Figura 21 – Fundação tipo Sapata de concreto armado.....	56
Figura 22 - Representação dos deslocamentos no Eberick.....	58
Figura 23 - Verificações ao ELS no Eberick.	59
Figura 24 - Representação dos deslocamentos no SAP 2000.	59
Figura 25 - Desempenho ao deslocamento.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito dos elementos de liga nas características do aço.....	16
Tabela 2 – Propriedades Mecânicas do Aço.	18
Tabela 3 – Organograma das Ligas Metálicas do aço.	19
Tabela 4 – Categorias dos Aço-Carbono.....	20
Tabela 5 – Propriedades do Concreto.	24
Tabela 6 – Diretrizes para comprimentos e vãos de pilares.....	31
Tabela 7 – Composição química do Aço ASTM A709 GR50.	38
Tabela 8 – Propriedades Mecânicas do Aço ASTM A709 GR50.	39
Tabela 9 – Tabela de perfis estruturais.....	40
Tabela 10 – Tabela de equivalências de nomenclaturas usuais no SAP 2000.	40
Tabela 11 – Especificações da Laje Steel Deck.	41
Tabela 14 – Disposição de peças por pavimento.	44
Tabela 15 – Detalhamento do peso próprio estruturas metálicas.	45
Tabela 16 – Composição de preços de aço em pilares.	48
Tabela 17 - Composição de preços de aço em vigas.	48
Tabela 18 - Composição de preços de aço em pilares.	49
Tabela 19 - Composição de preços de laje mista.	50
Tabela 20 - Detalhamento do reajuste de equipe em estruturas metálicas.....	51
Tabela 21 – Detalhamento do custo total das estruturas metálicas.	51
Tabela 22 - Composição de preços de pilares pré-fabricados.	52
Tabela 23 - Composição de preços de vigas pré-moldadas.	52
Tabela 24 – Composição de preços de lajes alveolares.	53
Tabela 25 – Detalhamento reajuste de equipe em estruturas pré-moldadas.	53
Tabela 26 – Orçamento da estrutura pré-moldada.	54
Tabela 27 – Custo estimado de manutenção das estruturas metálicas em 10 anos.....	54
Tabela 28 - Custo estimado de manutenção das estruturas pré-moldadas.	55
Tabela 30 – Dados do volume de concreto em fundações para estrutura metálica.	56
Tabela 31 - Dados do volume de concreto em fundações para estrutura pré-moldada.	57
Tabela 32 - Composição de preços para fundações tipo sapata.	57
Tabela 33 – Composição de preços de pilares metálicos.	61
Tabela 34 – Composição de preços de pilares metálicos.	61
Tabela 35 - Composição de preços de vigas metálicas.	61
Tabela 36 - Composição de preços de lajes mistas.....	62
Tabela 37 – Duração da execução de pilares metálicos.....	62
Tabela 38 - Duração da execução de montantes metálicos.....	63

Tabela 39 - Duração da execução de vigas metálicas.....	63
Tabela 40 - Duração da execução de lajes metálicas.....	63
Tabela 41 - Composição de preços de pilares pré-fabricados.	63
Tabela 42 - Composição de preços de vigas pré-fabricadas.	64
Tabela 43 - Composição de preços de lajes alveolares.....	64
Tabela 44 – Duração da execução de pilares pré-fabricados.	65
Tabela 45 - Duração da execução de vigas pré-fabricadas.	65
Tabela 46 - Duração da execução de lajes pré-fabricadas.	65

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Resistência média à tração do concreto	25
Equação 2 - Módulo de elasticidade do concreto	26
Equação 3 - Tensão no concreto.....	27
Equação 4 - Duração de um serviço em função da equipe.....	34
Equação 5 - Combinação última normal referente ao Estado Limite Último.....	41
Equação 6 - Carga por pilar.....	55
Equação 7 - Área da sapata.....	56
Equação 8 – Lado da sapata.....	56
Equação 9 - Altura Média	56
Equação 10 - Volume da sapata	56

LISTA DE SÍMBOLOS

mm	Milímetro
m	Metro
cm	Centímetro
E_a	Módulo de Elasticidade
ν	Coefficiente de Poisson
G	Módulo de Elasticidade Transversal
β_a	Coefficiente de Dilatação Térmica
ρ_a	Massa específica
f_y	Limite de escoamento
f_u	Limite de ruptura
MPa	Megapascal
b_f	Largura da mesa
t_f	Espessura das mesas
t_w	Espessura da alma
d	Altura total do perfil
f_{ck}	Resistência a compressão do concreto
kgf	Quilograma-força
f_{ctm}	Resistência média à tração
E_{ci}	Módulo de elasticidade inicial do concreto
σ_c	Tensão no concreto
f_{cd}	Resistência de cálculo do concreto
ϵ_c	Deformação específica do concreto na borda mais comprimida

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
EN	<i>European Standards</i> (Normas Europeias)
CBCA	Centro Brasileiro de Construção em Aço
CAESB	Companhia de Saneamento do Distrito Federal
ABIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1.0 OBJETIVOS	15
2.0 AÇO.....	16
3.0 CONCRETO PRÉ-MOLDADO.....	23
4.0 CARACTERÍSTICAS AVALIATIVAS	29
4.1 Peso estrutural.....	29
4.2 Vãos teóricos máximos	30
4.3 Custos financeiros	32
4.4 Desempenho aos deslocamentos	33
4.5 Tempo de construção	33
5.0 SOFTWARES	35
6.0 METODOLOGIA.....	37
7.0 ESTUDO DE CASO.....	38
7.1 Modelagem do sistema em Estrutura Metálica.....	38
7.2 Modelagem do sistema em Estrutura Pré-Moldada.....	42
8.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS	45
8.1 Peso estrutural.....	45
8.2 Vãos teóricos máximos	46
8.3 Custos financeiros	47
8.4 Desempenho aos deslocamentos	58
8.5 Tempo de construção	60
9.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
10.0 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	67
REFERÊNCIAS	68
ANEXO A – RELATÓRIO DA ANÁLISE NO SOFTWARE SAP2000	72

INTRODUÇÃO

A praticidade de construir com elementos pré-moldados conferiu grandes avanços no ramo da construção civil, o que proporcionou um grau de desenvolvimento tecnológico e social, demandando maior valorização da mão-de-obra e mais rigorosas exigências quanto à qualidade dos produtos.

Inteirar-se sobre o desempenho de um novo sistema antes de usá-lo, é um dos desafios que os construtores costumam encarar quando optam pela escolha de inovar. Em algumas situações, escolhas inovadoras são vistas com desconfiança, havendo o conceito de que são mais caras do que as convencionais. Porém, esta opção não deve ser pelo tipo de estrutura mais habitual, mas sim, uma decisão baseada nas características do sistema mais apropriado para as necessidades o empreendimento.

Um dos maiores obstáculos para identificação do tipo de estrutura mais adequada é a falta de metodologias de avaliação do que somente a estimativa custos. Em vista disso, este estudo tem como objetivo analisar 5 parâmetros de desempenho em diversos aspectos que vão desde peso estrutural, tempo de construção, máximos vãos, custos financeiros, até desempenho da estrutura aos deslocamentos. Logo, observando esses fatores será analisado comparativamente os específicos sistemas construtivos: o pré-moldado de concreto e o sistema metálico, onde irá se estabelecer qual estrutura seria mais adequada para a obra em análise: o Bloco F do edifício Sede Administrativo da Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB), situado em Águas Claras – DF, Brasil.

Com uso dos softwares *SAP2000* e *AltoQi Eberick*, serão modelados o sistema em estrutura metálica e em concreto pré-moldado, respectivamente. Executado originalmente em estrutura metálica, a modelagem contou com adaptações para inserção nos softwares, usando como programa auxiliar o AutoCAD 2018. Obtido os resultados em ambos programas, será se equiparado as diversas características e ao final, se apresentado o sistema estrutural mais adequado.

1.0 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar estudo sobre 5 características avaliativas para o dimensionamento de estruturas metálicas e de concreto pré-moldado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar por meio de revisão bibliográfica os principais aspectos técnicos que envolvem as diretrizes para avaliação do dimensionamento de estruturas.
- Propor 5 características mais relevantes para projeção de uma obra.
- Realizar a modelagem da estrutura em concreto pré-moldado por meio do software *Eberick*, e da estrutura metálica pelo software *SAP2000*.
- Obter os dados da modelagem das estruturas para análise de um estudo de caso, onde por meio da avaliação das características, se indicar qual sistema estrutural mais adequado.

2.0 AÇO

Aço é uma liga metálica constituída de ferro, carbono e adição de outros elementos que aprimoram determinadas propriedades. Por ser um material homogêneo, de produção controlada e com dimensões padronizadas, o dimensionamento de uma estrutura em aço se baseia em escolher o elemento que mais se adapte a obra, contrário ao dimensionamento de estruturas em concreto, que adaptam geometrias às necessidades da estrutura. Esse dimensionamento por elementos fabricados industrialmente confere mais confiabilidade no que se refere a resistência e a durabilidade.

De acordo com o tipo de aço que se pretende obter, são adicionados à sua matriz elementos químicos para a formação de ligas metálicas. Esses elementos são denominados **elementos de liga** (Tabela 1), que alterando a composição química do aço, modificam suas propriedades mecânicas, adequando o máximo desempenho de acordo com as funções específicas almejáveis (ZEEMANN, 2016).

Tabela 1 - Efeito dos elementos de liga nas características do aço.

PROPRIEDADE		escoamento	dureza	ductilidade	soldabilidade	abrasão	ruptura	fadiga	corrosão	fragilidade	rigidez
ELEMENTO											
C	carbono	↑	↑	↓	↓	-	-	-	-	-	↓
Cr	cromo	-	↑	-	↓	↑	↑	-	↑	-	↓
Cu	cobre	-	↑	↓	↓	-	↑	↑	↑	-	↓
Mn	manganês	-	↑	-	↓	-	↑	↑	-	-	↓
Ni	níquel	-	↑	-	↓	-	↑	-	↑	-	↑
P	fósforo	-	↑	↓	↓	-	↑	↑	-	-	↓
Si	silício	-	↑	-	↓	-	↑	-	-	-	↓

Fonte: MENGES, 2000

Sendo utilizado como componente estrutural, o aço requer procedimentos específicos que surgem por ser um material de natureza e características bastante diferenciadas das de concreto. O domínio de uma metodologia construtiva apropriada para o seu uso acarreta a aplicação mais segura do mesmo, cuja finalidade é minimizar contratempos, de forma que sejam resolvidos de maneira adequada e

eficiente. Saber lidar com esses problemas, significa manter o desempenho das edificações em níveis normativamente aceitáveis durante sua vida útil.

Um dos principais objetivos do cálculo estrutural é assegurar que haja um desempenho satisfatório das estruturas, anexo ao máximo de economia possível. No que se refere à segurança, sua função corresponde a máxima combinação de ações que podem ser impostas a uma estrutura durante seu tempo de vida útil. Como as ações de vida útil de uma estrutura e sua capacidade real são previsões, onde estão sujeitas a incertezas, não é possível se obter a garantia absoluta sobre a segurança de uma estrutura. Pode-se então garanti-la em termos de probabilidade, em que a capacidade estrutural deverá ser suficiente para resistir à máxima ação ou combinação de ações que poderão ocorrer durante a vida útil da estrutura.

Como resultado de experiências acumuladas, pesquisas e teses sobre várias áreas de conhecimento, normas foram criadas a fim de regulamentar e elaborar sínteses sobre procedimentos e especificações técnicas. Referente às estruturas metálicas, as principais normas brasileiras aplicáveis para sua construção são:

- ABNT NBR 5884:2013 - Perfil estrutural soldado por arco elétrico – Requisitos gerais;
- ABNT NBR 6120:2000 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NBR 6123:2013 - Forças devidas aos ventos em edificações;
- ABNT NBR 6648:2014 - Bobinas e chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural — Especificação;
- ABNT NBR 6650:2014 - Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural — Especificação;
- ABNT NBR 7007:2016 - Aço-carbono e aço microligado para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural — Requisitos;
- ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- ABNT NBR 14323:2013 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio;
- ABNT NBR 14432:2001 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento;
- ABNT NBR 15279:2005 - Perfis estruturais de aço soldados por alta frequência (eletrofusão) - Perfis I, H e T - Requisitos.

No que se refere à resposta do aço quando submetido a esforços mecânicos, seu comportamento pode ser compreendido por meio de ensaios de maneira destrutiva ou não. Quando submetidos a esforços, torna-se necessário conhecer as respostas do aço às ações mecânicas aplicadas sobre ela, de forma que, ao serem expostos a cargas atuantes, a deformação final não ultrapasse limites normativos. A ABNT NBR 8800:2008, define as seguintes propriedades mecânicas para o aço:

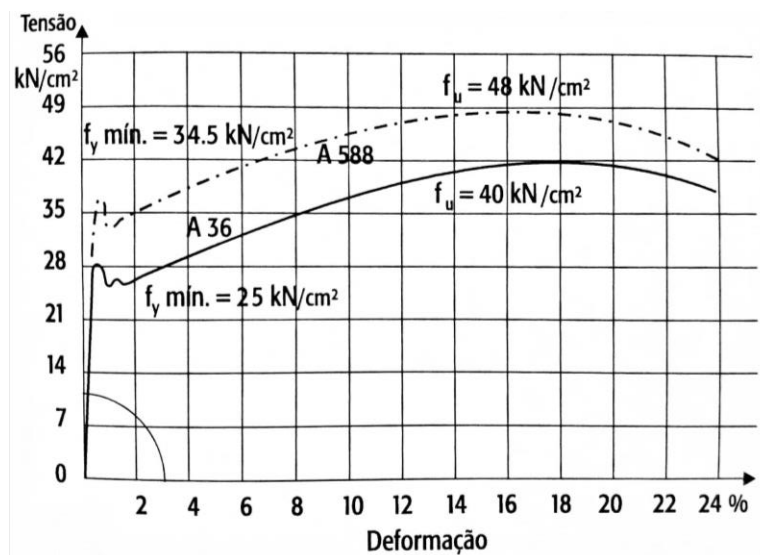
Tabela 2 – Propriedades Mecânicas do Aço.

SIMBOLOGIA	CONSTANTE FÍSICA	VALOR
E_a	Módulo de Elasticidade	200 000 MPa
ν_a	Coeficiente de Poisson	0,3
G	Módulo de Elasticidade Transversal	77 000 MPa
β_a	Coeficiente de Dilatação Térmica	$1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
ρ_a	Massa Específica	7 850 kg/m ³

Fonte: ABNT NBR 8800:2008, item 4.5.2.9

Relativo as respostas mecânicas aplicadas sobre aço, a representação de seu comportamento sob efeito de cargas estáticas submetidas a esforço de tração fornece o diagrama tensão-deformação (Figura 1), responsável por refletir esses comportamentos até sua ruptura.

Figura 1 – Diagrama Tensão-Deformação dos aços estruturais mais utilizados.



Fonte: PINI, 2008.

Onde:

f_y : limite de escoamento

f_u : limite de ruptura

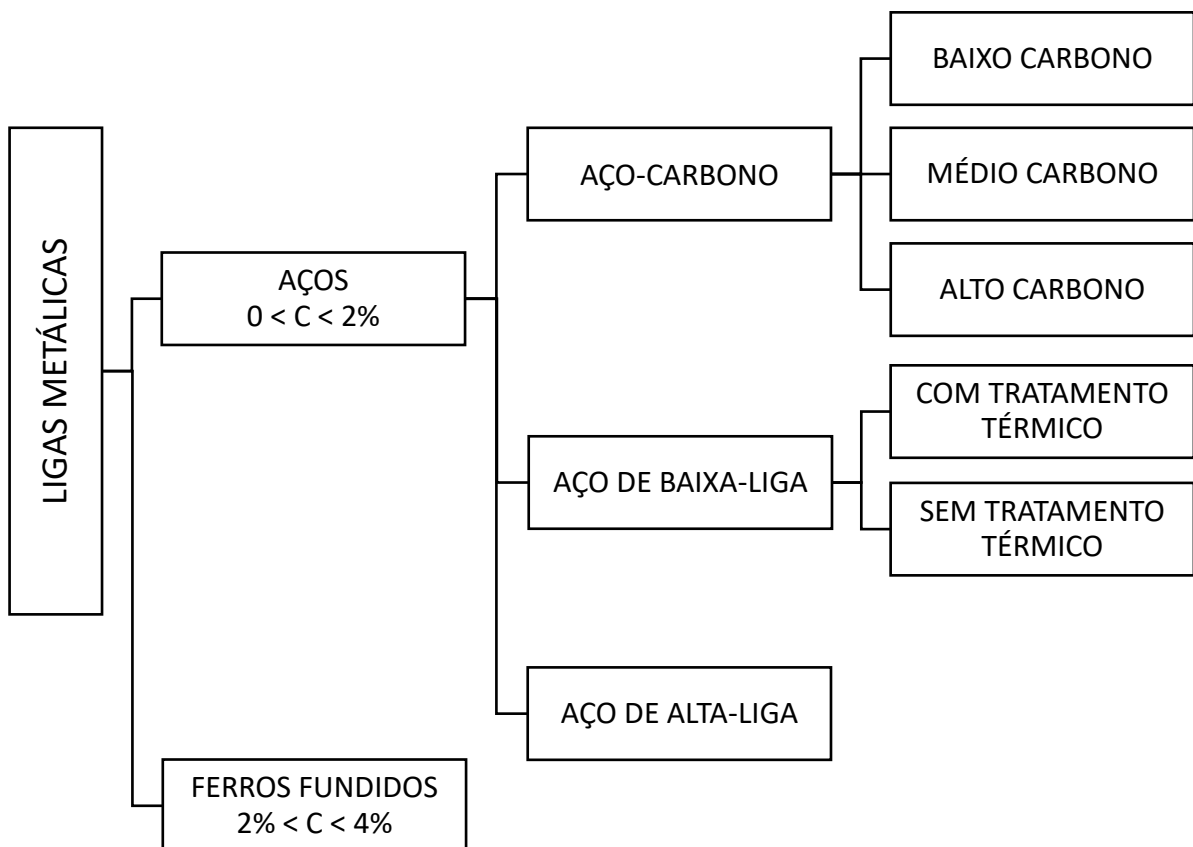
Os limites de escoamento e de ruptura do aço são os valores mínimos de resistência garantidos pelos fabricantes, cuja decorrência é baseada na média

estatística de valores obtidos por um grande número de ensaios (PINI, 2008). O valor constante da deformação, na fase plástica, é chamado limite de escoamento do aço. Após o escoamento, ainda na fase plástica, a estrutura interna do aço se rearranja e o material passa pelo estágio de encruamento. Com o aumento da tensão o aço chega ao seu limite, onde se rompe (PALMA, 2007).

2.1 Tipos de aço

O principal fator que altera o valor das propriedades mecânicas do aço consta em sua composição química (CBCA, 2014). De acordo com essa constituição, os aços estruturais podem ser divididos em três grupos:

Tabela 3 – Organograma das Ligas Metálicas do aço.



Fonte: AUTOR, 2018.

Os **aços-carbono** são aços que não possuem elementos de liga, mas podem conter diferentes teores de carbono dispondo, portanto, de diferentes propriedades mecânicas (SILVA, 2012 p. 8). Conforme a adição de carbono, que determina a dureza na composição, pode se subdividir os aços-carbono em três categorias:

Tabela 4 – Categorias dos Aço-Carbono.

CLASSE	TEOR DE CARBONO	F _u (MPa)	CARACTERÍSTICAS
baixo carbono	C < 0,29%	< 440	Boa tenacidade, conformabilidade e soldabilidade. São os mais adequados à construção civil.
médio carbono	0,30% < C < 0,59%	440 a 590	Média conformabilidade e soldabilidade.
alto carbono	0,60% < C < 2,00%	590 a 780	Má conformabilidade e soldabilidade devido à sua baixa ductilidade, alta resistência ao desgaste.

Fonte: DIAS, 2012.

Os **aços de baixa-liga** são aços-carbono acrescidos de uma pequena quantidade de elementos de liga (menores que 2%), conferindo mais resistência e tenacidade do que os aços-carbono. São utilizados na maioria das aplicações de engenharia civil como elementos estruturais não expostos a condições atmosféricas ou condições muito agressivas. Os aços de baixa-liga sem tratamento térmico são aqueles que recebem elementos de liga suficientes para adquirirem maior resistência mecânica ($f_y \geq 300$ MPa), maior resistência à corrosão, ou ambos. Já os aços de baixa liga com tratamento térmico são aqueles que recebem um tratamento térmico especial posterior à laminação, necessário a adquirirem alta resistência mecânica (SILVA, 2012).

Os **aços de alta-liga** se constituem no próprio aço carbono, mas contendo teores elevados de outros elementos de liga (entre 5% e 12%), aumentando o parâmetro de resistência a tração, melhorando suas propriedades mecânicas e promovendo alterações em sua estrutura metal-mecânica, mudando assim seus diagramas de equilíbrio (PANNONI, 2005). A principal aplicação desses aços não está relacionada somente às premissas de resistir aos esforços, mas também resistir a meios muito agressivos (como altas ou baixas temperaturas) e a corrosão (RIO SUPERCORTE, 2018). Podem ser subdivididos em aços resistentes à corrosão (inoxidáveis), aços resistentes ao calor (refratários) e aços resistentes ao desgaste.

Quando contendo de 2,0% a 4,0% de carbono, o metal é classificado como **ferro fundido**. Sob efeito de choques mostra-se frágil deformando plasticamente e rompendo bruscamente. Possui boa resistência à compressão (mínimo de 500MPa),

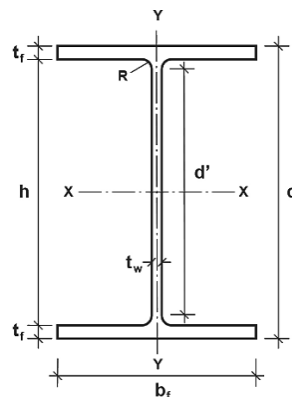
porém sua resistência à tração é apenas cerca de 30% de sua resistência a compressão (PFEIL, 2009).

2.2 Elementos estruturais

2.2.1 Perfis Estruturais

Podendo ser obtido por laminação ou pela soldagem de três chapas (Figura 2), os perfis "I" são especificados em projeto, pela letra "I" acompanhada da dimensão da sua altura em polegada ou milímetro, seguida do seu peso por metro linear. Todos os perfis "I", sejam laminados ou soldados, têm a espessura de sua mesa (t_f) maior que de sua alma (t_w), o que o torna adequado para absorver os esforços de flexão, já que suas mesas constituem elementos de grande quantidade de massa afastados do centro de gravidade da seção (FAY, 2006). Devido a isso, seus principais usos estruturais são como vigas.

Figura 2 - Perfil Estrutural.



Fonte: Gerdau, 2017.

Onde:

- b_f - largura da mesa
- t_f - espessura das mesas
- t_w - espessura da alma
- d - altura total do perfil

Obtido pela soldagem de três chapas ou por laminação, o perfil em formato "H" se diferencia geometricamente do perfil "I" por apresentar espessura das mesas (t_f) igual à espessura da alma (t_w). Por suas características geométricas, este perfil é quase que unicamente utilizado como pilar, pois apresenta boa rigidez em ambas as direções, respondendo bem aos esforços de compressão axial.

2.2.2 Laje *Steel Deck*

Constituída por uma telha de aço galvanizado e uma de camada de concreto sobreposta, as lajes *steel deck* (Figura 3) são uma excelente opção para redução de peso nas estruturas, cujas chapas de aço perfiladas possuem dupla função, atuando como fôrma para execução da concretagem e como armadura positiva para as cargas atuantes.

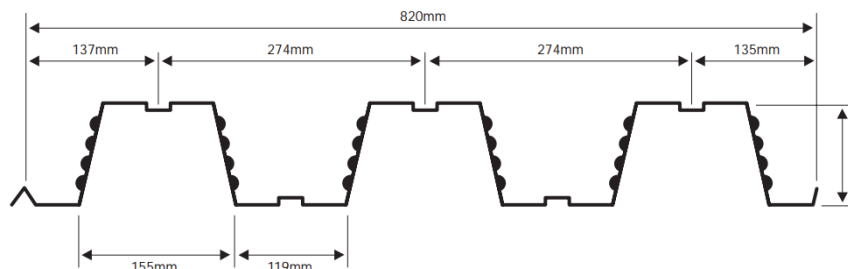
Figura 3 – Laje steel deck.



Fonte: PERFILOR, 2013.

Basicamente, os materiais mais utilizados na confecção de lajes *Steel Deck* são chapas de aço galvanizado ASTM A 653 Grau 40 (ZAR- 280) (com tensão de escoamento de 280Mpa) em formato trapezoidal, com concreto de resistência mínima à compressão de 20MPa e uma armadura em tela soldada para controle de fissuração, tendo uma área mínima de 0,1% da área de concreto acima do topo da chapa de aço (METFORM, 2016).

Figura 4 - Dimensões da laje Steel Deck MF 75.



Fonte: METFORM, 2016

3.0 CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Segundo Mounir Khalil, a pré-moldagem é definida como um processo construtivo em que parte da obra (em maioria elementos estruturais), é moldada fora do local de uso definitivo, e as peças chegam ao canteiro já para montagem.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da ABNT NBR 9062:2001, define o concreto pré-moldado como peças fabricadas fora do seu local definitivo na estrutura, atendendo padrões rigorosos de controle de qualidade e levando em consideração as diversas etapas de fabricação como estocagem, transporte e uso final. Para certificação da qualidade, os elementos devem ser registrados com informações referentes à identificação, data, tipo de concreto e aço usados e assinaturas de profissionais que serão responsáveis pela garantia de qualidade dos produtos.

Com o objetivo de caracterizar as estruturas previamente fabricadas utilizadas atualmente no Brasil, Albuquerque (2005) realizou um levantamento junto a arquitetos, projetistas de estruturas e fabricantes, constatando os seguintes fatos:

- Resistência média à compressão nas peças pré-moldadas variam de 30MPa a 50MPa;
- As estruturas são concebidas como pórticos unidirecionais;
- 54,5% dos pórticos orientados na mesma direção do lado de maior dimensão;
- O sistema mais utilizado (51,6%) é o de lajes alveolares apoiadas em vigas “T” invertidas no interior do pavimento e em vigas “L” na periferia.

O uso de sistemas construtivos pré-moldados visa a otimização do uso do concreto, reduzindo impactos ambientais e econômicos causados pela utilização de recursos não renováveis. Através da redução de desperdícios, aumento da durabilidade e da menor variabilidade das características das estruturas, a introdução de novas tecnologias se tornou um indutor de mudanças que levam ao aumento de competitividade das empresas e principalmente ao crescimento sustentável.

Uma edificação deve satisfazer às condições de utilização dos usuários, com durabilidade adequada ao longo de sua vida útil, considerando as intervenções de manutenção. No que tange a sistemas construtivos, na maioria das vezes usuário associa o desempenho apenas à segurança estrutural, ou seja, com a necessidade

de a estrutura não atingir o estado limite último de utilização (OLIVEIRA e MACHADO JUNIOR, 1998).

A Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto (ABIC) foi criada com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento dos sistemas pré-moldados no mercado da construção no Brasil (TETRACON, 2015). O Selo de qualidade criado pela associação, visa avaliar e classificar os procedimentos realizados na produção de estruturas pré-moldadas, com base principalmente na qualidade de procedimentos como o recebimento e o armazenamento da matéria prima, a produção e a montagem dos elementos pré-moldados, a gestão ambiental e a segurança dos trabalhadores.

A ABNT NBR 9062:2001 é atualmente a principal norma que atende os sistemas pré-moldados, determinando os requisitos para o desenvolvimento de projetos, a execução e o controle de estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido (TETRACON, 2015). Além da ABNT NBR 9062, outras normas são fundamentais para a qualidade da produção de estruturas pré-moldadas, como a ABNT NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento e a ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Algumas condições destas normas são aplicáveis, devendo no entanto ser complementadas e eventualmente ajustadas em pontos localizados por normas brasileiras específicas.

Tendo em vista que o concreto é um material obtido da mistura de agregados e pasta de cimento, essa combinação gera um material de estrutura heterogênea e com propriedades físicas determinadas pelos materiais utilizados em sua produção (RIBEIRO, 2016). O item 8.2 da ABNT NBR 6118:2014 define as seguintes propriedades para o concreto:

Tabela 5 – Propriedades do Concreto.

SIMBOLOGIA	CONSTANTE FÍSICA	VALOR
ρ_c	Massa específica concreto armado	2500 kg/m ³
ν	Coefficiente de Poisson	0,2
G_c	Módulo de elasticidade transversal	0,4*E _{cs}
β_c	Coefficiente de Dilatação Térmica	10 ⁻⁵ °C ⁻¹

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

As características apresentadas na Tabela 5 cuja determinação provém de ensaios executados em condições específicas, são denominadas propriedades

mecânicas, onde suas verificações são de suma importância para controle da qualidade das peças e para o cumprimento de especificações de projeto.

Considerada como uma grandeza absoluta do concreto, a resistência a compressão (f_{ck}) é atualmente utilizada como fator de especificação e dimensionamento para estruturas em concreto. Seu objetivo é estimar o comportamento do concreto no estado endurecido quando submetido a um determinado carregamento, sendo verificados para o dimensionamento de paredes, pilares, apoios, fundações, etc.

Segundo a ABNT NBR 5739:2007, para estimar essa resistência a compressão, são moldados corpos-de-prova padrão de forma cilíndrica, com 15cm de diâmetro e 30cm de altura, com idade de 28 dias. Vencido este prazo, o corpo de prova segue para o laboratório onde passa por um nivelamento de suas superfícies, para que haja o melhor encaixe possível na máquina que fará o ensaio de rompimento. A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o corpo de prova até que o mesmo venha a romper. A força exercida (dada em kgf) é dividida pela área de topo do corpo de prova (dado em cm^2), temos então a relação de kgf por cm^2 , que resulta na resistência a compressão (geralmente dada em MPa).

Outro fator de especificação e dimensionamento para estruturas em concreto é o ensaio de resistência à tração, podendo ser determinado por meio de três ensaios diferentes: ensaio de tração axial, ensaio de compressão diametral ou ensaio de flexão de vigas. Normalmente, o termo resistência à tração que aparece nas normas de projeto refere-se à resistência à tração axial (tração direta) (ARAUJO, 2001).

De maneira equivalente à resistência à compressão, a resistência à tração do concreto apresenta uma significativa variabilidade em torno de um valor médio. Em geral, essa variabilidade é maior do que a verificada para a resistência à compressão. Nas verificações relativas aos estados limites de utilização, se interessa a resposta média da estrutura, sendo assim que, segundo a ABNT NBR 6118:2014 item 8.2.5, para o cálculo da abertura das fissuras e para a avaliação das flechas de vigas, usa-se a resistência média à tração f_{ctm} que é dada por:

$$f_{ctm} = 0,3 (f_{ck})^{\frac{2}{3}} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{Equação 1})$$

Qualquer tensão é acompanhada de uma deformação e vice-versa (NEVILLE, 1997). Como muitos outros materiais, o concreto possui certa elasticidade, que representa a possibilidade de estimar deformações a partir do conjunto de tensões aplicadas e determinar as tensões atuantes a partir dos dados de deslocamentos permissíveis da estrutura. O módulo de elasticidade aumenta com a resistência do concreto, embora não exista uma forma exata que relacione essa dependência. A ABNT NBR 6118:2014 recomenda que quando não forem feitos ensaios, pode se estimar o valor do módulo de elasticidade a partir da seguinte equação:

$$E_{ci} = 5600\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{Equação 2})$$

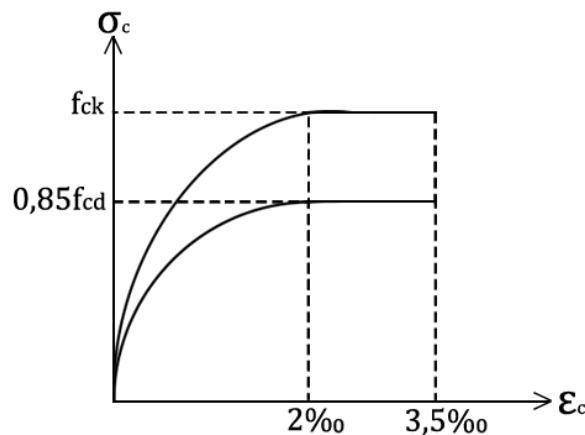
Onde:

E_{ci} = módulo de elasticidade inicial do concreto (MPa);

f_{ck} = resistência característica do concreto entre 20MPa e 50MPa.

Estudos experimentais desenvolvidos para estimar uma única distribuição real de tensões no concreto, revelaram que o diagrama parábola-retângulo permite determinar com precisão suficiente para a prática, a solicitação de ruptura de uma seção qualquer nas condições mais desfavoráveis (FERNANDES, 2006). Conforme a ABNT NBR 6118:2014, para o dimensionamento de seções transversais de peças de concreto armado no estado limite último, se indica o diagrama tensão-deformação do concreto à compressão (Figura 5), se compondo de uma parábola do 2º grau que passa pela origem tendo seu vértice no ponto de abscissa 0,2% e ordenada $0,85f_{cd}$, e de um segmento reto entre as deformações de 0,2% e 0,35% tangente à parábola e paralelo ao eixo das abscissas.

Figura 5 – Diagrama tensão-deformação do concreto a compressão.



Fonte: FONSECA, 2006.

Esse diagrama é uma idealização de como o concreto (considerando $f_{ck} \leq 50$ MPa) se deforma (encurta) sob tensões de compressão. Para a deformação de encurtamento de até 2 ‰ (2 mm/m) a lei de variação é de acordo com a parábola do 2º grau dada pela equação:

$$\sigma_c = 0,85f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{0,002} \right)^2 \right] \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

σ_c = tensão no concreto

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto ($f_{ck}/1,4$)

ε_c = deformação específica do concreto na borda mais comprimida

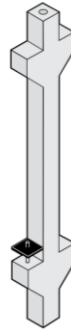
Após 2‰ o concreto sofre um encurtamento plástico até o valor máximo de 3,5‰, ou seja, considera-se que o máximo encurtamento que o concreto possa sofrer seja de 3,5‰ (3,5 mm em cada metro de extensão). A tensão máxima de compressão no concreto é limitada por um fator 0,85, isto é, no cálculo das peças não se considera a máxima resistência dada por f_{ck} , e sim um valor reduzido. (FERNANDES, 2006)

3.2 Elementos estruturais

Na pré-fabricação de elementos estruturais, as padronizações das formas são preestabelecidas em relação á dimensões e geometria, mas em relação a altura e comprimento permitem certa liberdade (ACKER, 2003). Essas padronizações são fornecidas em forma catálogos por diversos tipos de fabricantes. Dentre as formas mais comuns, tem-se pilares com consolos trapezoidais ou retangulares, lajes alveolares, vigas de seção “I”, vigas retangulares ou vigas de seção “T”.

Pilares pré-moldados de concreto armado (Figura 6) são produzidos em sua maioria com seções transversais quadradas, retangulares ou cilíndricas, podendo ser maciços ou possuírem orifício central. Sua superfície de concreto é lisa e as bordas são chanfradas. Geralmente, os pilares requerem uma seção transversal mínima de 30cm, não apenas por motivos de manuseio, mas também para acomodar as ligações pilar-viga (ACKER, 2002). Os insertos estruturais chamados de consolos podem ser de forma retangular ou trapezoidal, e são arranjados em qualquer posição, conforme projeto (ENGEMOLDE, 2014).

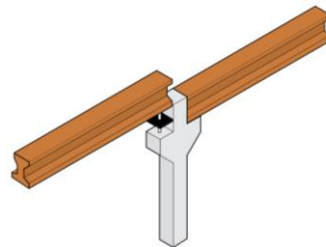
Figura 6 - Pilar pré-moldado.



Fonte: SUDOESTE, 2018.

Vigas pré-moldadas (Figura 7) são produzidas em concreto armado ou protendido com seção transversal retangular, I, T e especiais. Na estrutura cumprem a função de suporte de lajes, alvenaria ou outro elemento de vedação. As vigas “I” são predominantemente em superestruturas como pontes, viadutos e passarelas (ENGEMOLDE, 2014).

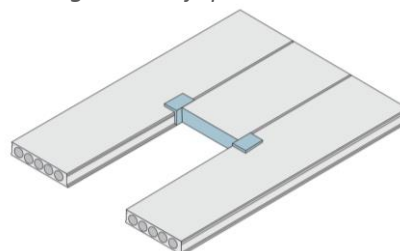
Figura 7 - Viga pré-moldada.



Fonte: SUDOESTE, 2018.

As lajes são elementos estruturais de uma edificação com função de disseminar as cargas para as vigas e pilares. O tipo mais utilizado para sistemas pré-moldados é a laje alveolar (Figura 8), constituída por painéis de concreto protendido vazados, com alvéolos longitudinais, que permitem a redução do peso da peça. O concreto utilizado na fabricação desta laje é de elevada resistência à compressão (maior que 45Mpa) e armaduras com aços específicos para protensão (PINHO, 2005).

Figura 8 - Laje pré-moldada.



Fonte: CASSOL, 2018.

4.0 CARACTERÍSTICAS AVALIATIVAS

Levando em consideração que o estudo em questão trata-se de uma análise comparativa entre os sistemas constituídos em concreto pré-moldado ou aço, a escolha por qualquer desses sistemas agregam otimização ao processo e, conseqüentemente, conduz a uma decisão final mais adequada. Muitas das características desses sistemas estruturais podem ser de complexa análise e qualificação, existindo muitas vezes itens equivalentes (casos em que uma característica é favorável para ambos sistemas), mas a análise dessas características em relação a cada obra será sempre melhor do que simplesmente o embasamento em intuições ou opiniões.

O objetivo desse trabalho é fundamentalmente o auxílio para essa decisão, explicitando alguns dos principais critérios de desempenho avaliativo para a escolha entre o sistema estrutural em aço ou de concreto pré-moldado. Cada tipo estrutural possuirá seus prós e contras, mas é necessário se analisar e ponderar, isoladamente e em conjunto, quais são as características que levam a optar por um ou outro tipo de sistema estrutural.

4.1 Peso estrutural

Em uma análise estrutural, a influência de quaisquer ações que possam acarretar efeitos significativos em sua segurança, necessita ser ponderada e estimada, de modo que a estrutura deve ser capaz de resistir às diversas forças que atuarão sobre si.

Com a possibilidade de uma redução de cargas, o peso estrutural sobre as fundações irá diminuir, reduzindo significativamente seu custo. Portanto, essa redução pertinente às fundações deve ser um critério significativo de escolha para o sistema estrutural.

Traçada uma análise preliminar, procede-se com a determinação das cargas que atuarão sobre a estrutura. Segundo a ABNT NBR 6120:2000, que fixa os valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de cálculo de edificações, as cargas podem ser classificadas nas seguintes categorias:

- a) CARGA PERMANENTE (g): são cargas referentes ao peso próprio da estrutura e ao peso próprio de elementos construtivos permanentemente ligados a estrutura, como instalações hidráulicas e elétricas. Possuem pequena variação ao longo de toda vida útil da estrutura, com valores praticamente constantes.
- b) CARGA ACIDENTAL (q): são cargas que variam significativamente de intensidade ao longo de sua vida útil, por atuação de pessoas, mobiliário, veículos ou variação de temperatura.

Em estruturas constituídas de concreto armado, o peso específico de suas peças varia na ordem de 2500kg/m^3 , bem como nas estruturas metálicas, os perfis variam de peso em torno de 7850kg/m^3 . Mesmo com maior densidade, o peso estrutural dos perfis de aço sobre as fundações pode ser até 10 vezes menor do que peças em concreto (PINI, 2017). Esse fato se dá pelo aço suportar a mesma carga em um espaço de área relativamente menor do que as estruturas em concreto, ou seja, enquanto que um perfil metálico suporta cargas ocupando uma determinada área, o concreto necessita de dimensões maiores para suportá-la. Essa diferença de suporte pode resultar em uma estaca a menos por base, reduzindo consideravelmente o custo financeiro nas fundações.

4.2 Vãos teóricos máximos

Projetos que necessitam vencer grandes vãos ou grandes alturas, irão demandar um sistema estrutural que possua elementos mais resistentes. Estética e funcionalmente, estruturas que ocupam menores espaços liberam áreas para a ocupação útil da edificação, podendo ser um dos aspectos primordiais para definição do sistema estrutural.

Segundo Arnold Van Acker (2002) a principal diferença entre as estruturas moldadas no local e as pré-moldadas está na possibilidade de maiores vãos e seções transversais reduzidas (no caso das peças protendidas). As estruturas pré-moldadas podem ter tamanhos e formas diferentes (Tabela 6), porém suas dimensões e desempenhos são fornecidos por meio dos catálogos de seus fabricantes (ACKER, 2002).

Tabela 6 – Diretrizes para comprimentos e vãos de pilares.

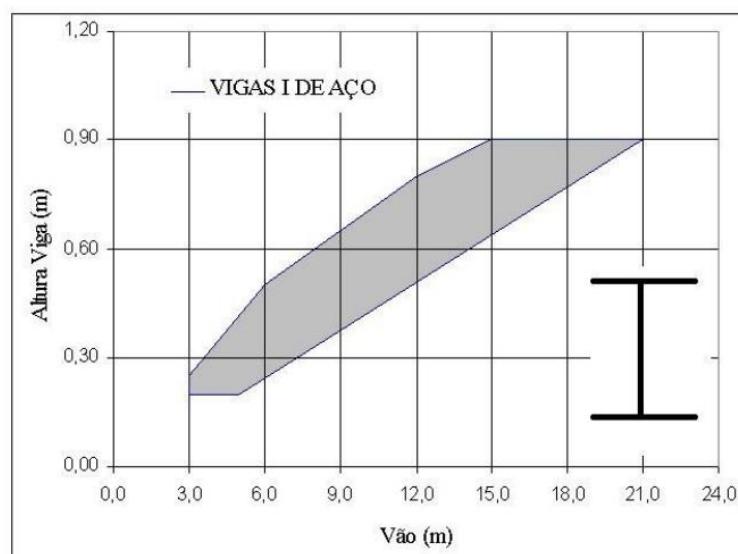
	Mínimo	Ótimo	Máximo
Comprimentos das vigas (m)	5	9-12	14
Vão das lajes de pisos (m)	6	7-14	18-20
Altura do pilar (m)	3-4	6-12	20-25

Fonte: ACKER, 2002.

Ábacos e tabelas de pré-dimensionamento são instrumentos largamente utilizados na engenharia e arquitetura para apoio ao desenvolvimento de projetos estruturais, permitindo uma determinação rápida e bastante precisa, considerando os diversos parâmetros que influenciam um comportamento estrutural. Elaborados pelo professor Philip A. Corkill, da Universidade de Nebraska, a Figura 9 apresenta um gráfico referente a vigas simples de perfil metálico “I”, que exibem nas abcissas as variáveis referentes ao tamanho do vão e nas ordenadas os dados para o pré-dimensionamento da altura do perfil.

A representação do gráfico não é em forma de linha, mas de uma superfície contida entre duas linhas; a superior representa os valores máximos de pré-dimensionamento e a inferior, os valores mínimos. O uso do limite inferior ou superior depende do bom senso. Usa-se o limite inferior quando a estrutura é pouco carregada e o limite superior quando muito carregada, ou na dúvida, usa-se a região intermediária (RIBEIRO, 2017).

Figura 9 - Gráfico de pré-dimensionamento para vigas simples de aço.



Fonte: YOPANAN, 2000.

Considerando pertinente conciliar alta resistência e esbeltez, pode-se considerar que um maior alcance dos vãos em uma estrutura representará consideráveis reduções das áreas totais de alvenarias e seus revestimentos, permitindo flexibilidade e liberdade para ampliações. Estes estão entre os principais motivos pelos quais as estruturas metálicas ganham cada vez mais preferência nos projetos de construção civil. Contudo, a tradição arquitetônica de sistemas em concreto ainda impera no Brasil, produzindo obras robustas com uma flexibilidade maior de contornos e formas.

4.3 Custos financeiros

Um dos grandes desafios do setor construtivo é superar o senso comum de que o pré-fabricado, seja de aço ou concreto, é oneroso. É preciso avaliar se o sistema estrutural representa um acréscimo tecnológico, se agrega valores à edificação ou até mesmo se a longo prazo o retorno desse investimento será mais breve.

Todo processo de concepção de um empreendimento possui custos fixos e custos variáveis. Os custos variáveis são em função da produção, ou seja, caso em uma obra se produza mais em um determinado mês, gastam-se insumos a mais proporcionalmente a produção deste mês. Já os custos fixos são independentes da quantidade produzida, não dependendo do adicional de produção executado naquele mês (como os custos de manutenção do canteiro de obra). A combinação entre os custos fixos e os custos variáveis leva a se obter, para cada tipo de empreendimento, um ponto de equilíbrio essencial entre ao aumento dos custos variáveis (em função do aceleração da obra) e a redução dos custos fixos (em função da redução no prazo de execução).

Estruturas previamente fabricadas são elementos industrializados que geralmente possuem um custo inicial elevado em relação ao sistema utilizado convencionalmente, no entanto, esses custos não devem ser analisados separadamente. A mão de obra, por exemplo, será empregada da fábrica, reduzindo sua quantidade na obra e amortizando também a geração de resíduos. Essas estruturas podem ainda resultar ganhos mais rapidamente, pois as obras são entregues em menor prazo, gerando retorno antecipado ao investidor.

4.4 Desempenho aos deslocamentos

Verificações referentes aos estados limites últimos e de serviço são efetuadas por meio de uma análise estrutural, determinando quais os efeitos das ações na estrutura (esforços normais, cortantes, fletores, torsões e deslocamentos). Segundo Argenta (2016), esta análise deve ser feita com um modelo que permita representar a resposta da estrutura e de seus materiais, levando em consideração todos os esforços solicitantes relevantes. Esse tipo de análise estrutural pode ser classificado de acordo com as considerações do comportamento do material ou em relação aos efeitos dos deslocamentos da estrutura.

Os valores máximos requeridos para os deslocamentos de uma estrutura são dados normativos, e servem comparação com os resultados de uma análise computacional. Os deslocamentos obtidos em uma peça são antagônicos à sua rigidez, que por sua vez depende das dimensões de sua seção transversal. Ou seja, quanto menores forem as dimensões da seção transversal maiores são seus deslocamentos.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, deslocamentos limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura. Os resultados dos deslocamentos em estruturas de concreto obtidos por softwares podem ser analisados e comparados com os valores limites normativos apresentados na tabela 13.2 da ABNT NBR 6118:2014. Referentes a estruturas em aço, esses deslocamentos limites devem ser comparados pela Tabela C.1 do Anexo C da ABNT NBR 8800:2008.

4.5 Tempo de construção

A priori, quanto menor for o tempo de construção, melhor. Contudo para obras convencionais, esse tempo deve conciliar com a possibilidade de desembolso do investidor. Já para uma obra comercial, qualquer adiantamento na construção é vantajoso, devido a propiciar significativas reduções no tempo de retorno do investimento.

Seguramente, a principal marca das estruturas tanto de aço quanto de concreto pré-moldado, é sua rapidez. Se a escolha for por alguma dessas duas estruturas, pode se executar as fundações ao mesmo tempo que as estruturas superiores estão sendo produzidas. Segundo o Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA) um cronograma bem elaborado permite a possibilidade de abertura de outras frentes de obra simultaneamente (instalações, lajes, vedações), reduzindo o tempo de execução em até 40%, se comparado com os sistemas convencionais de concreto armado moldado *in loco*.

Na construção civil, o tempo de construção está sempre envolto por certa imprecisão, porém este não pode ser produto de mera adivinhação. O planejador deve se basear em algum parâmetro existente para estimar a duração possível das atividades. Portanto, a fonte para geração de durações de um serviço orçamentário são as composições de custos unitários, representadas em tabelas que contêm os insumos do serviço em questão, com seus respectivos índices (ou coeficiente de consumo). Segundo Mattos (2010) índice é a incidência de cada insumo na execução de uma unidade do serviço. O índice, então, é sempre expresso como unidade de tempo por unidade de trabalho (h/kg, h/m², min/un, dia/m³, etc).

Considerando o índice de cada trabalhador, Mattos (2010) define que para se calcular a duração de um serviço em função da equipe, se é necessário ter ciência da quantidade de recursos, do índice referente a cada serviço e da jornada de trabalho diária dos trabalhadores, dispostos na Equação 4.

$$\text{DURAÇÃO} = \frac{\text{QUANTIDADE DE RECURSOS} \times \text{ÍNDICE}}{\text{EQUIPE} \times \text{JORNADA}} \quad (\text{Equação 4})$$

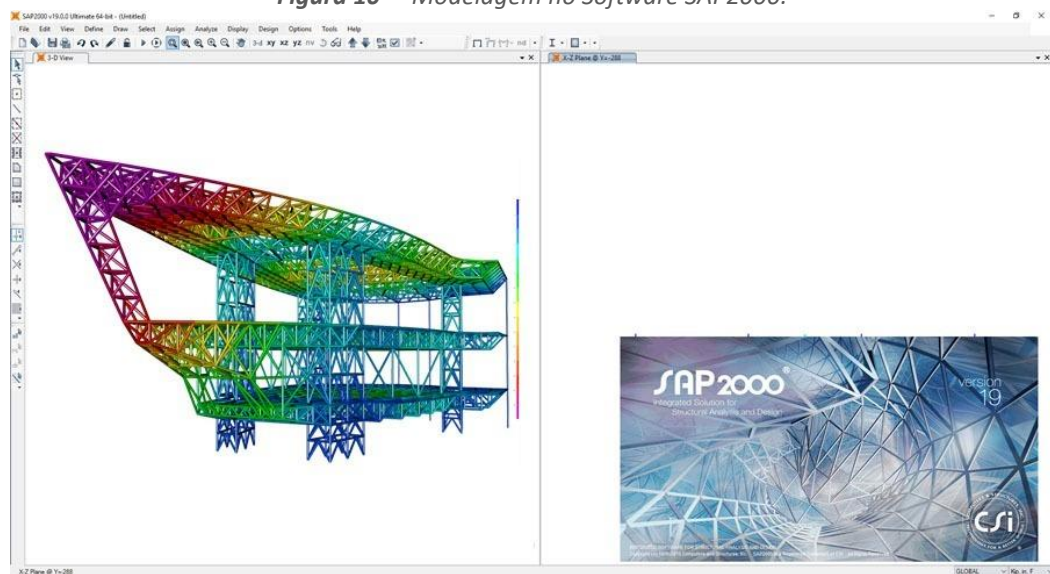
Manter uma constância no ritmo da obra é de essencial relevância para execução do prazo determinado no planejamento de cronograma de montagem estrutural. Cronograma esse que deve estar associado com a capacidade de confecção da fábrica, para que não se exceda a capacidade de armazenamento canteiro de obras com desembarque desmoderado de peças.

5.0 SOFTWARES

5.1 SAP2000

Baseado no Método dos Elementos Finitos, o *Structural Analysis Program* (SAP2000) é um software de análise estrutural onde se é possível modelar, dimensionar e analisar desde vigas simples, pórticos complexos em 3D, estruturas laminares como lajes e cascas, até estruturas tridimensionais como treliças espaciais.

Figura 10 – Modelagem no Software SAP2000.



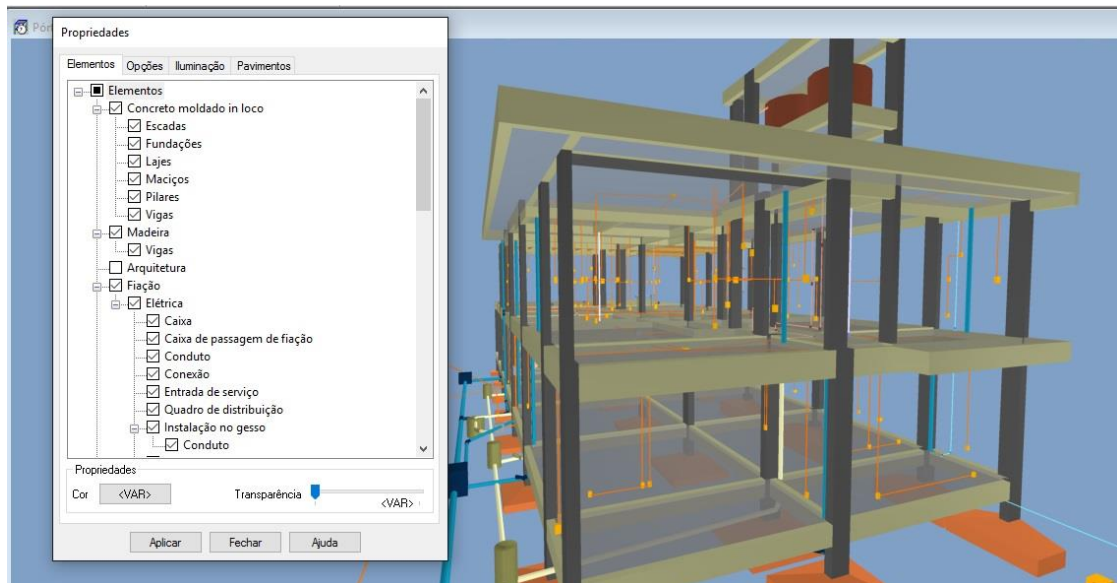
Fonte: CIVILAX, 2017.

Com uma modelagem eficaz para diversos tipos de estrutura, é capaz de executar análises avançadas com um gerador de malhas de alta performance para resolução de qualquer tipo de complexidade: linear, não linear, estabilidade, dinâmica, sísmica, etc. Com todos os detalhes das Normas Brasileiras (NBR), das normas americanas ou do Eurocode, gera memórias de cálculo de alta qualidade profissional, permitindo a consideração de diversos carregamentos, esforços dinâmicos, efeitos de gradiente de temperatura e pressões, análise de esforços devidos a deslocamentos impostos (como o recalque de uma fundação, por exemplo), permitindo até a simulação com concreto protendido (MELO, 2018).

5.1 AltoQi Eberick

Possuindo recursos que abrangem todas as etapas do projeto, o *AltoQi Eberick* é um software que elabora projetos estruturais em concreto armado moldado in-loco, pré-moldado, alvenaria estrutural e estruturas mistas.

Figura 11 – Modelagem no Software Eberick.



Fonte: EBERICK NEXT, 2017

O Eberick possui um ambiente de CAD próprio, com recursos específicos para modelagem de pilares, vigas, lajes, escadas, fundações, reservatórios, muros e elementos de outros materiais. O modelo criado pode ser visualizado no pântico 3D, facilitando o entendimento da geometria proposta. Com recurso de visualização em pântico 3D, também realiza o dimensionamento segundo as normas brasileiras, com verificação dos estados limites e visualização e esforços e resultados das armaduras. Gera pranchas finais contendo detalhamentos, planta de formas locação e cortes de acordo com a geometria da estrutura, incluindo informações como: cotagem, hachuras, eixos para locação e tabelas de sobrecargas. O programa permite criar um documento único com o memorial de cálculo da edificação, além de gerar um relatório com o resumo dos materiais da edificação. (CARVALHO, 2018).

6.0 METODOLOGIA

Tendo em vista que o objetivo principal é se estabelecer metodologias de avaliação para o dimensionamento de estruturas metálicas e de concreto pré-moldado, correspondentes a cada característica em análise, foram-se levantadas revisões bibliográficas, exploração de dados, modelagem em softwares e consulta à catálogos.

Com uma análise exploratória, o desenvolvimento do estudo de caso decorreu da utilização dois softwares para o dimensionamento e modelagem das estruturas:

- **SAP 2000 v20:** usado para a modelagem da estrutura metálica;
- **AltoQi Eberick 2018:** usado para o dimensionamento da estrutura em concreto pré-moldado;

Estabelecendo uma análise quantitativa, os resultados se deram por meio da explanação de 5 metodologias de avaliação para escolha do sistema estrutural de uma edificação:

- Identificação do peso estrutural por meio de catálogos e análise de sua influência no custo das fundações;
- Análise dos máximos vãos que cada sistema pode alcançar, perante as solicitações impostas;
- Cálculo dos custos financeiros relacionados ao fornecimento e montagem das estruturas, bem como sua manutenção em um período de 10 anos, e o custo com fundações de cada sistema;
- Análise do desempenho dos sistemas aos deslocamentos, referentes aos seus respectivos limites impostos por norma;
- Cálculo do tempo de construção do sistema estrutural por meio dos índices referentes as composições de preço unitário de cada elemento estrutural.

Ponderando-as proporcionalmente, será explicitado o sistema estrutural mais adequado para o estudo de caso específico: o Bloco F do Edifício Sede Administrativo da CAESB.

7.0 ESTUDO DE CASO

Com 1.321,29m² de área construída, o estudo de caso em análise será o Bloco F do Edifício Sede Administrativo da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), situado em Águas Claras, Distrito Federal – Brasil (Figura 10), dispondo de um sistema apertado em aço cuja arquitetura concilia modernidade e sustentabilidade.

Figura 10 – Localização do edifício Sede Administrativo da Caesb.



Fonte: Google Earth e CPC Estruturas.

7.1 Modelagem do sistema em Estrutura Metálica

Projetada com aço USI SAC 41-E (atualmente reformulado como USI SAC 300), a estrutura metálica modelada foi dimensionada com uma linha de aço equivalente, o ASTM A 709 Grau 50W. Trata-se de aços de alta resistência e baixa liga, com adição considerável de manganês, possuindo boas características de soldabilidade e excelente aderência para a aplicação da pintura, além de serem aços com excelente resistência à corrosão atmosférica. ¹

Tabela 7 – Composição química do Aço ASTM A709 GR50.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)				
C	Si	Mn	P	S
0,26	0,40	0,40-0,90	0,04	0,05

Fonte: HZZSTEEL, 2014.

¹ HZZSTEEL – Placa de aço alta resistência carbono e baixa liga ASTM A709/A709M

Tabela 8 – Propriedades Mecânicas do Aço ASTM A709 GR50.

PROPRIEDADES MECÂNICAS		
Limite de escoamento mínimo f_y (MPa)	Limite de resistência f_u (MPa)	Alongamento %
400	650	20

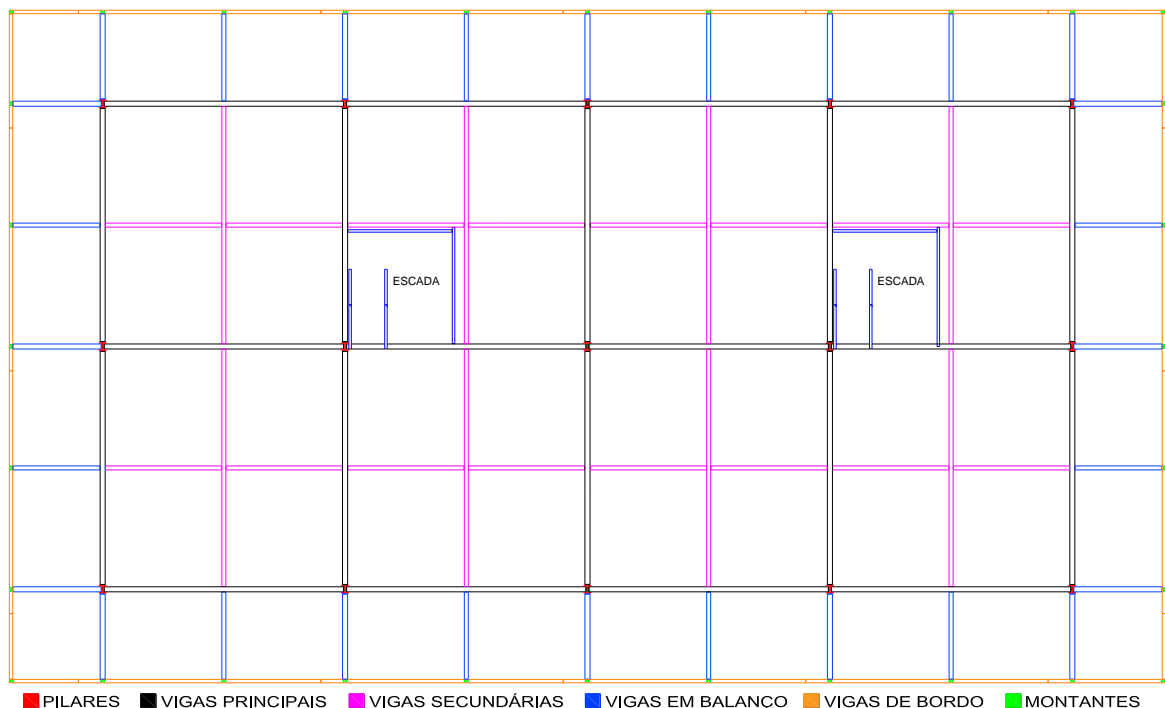
Fonte: HZZSTEEL, 2014.

Disposta por 15 pilares de perfil “H” do tipo HP310x93, seus pilares possuem 7.474mm de altura total, sendo 3.832mm de altura no pavimento térreo e 3.642mm de altura no primeiro pavimento, compondo-se ordenadamente a cada 10.000 mm.

As vigas principais se compreendem em 44 perfis “I” do tipo W530x82, com 10.000mm de comprimento. As vigas secundárias são perfis “I” do tipo W530x66, abrangendo 16 perfis de 10.000mm e 32 perfis de 5.000mm. Vigas em balanço contam com 56 perfis “I” do tipo W530x92, com 3750mm de comprimento. Já as vigas de bordo contêm em 64 perfis do tipo W410x38,8, compostos por 2 tipos de comprimentos: 16 perfis de 3.850mm e 48 perfis de 5.000mm.

Ordenados em 32 perfis do tipo W150x13, os montantes possuem de 3.642mm de altura. Estipulados com lajes do tipo *steel deck*, seu piso se dispôs em 1600m² de área interna e 1.042,58m² de área externa.

Figura 11 – Planta baixa do Bloco F do edifício Administrativo da CAESB.



Fonte: AUTOR, 2018.

Para modelagem da estrutura metálica, utilizou-se o software *SAP 2000*, onde o primeiro procedimento é a determinação das unidades de medidas, sendo adotadas como: kgf, mm, C. Sequencialmente, determinou-se o tipo de aço, o ASTM A709 GRAU 50W, e se inseriu as dimensões de cada peça, sendo escolhido pelo autor o catálogo da Gerdau S.A, que fornece o padrão de medidas para perfis estruturais apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Tabela de perfis estruturais.

	BITOLAS (mm x kg/m)	MASSA LINEAR (kg/m)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)
Pilares	HP 310x93	93	303	308	13,1	13,1
Vigas principais	W 530x82	82	528	209	9,5	13,3
Vigas secundárias	W 530x66	66	525	165	8,9	11,4
Vigas em balanço	W 530x92	92	533	209	10,2	15,6
Montante	W 150x13	13	148	100	4,3	4,9
Vigas de bordo	W 410x38,8	38,8	399	140	6,4	8,8

Fonte: Gerdau, revisão 09/2017.

Entretanto, para inserção das medidas no software *SAP 2000*, as nomenclaturas adotadas se diferem, podendo ser relacionadas pela Tabela 10:

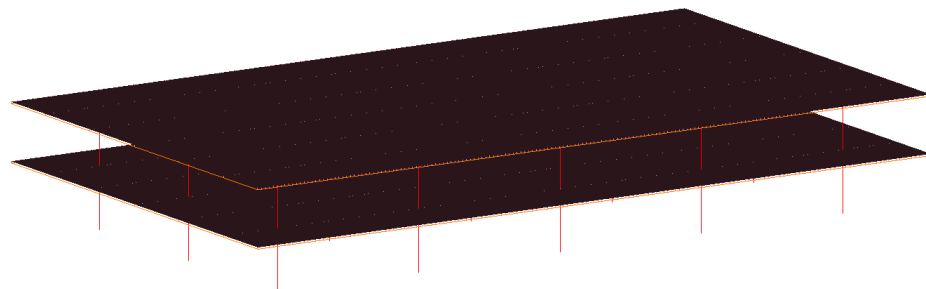
Tabela 10 – Tabela de equivalências de nomenclaturas usuais no SAP 2000.

	EQUIVALÊNCIAS		
Outside height	t3	d	Altura exterior
Top flange width	t2	bf	Largura da mesa superior
Top flange thickness	tf	tf	Espessura da mesa superior
Web thickness	tw	tw	Espessura da alma
Bottom flange width	t2b	bf	Largura da mesa inferior
Bottom flange thickness	tfb	tf	Espessura da mesa inferior

Fonte: AUTOR,2018.

Para se estruturar o croqui do sistema apresentado na Figura 12, foi utilizado o software Autocad 2018, usando como base a planta estrutural original em sistema metálico, criando assim uma estrutura na coordenada cartesiana “Z”, onde os pilares e montantes se projetaram em relação ao seu centro geométrico, as vigas em relação ao seu eixo central e às lajes, pinos rígidos e mesa de concreto em malha 3D.

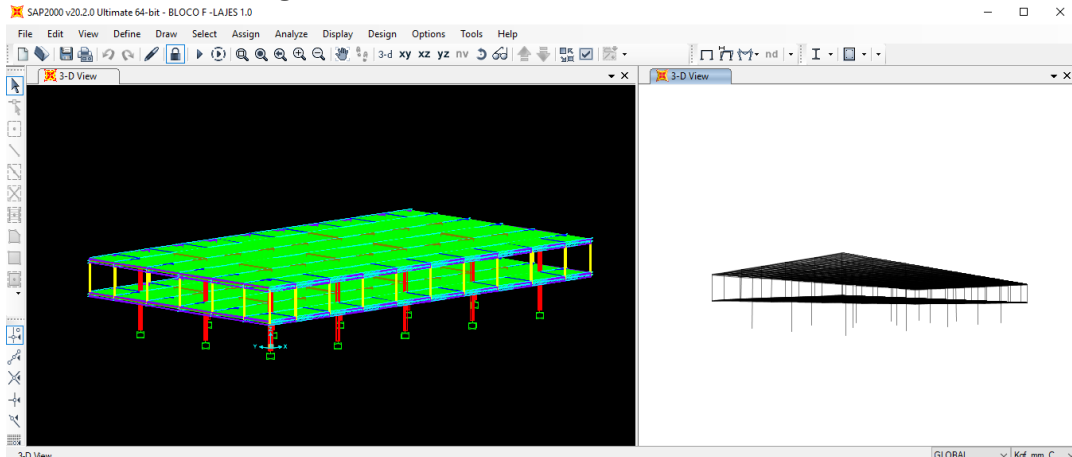
Figura 12 – Croqui do sistema metálico no software AutoCad.



Fonte AUTOR,2018.

Com cada parte estrutural subdividida em *layers* e salvo em formato DXF, adicionou-se o desenho no *SAP 2000* (Figura 13), inserindo cada parte estrutural e interligando-a à cada perfil inserido. Pilares, vigas e montantes, foram interligados ao *layer Frames*. Já nas lajes, o pino rígido foi associado como *NL Links* e a mesa como elemento de casca ao *layer Shells*.

Figura 13 - Modelo estrutural metálico no SAP2000.



Fonte: AUTOR, 2018.

Para o dimensionamento das lajes foi escolhido a laje tipo Steel Deck MF 75, da Metform, recomendado para empreendimentos industriais com necessidade de resistência a cargas elevadas, possuindo as especificações na Tabela 11.

Tabela 11 – Especificações da Laje Steel Deck.

Altura total da laje (mm)	Espessura (mm)	Carga sobreposta (kN/m ²)	Peso Próprio (kN/m ²)
140	0,8	7,54	2,50

Fonte: METFORM, 2015.

Para lajes de piso, o fornecedor recomenda que a altura de concreto seja maior ou igual a 140mm. Para se projetar uma laje é levado em consideração dois fatores: sobrecarga e carga de revestimento. Considerada como sobrecarga 2kN/m² e 1kN/m² a carga de revestimento, ao todo, a carga sobreposta foi de 3kN/m², sendo abaixo do especificado pelo fabricante e assim resistindo bem as cargas.

Para inserção da laje no *SAP2000*, foram-se estabelecidos pinos rígidos de 107,5mm de altura e a capa de concreto com 140mm de altura.

Para adição do carregamento nas estruturas, empregou-se a fórmula da combinação última normal referente ao Estado Limite Último imposto pela ABNT NBR 8681:2004 – Ações e segurança nas estruturas, representada pela seguinte equação:

$$F_d = \sum F_g \cdot \gamma_g + F_{q_i} \cdot \gamma_{q_i} + \sum F_{q_j} \cdot \gamma_{q_j} \cdot \psi_0 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

CARGA PERMANENTE (F_g)	Peso Próprio
CARGAS VARIÁVEIS (F_q)	Uso e Ocupação Vento

O valor característico F_g **relativo a carga permanente do peso próprio da estrutura**, será determinado no item 8.1.

Para o cálculo do valor característico F_q **relativo a carga variável de uso e ocupação**, utilizou-se dados da Tabela 2 da ABNT NBR 6120:2000, usando como destinação funcional do local o item 14 da tabela: Escritório – Salas de uso geral e banheiros; sendo definido como valor mínimo 2kN/m^2 .

Para o cálculo do valor característico F_q **relativo a carga variável de vento**, utilizou-se o software Visual Ventos cujos dados se baseiam na ABNT NBR 6123:2013, sendo calculada a carga de vento para edificação como $124,84\text{kN}$ (sucção).

Os coeficientes de ponderação foram determinados pela Tabela 1 da ABNT NBR 8800:2008, onde γ_g relativo a ação permanente de peso próprio da estrutura metálica foi determinado como **combinação normal**, assim como a ação variável γ_q da ação do vento e da ação de uso e ocupação. Os valores de combinação ψ_0 relativo a ações variáveis de uso e ocupação e força de vento, foram determinados pela Tabela 2 da ABNT NBR 8800:2008.

Determinado todos coeficientes e cargas, foi determinado as possíveis combinações de cargas. Realizada a inserção de todas condicionantes e a aplicação dos esforços, processa-se então a estrutura, sendo possível então obter o relatório contido no Anexo A.

7.2 Modelagem do sistema em Estrutura Pré-Moldada

No modelo proposto foram lançados 3 pavimentos, compondo-se pela fundação tipo bloco com 2m de altura, pelo pavimento térreo com 3,83m de pé direito, e primeiro pavimento com 3,64m de pé direito, totalizando uma edificação 7,47m de altura.

Para estruturação do croqui do sistema pré-moldado foi utilizado o software Autocad 2018, usando como base a mesma planta estrutural utilizada no sistema

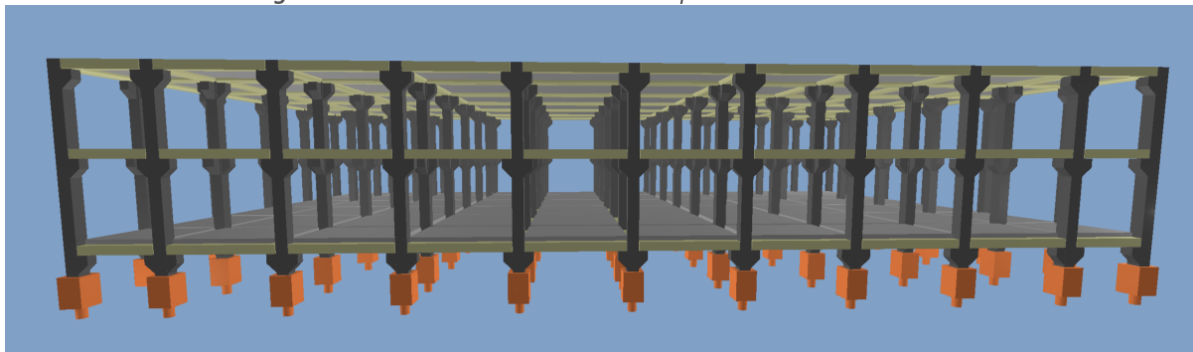
metálico, porém se criando linhas de eixo central no plano cartesiano X-Y, referentes a todos componentes do sistema e assim o inserindo no software *AltoQi Eberick*, por meio do arquivo em formato DXF.

Dimensionada para atender as mesmas solicitações que a estrutura metálica (peso próprio, sobrecarga de 200kgf/m² e 100kN/m² de revestimento), a estrutura necessitou de uma disposição de 45 pilares internos e 32 pilares externos, todos com seção 50x50cm e consolos tipo trapezoidais.

As vigas principais distribuíram-se distintamente entre internas e externas com dimensões de 40x40cm, possuindo 288 vigas internas com 4,50m de comprimento e 84 vigas externas de 3,10m de comprimento. As vigas externas de bordo foram peças com dimensões de 40x40cm porém com comprimentos diferentes, compondo-se de 72 vigas de 3,10m e 24 vigas com 4,50m de comprimento.

Para as lajes, foram adotadas o tipo alveolar de 20cm de espessura e 5cm de capa de concreto, sendo 12 lajes de 3,10x3,10m, 94 lajes de 4,50x4,50m e 72 lajes de 4,50x3,10m.

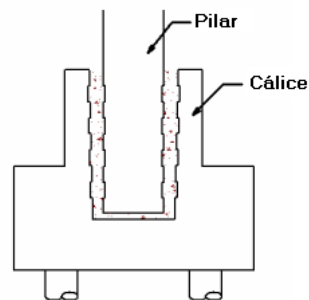
Figura 14 - Modelo estrutural concreto pré-moldado no Eberick.



Fonte: AUTOR, 2018.

No **pavimento fundações**, foram-se lançadas fundações tipo bloco engastado, com apoios trapezoidais e ligamento com pilar tipo rugosa (Figura 15), possuindo 60 lajes de contato com o solo e 136 vigas baldrame de apoio retangular com consolos trapezoidais.

Figura 15 - Ligação entre o pilar e o cálice, tipo rugosa
Ligação Rugosa



Fonte: FRANCESCHI, 2018.

No **pavimento térreo**, as 58 vigas são do tipo alveolares (possuindo 2 vãos para inserção das escadas), as 136 lajes possuem apoios retangulares e consolos trapezoidais. No **primeiro pavimento**, as 60 lajes são do tipo alveolares para ambiente externo e 136 vigas com apoios retangulares e consolos trapezoidais.

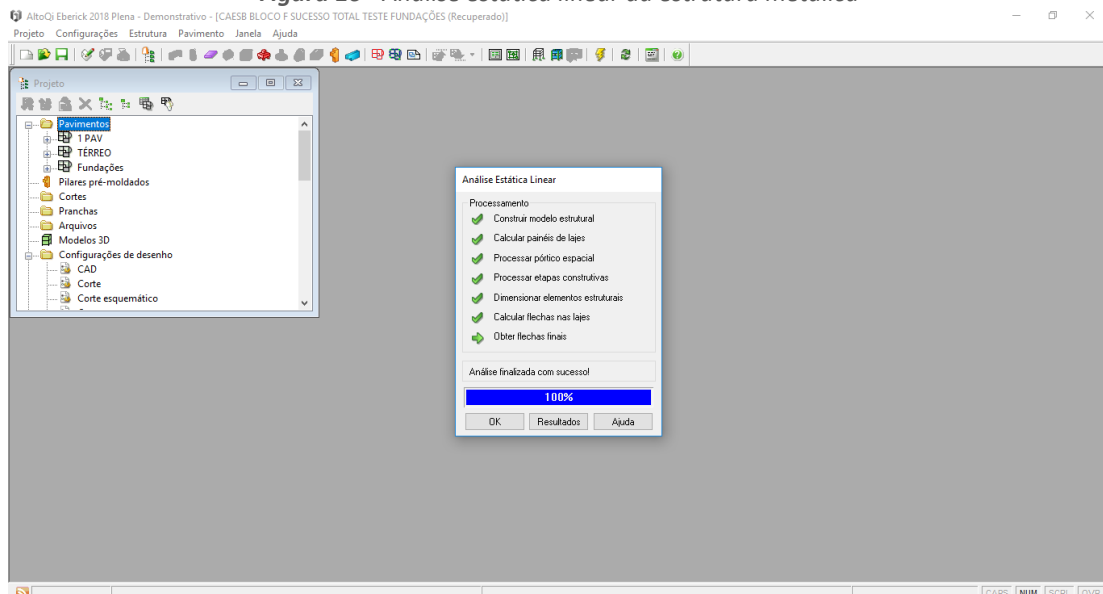
Tabela 12 – Disposição de peças por pavimento.

	PILARES	VIGAS	LAJES
FUNDAÇÕES		136	60
TÉRREO	77	136	58
1 PAV		136	60

Fonte: AUTOR, 2018.

Realizada a inserção de todas condicionantes, processa-se então a estrutura para a análise estática linear (Figura 16), análises perante o dimensionamento e às verificações dos estados limites.

Figura 16 - Análise estática linear da estrutura metálica



Fonte: AUTOR, 2018.

8.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS

8.1 Peso estrutural

A determinação do valor relativo ao peso próprio da estrutura metálica se deu referente ao peso unitário linear, determinado pelo catálogo de perfis estruturais da Gerdau, associado ao comprimento de cada peça, como apresentado na Tabela 15.

Tabela 13 – Detalhamento do peso próprio estruturas metálicas.

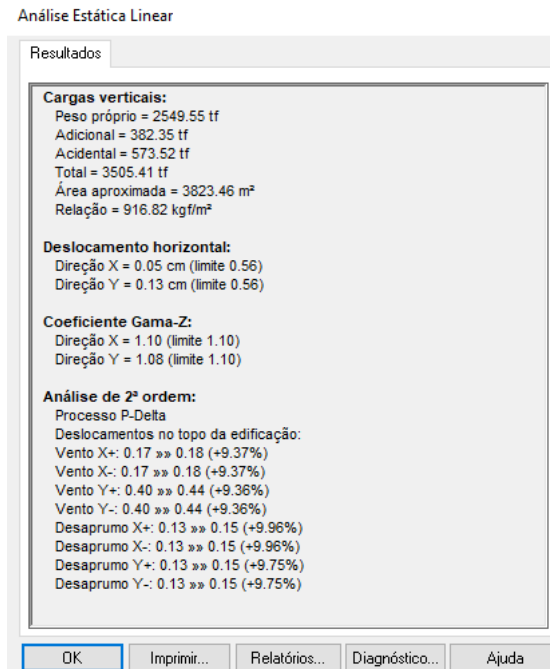
	QUANTIDADE	COMPRIMENTO	PESO UNITÁRIO	PESO PRÓPRIO
PILARES	15	7,47m	93 kg/m	10.430,42 kg
VIGAS PRINCIPAIS	44	10m	82 kg/m	36.080,00 kg
VIGAS SECUNDÁRIAS	16	10m	66 kg/m	10.560,00 kg
	32	5m	66 kg/m	10.560,00 kg
VIGAS EM BALANÇO	56	3,75m	92 kg/m	19.320,00 kg
MONTANTES	32	3,64m	13 kg/m	1.515,07 kg
VIGAS DE BORDO	16	3,85m	38,8 kg/m	2.390,08 kg
	48	5m	38,8 kg/m	9.312,00 kg
LAJE STEEL DECK	60	1.042m ²	254,93 kg/m ²	265.779,71 kg
	64	1.600m ²	254,93 kg/m ²	407.880 kg

Fonte: AUTOR, 2018.

Para o peso relativo às lajes, a referência se deu na especificação do catálogo da Metform para lajes *Steel Deck* MF75, sendo 2,50kN/m².

Referente ao valor relativo ao peso próprio da estrutura pré-moldada, o programa *Eberick* o fornece, sendo **3.505,41tf**.

Figura 17 - Peso próprio estrutura pré-moldada.



Fonte: AUTOR, 2018.

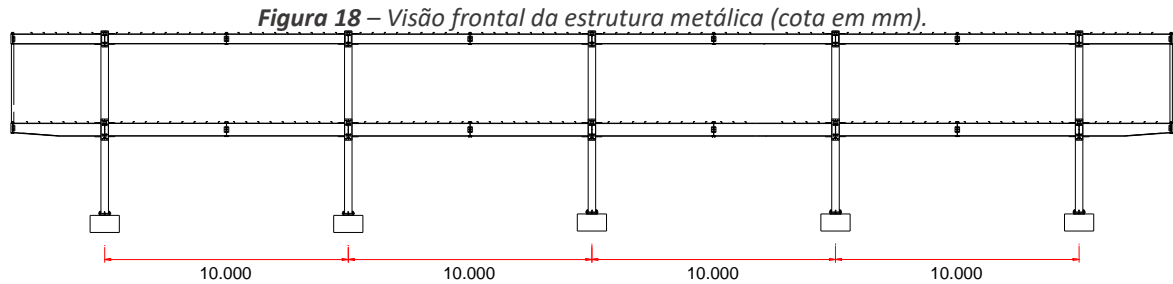
ESTRUTURA PRÉ-MOLDADA	3.505.410 kg	3.505,41 t
ESTRUTURA METÁLICA	773.827,27 kg	773,82 t

Com uma diferença de 2.731,58 toneladas (2.731.582,73 kg), o peso da estrutura metálica é 4,53 vezes menor do que a estrutura em concreto. Esta diferença de peso influencia na quantidade e na dimensão dos elementos de fundação, gerando assim interferência no custo final, que será detalhada no item 7.3.

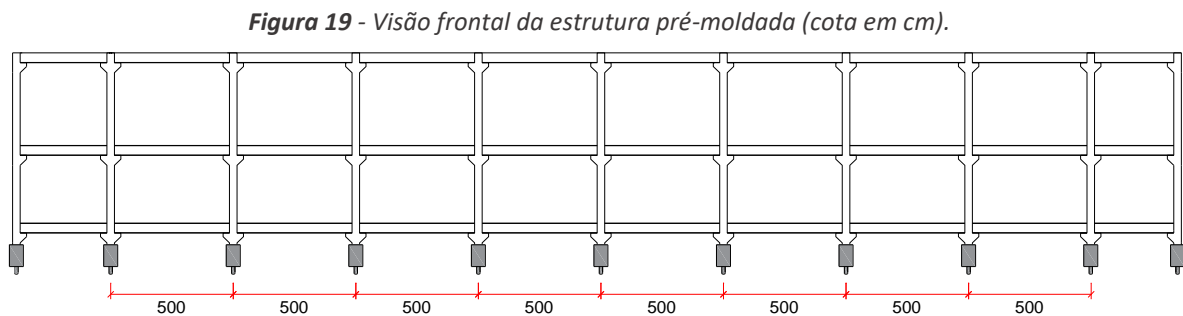
8.2 Vãos teóricos máximos

Grandes espaços entre pilares compõem uma maior área útil da edificação, proporcionando amplos espaços com a possibilidade de conexão entre ambientes, agregando valor estético ao empreendimento.

Para o edifício em estudo, os vãos da estrutura metálica foram dispostos a cada 10m (Figura 18), conforme o projeto estrutural executado. Já os vãos da estrutura pré-moldada foram dispostos a cada 5m (Figura 19), em relação a demanda estrutural.



Fonte: AUTOR, 2018.



Fonte: AUTOR, 2018.

Considerando que a estrutura em concreto pré-moldado possui 77 pilares de 0,50x0,50cm de dimensão e a estrutura metálica possui 15 pilares de dimensões externas de 0,30x0,30m, essa diferença de dimensões resulta na perda de 17,9m² de área útil na edificação. Isso influi na arquitetura do empreendimento devido a limitação da liberdade para o arranjo das áreas úteis, pois com estruturas metálicas os vãos são de 10 metros com peças esbeltas, já nas estrutura pré-moldada, os vãos são de 5 metros e com peças de maiores dimensões.

Pelos vãos serem maiores nos sistemas em aço, estes são os mais adequados para empreendimentos de uso corporativo, onde esteticamente áreas mais amplas proporcionam interatividade entre os funcionários e a transmissão de uma imagem mais agradável, por não haver obstáculos com paredes ou pilares.

8.3 Custos financeiros

Para a estimativa do orçamento das estruturas, utilizou-se a base de dados da CYPE Ingenieros, uma empresa espanhola que possui uma ferramenta referente a geração de preços para construção civil em diversos países, incluindo o Brasil, cuja extensa biblioteca de orçamentação abrange diversas etapas da construção civil,

inclusive o detalhamento de suas composições em relação ao fornecimento e montagem.

8.3.1 Estruturas

8.3.1.1 Estrutura metálica

Para determinação da estrutura metálica, nos pilares foram determinadas peças simples com perfis A 572 Grau 50 laminados a quente com ligações soldadas, o mais aproximado com o aço do caso em estudo, o ASTM A 709 Grau 50W (Tabela 16).

Tabela 14 – Composição de preços de aço em pilares.

kg AÇO EM PILARES				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
kg	Aço laminado A 572 Grau 50, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 572, peças simples, para aplicações estruturais.	1,050	2,42	2,54
l	Primer de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	0,050	13,41	0,67
h	Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	0,015	6,99	0,10
h	Montador de estruturas metálicas.	0,024	21,82	0,52
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,024	17,66	0,42
%	Custos diretos complementares	2,000	4,25	0,09
Custo de manutenção decenal: R\$ 0,13 nos primeiros 10 anos.			Total:	4,34

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Para as vigas, foram utilizados os mesmos tipos de aços, o A 572 Grau 50 simples e laminado a quente com ligações soldadas (Tabela 17).

Tabela 15 - Composição de preços de aço em vigas.

kg AÇO EM VIGAS				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
kg	Aço laminado A 572 Grau 50, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 572, peças simples, para aplicações estruturais.	1,050	2,42	2,54
l	Primer de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	0,050	13,41	0,67
h	Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	0,015	6,99	0,10
h	Montador de estruturas metálicas.	0,024	21,82	0,52
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,024	17,66	0,42
%	Custos diretos complementares	2,000	4,25	0,09
Custo de manutenção decenal: R\$ 0,13 nos primeiros 10 anos.			Total:	4,34

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Para os montantes, peças simples laminadas de aço A-36, com ligações soldadas (Tabela 18).

Tabela 16 - Composição de preços de aço em pilares.

kg AÇO EM PILARES				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
kg	Aço laminado A 36, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 36, peças simples, para aplicações estruturais.	1,050	2,26	2,37
l	Primer de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	0,050	13,41	0,67
h	Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	0,015	6,99	0,10
h	Montador de estruturas metálicas.	0,024	21,82	0,52
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,024	17,66	0,42
%	Custos diretos complementares	2,000	4,08	0,08
Custo de manutenção decenal: R\$ 0,12 nos primeiros 10 anos.			Total:	4,16

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Para as lajes, foram consideradas lajes mistas de 14cm de altura e 0,80mm de espessura, com chapa de aço galvanizado com forma trapezoidal (Tabela 19). Concreto armado realizado com concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, com brita 1, consistência S100 dosado em central, concretagem com bomba, e aço CA-50. Tela eletrossoldada Q 92 de aço CA-60 apoiada sobre toda estrutura metálica, incluindo peças angulares para arremates perimetrais e de consolas, parafusos para fixação das chapas, arame de atar, separadores e agente filmógeno para a cura de concretos e argamassas.

Tabela 17 - Composição de preços de laje mista.

m ² LAJE MISTA COM CHAPA COLABORANTE				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
m ²	Perfil de chapa de aço galvanizado com forma trapezoidal, de 0,8 mm de espessura, 59 mm de altura do perfil e 210 mm de distância entre-eixos, 9 a 10 kg/m ² e um momento de inércia de 50 a 60 cm ⁴ .	1,050	44,63	46,86
m	Peça angular de chapa de aço galvanizado, para arremates perimetrais e de consolas.	0,040	63,73	2,55
Un	Parafuso autoperfurante rosca-chapa, para fixação de chapas.	6,000	0,27	1,62
Un	Separador certificado para lajes.	3,000	0,18	0,54
kg	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	1,050	3,92	4,12
kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,029	2,53	0,07
m ²	Tela eletrossoldada Q 92 15x15 cm, com fios longitudinais de 4,2 mm de diâmetro e fios transversais de 4,2 mm de diâmetro, aço CA-60, segundo ABNT NBR 7481.	1,150	8,40	9,66
m ³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953.	0,107	324,33	34,70
Un	Conector de aço galvanizado com cabeça de disco, de 19 mm de diâmetro e 80 mm de altura, para fixar a estrutura de aço através da solda à chapa colaborante.	10,000	7,64	76,40
l	Agente filmógeno para a cura de concretos e argamassas.	0,150	4,47	0,67
h	Caminhão bomba estacionado na obra, para bombeamento de concreto. Inclusive parte proporcional de deslocamento.	0,010	383,71	3,84
h	Equipamentos e elementos auxiliares para solda de conectores.	0,504	39,64	19,98
h	Montador de estruturas metálicas.	0,759	21,82	16,56
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,294	17,66	5,19
h	Armador.	0,042	21,82	0,92
h	Ajudante de armador.	0,041	17,66	0,72
h	Oficial de trabalhos de concretagem.	0,006	21,82	0,13
h	Ajudante de trabalhos concretagem.	0,026	17,66	0,46
%	Custos diretos complementares	2,000	224,99	4,50
Custo de manutenção decenal: R\$ 13,77 nos primeiros 10 anos.			Total:	229,49

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Como as tabelas das composições associam que cada trabalhador possui um tempo para execução de cada metro quadrado ou de cada quilo, visando uma produtividade maior, foram-se inseridos aos insumos que ditam o ritmo da obra uma equipe de 4 trabalhadores para cada atividade “carro-chefe”.

Admitindo que o valor do **preço insumo** de cada trabalhador “carro-chefe” (se nomeará trabalhador principal) condiz com a precificação de sua hora trabalhada multiplicada pelo seu índice, se multiplicando por 3 o **preço insumo** de cada trabalhador principal e se somando ao custo total do insumo, se tem o valor corrigido do serviço para uma equipe de 4 trabalhadores.

Tabela 18 - Detalhamento do reajuste de equipe em estruturas metálicas

	TRABALHADOR PRINCIPAL	PREÇO INSUMO DO TRABALHADOR	PREÇO INSUMO DE QUATRO TRABALHADORES
Pilares	Montador de estruturas metálicas	R\$ 0,52/kg	R\$ 1,56/kg
Vigas	Montador de estruturas metálicas	R\$ 0,52/kg	R\$ 1,56/kg
Montantes	Montador de estruturas metálicas	R\$ 0,52/kg	R\$ 1,56/kg
Lajes	Montador de estruturas metálicas	R\$ 16,56/m ²	R\$ 49,68/m ²
	Armador	R\$ 0,92/m ²	R\$ 2,76/m ²
	Oficial de trabalhos de concretagem	R\$ 0,13/m ²	R\$ 0,39/m ²

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 19 – Detalhamento do custo total das estruturas metálicas.

	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL (R\$)
Pilares	10.430,42 kg	R\$ 5,90/kg	61.539,45
Vigas	88.222,08 kg	R\$ 5,90/kg	520.510,27
Montantes	1.515,07 kg	R\$ 5,72/kg	8.666,21
Lajes	2.642,58 m ²	R\$ 299,01/m ²	790.157,85
			R\$ 1.380.873,78

Fonte: AUTOR, 2018.

8.3.1.2 Estrutura pré-moldada

Para determinação orçamentária da estrutura pré-moldada de concreto, alguns custos tiveram que ser adaptados perante as opções do fornecedor. Dado que em todas composições são consideradas os **preços insumos** referente a 1 trabalhador principal, visando possuir uma equipe equivalente a estrutura metálica, foi considerado também para a estrutura pré-moldada, uma equipe de 4 trabalhadores para cada insumo que dita o ritmo da obra.

Para os pilares foram determinadas peças com seção de 50x50cm, 15 metros de altura, com quatro consolas e acabamento aparente (Tabela 22). Como as peças são de 7,47m, teve que ser feita uma adaptação considerando o valor por metro, além do reajuste no número de trabalhadores.

Tabela 20 - Composição de preços de pilares pré-fabricados.

Un PILAR PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO ARMADO				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
Un	Pilar pré-fabricado de concreto armado de seção 50x50 cm, de 15 m de altura, para acabamento aparente do concreto, com quatro consolas a quatro faces e ao mesmo nível.	1,000	2.704,23	2.704,23
h	Guindaste móvel de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,756	151,11	114,24
h	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,913	21,82	19,92
h	Ajudante de montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	1,827	17,66	32,26
%	Custos diretos complementares	2,000	2.870,65	57,41
Custo de manutenção decenal: R\$ 204,96 nos primeiros 10 anos.			Total:	2.928,06

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Para vigas do tipo retangular com consolas para laje, foram estimadas vigas de seção T invertida com alma e banzo de 30cm, e largura e altura de 45cm (Tabela 23), já que vigas de seção retangular não são abrangidas pelo software.

Tabela 21 - Composição de preços de vigas pré-moldadas.

m VIGA PRÉ-FABRICADA DE CONCRETO ARMADO				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
m	Viga pré-fabricada de concreto armado tipo T invertido, de 30 cm de largura de alma, 30 cm de altura do banzo, 45 cm de largura total e 45 cm de altura total, com um momento fletor máximo de 360 kN-m.	1,000	290,33	290,33
h	Guindaste móvel de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,050	151,11	7,56
h	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,061	21,82	1,33
h	Ajudante de montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,122	17,66	2,15
%	Custos diretos complementares	2,000	301,37	6,03
Custo de manutenção decenal: R\$ 21,52 nos primeiros 10 anos.			Total:	307,40

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Para lajes, foram escolhidos painéis alveolares com apoio direto, pé-direito entre 3m e 4m, com 25 cm de altura e 120cm de largura (Tabela 24). Concreto usinado C25 bombeado com consistência S100, classe de agressividade II e aditivo hidrófugo.

Tabela 22 – Composição de preços de lajes alveolares.

m ² LAJE DE PAINÉIS ALVEOLARES PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO PROTENDIDO				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
m ²	Painel alveolar pré-fabricado de concreto protendido de 25 cm de altura e 120 cm de largura, com junta lateral aberta superiormente, momento fletor resistente de 22 kN-m por m de largura.	1,000	97,22	97,22
kg	Aço laminado A 572 Grau 42, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 572, peças simples, para aplicações estruturais.	1,000	2,32	2,32
kg	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	4,000	3,92	15,68
m ³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 0, consistência S100, dosado em central, com aditivo hidrófugo, segundo ABNT NBR 8953.	0,010	357,45	3,57
h	Guindaste móvel de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,197	151,11	29,77
h	Caminhão bomba estacionado na obra, para bombeamento de concreto. Inclusive parte proporcional de deslocamento.	0,001	383,71	0,38
h	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,239	21,82	5,21
h	Ajudante de montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,239	17,66	4,22
%	Custos diretos complementares	2,000	158,37	3,17
Custo de manutenção decenal: R\$ 12,92 nos primeiros 10 anos.			Total:	161,54

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Visando possuir uma equipe equivalente a estrutura metálica, os valores referentes ao **preço insumo** dos montadores de estruturas pré-moldadas, sofreram reajuste pelo mesmo método aplicado nas estruturas metálicas. Referente ao **preço insumo** do montador dos pilares (R\$19,92/h para um pilar de 15m), o devido reajuste considerou que o comprimento da peça é 7,47m, resultando um valor de R\$9,82.

Tabela 23 – Detalhamento reajuste de equipe em estruturas pré-moldadas.

	TRABALHADOR PRINCIPAL	PREÇO INSUMO DO TRABALHADOR	PREÇO INSUMO DE QUATRO TRABALHADORES
Pilares	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto	R\$ 9,82/UN	R\$ 39,28/UN
Vigas	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto	R\$ 1,33/m	R\$ 5,32/m
Lajes	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto	R\$ 5,21/m ²	R\$ 5,32/m ²

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 24 – Orçamento da estrutura pré-moldada.

	QTD	COMP. (m)	ÁREA (m ²)	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	VALOR (R\$)
PILARES INTERNOS	77	-	-	1.487,63	114.547,81
VIGAS INTERNAS	-	1.026	-	311,39	319.486,14
VIGAS EXTERNAS	-	260,20	-		81.085,96
VIGAS DE BORDO	-	223,20	-		69.502,25
	-	108	-		33.630,12
LAJE	-	-	115,32	177,17	20.431,24
	-	-	1.903,50		337.243,10
	-	-	1.004,40		177.949,55
					R\$ 1.153.876,16

Fonte: AUTOR, 2018.

De maneira direta, o valor dos pilares foi calculado em função de sua quantidade, as vigas em função de seus comprimentos e a laje em relação a suas áreas.

ESTRUTURA METÁLICA R\$ 1.380.873,78
ESTRUTURA PRÉ-MOLDADO R\$ 1.153.876,16

Favorável do senso comum, a estrutura metálica resultou em um valor mais alto do que a estrutura pré-moldada, gerando uma diferença de R\$226.997,62 de investimento imediato.

8.3.2 Manutenção

A longo prazo, o custo com manutenções das estruturas pode ser estimado com os dados de rodapé das composições de preço de cada elemento estrutural, conforme as tabelas a seguir:

Tabela 25 – Custo estimado de manutenção das estruturas metálicas em 10 anos.

MANUTENÇÃO METÁLICAS			
	R\$	QTD	R\$ EM 10 ANOS
Pilares	0,13	10.430,42 kg	1.355,95
Vigas	0,13	88.222,08 kg	11.468,87
Montantes	0,12	1.515,07 kg	181,81
Lajes	12,92	2.642,58 m ²	34.142,13
			47.148,77

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 26 - Custo estimado de manutenção das estruturas pré-moldadas.

MANUTENÇÃO PRÉ-MOLDADO			
	R\$/10 ANOS	QTD	R\$ EM 10 ANOS
Pilares	102,07	77 peças	7.859,40
Vigas	21,52	1.617,60 m	25.712,10
Laje	12,92	3.023,22 m ²	29.681,12
			81.730,15

Fonte: AUTOR, 2018.

Enquanto que a estrutura pré-moldada gera um custo de R\$8.173,02 por ano, a estrutura metálica gera metade desse valor, chegando a R\$4.714,90, comprovando o argumento de que as estruturas metálicas possuem um custo inicial alto, porém a longo prazo, seu custo é menor.

8.3.3 Fundações

Outro quesito importante na elaboração de um projeto, é o custo com fundações. Segundo Bernardo Corrêa Neto (2009), pode-se estimar a quantidade de fundações pelos seguintes passos:

1. Cálculo da carga por pilar

Considerando o peso total do empreendimento, pode-se obter a carga por pilar dividindo o peso total da estrutura pela quantidade de pilares.

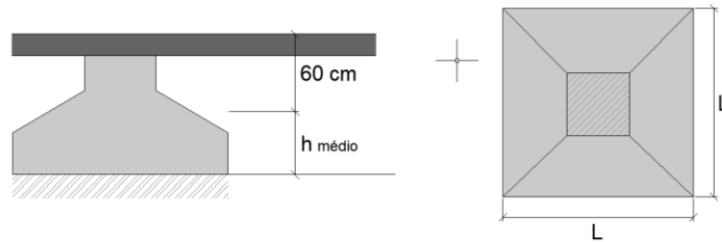
$$\text{Carga por pilar} = \frac{\text{Peso da edificação}}{\text{Número de pilares}} \quad (\text{Equação 6})$$

2. Capacidade de resistência do solo

Pode ser definida pela carga que o solo pode suportar sem comprometer a estabilidade de construção. Segundo a ABNT NBR 6122:2010 – Projeto e Execução de Fundações, para fundações superficiais pode se adotar como pressão admissível os valores da Tabela 4, referente a cada tipo de solo. Como não há dados sobre a sondagem do solo, a favor da segurança, a capacidade de resistência do solo será adotada como 0,2 MPa (2kgf/cm²).

3. Dimensões da sapata

Figura 20 – Fundação tipo Sapata de concreto armado.



Fonte: PINI, 2014.

Sabendo os valores das cargas por pilar e da capacidade de resistência do solo, prossegue-se então para a determinação das dimensões da sapata, para que seja determinado seu volume.

3.1 Área da sapata (m²)

$$A = \frac{\text{Carga por pilar}}{\text{Resistência do solo}} \quad (\text{Equação 7})$$

3.2 Lado da Sapata (m)

$$L = \sqrt{A} \quad (\text{Equação 8})$$

3.3 Altura Média (m)

$$h_{\text{médio}} = 0,8 \frac{L}{3} \quad (\text{Equação 9})$$

3.4 Volume da sapata (m³)

$$V = L^2 * h_{\text{médio}} * n^{\circ} \text{pilares} \quad (\text{Equação 10})$$

Conhecido o método de cálculo, foi determinado todas variáveis para estruturas metálica na Tabelas 30 e para estrutura pré-moldada na Tabela 31.

Tabela 27 – Dados do volume de concreto em fundações para estrutura metálica.

ESTRUTURA METÁLICA		
Carga por pilar	51.588,48	kg/m ²
Resistência do solo	20.000,00	kg/m ²
Área da sapata	2,58	m ²
Lado da sapata	1,61	m
h _{médio}	0,43	m
Volume de concreto	16,57	m ³

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 28 - Dados do volume de concreto em fundações para estrutura pré-moldada.

ESTRUTURA PRÉ-MOLDADA		
Carga por pilar	45.524,81	kg/m ²
Resistência do solo	20.000	kg/m ²
Área da sapata	2,28	m ²
Lado da sapata	1,51	m
H _{médio}	0,40	m
Volume de concreto	70,52	m ³

Fonte: AUTOR, 2018.

A CYPE Ingenieros fornece o custo do metro cúbico de concreto de uma sapata de concreto armado (Tabela 32), incluindo corte, dobra, montagem da armadura em central e a posterior colocação em obra (não incluindo fôrmas). Foi considerado então que a sapata será realizada com concreto C25, bombeado, com classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100 dosado em central, com aditivo hidrófugo e concretagem com bomba, e aço CA-50, com uma quantidade aproximada de 50 kg/m³. Inclusive armaduras de arranque do pilar, arame de atar, e separadores.

Tabela 29 - Composição de preços para fundações tipo sapata.

SAPATA DE CONCRETO ARMADO				
Un	Descrição	Índice	Preço unitário	Preço Insumo
Un	Separador certificado para fundações.	8,000	0,31	2,48
kg	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	52,500	3,92	205,80
kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,400	2,53	1,01
m ³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, dosado em central, com aditivo hidrófugo, segundo ABNT NBR 8953.	1,100	347,03	381,73
h	Caminhão bomba estacionado na obra, para bombeamento de concreto. Inclusive parte proporcional de deslocamento.	0,055	383,71	21,10
h	Armador.	0,340	21,82	7,42
h	Ajudante de armador.	0,437	17,66	7,72
h	Oficial de trabalhos de concretagem.	0,061	21,82	1,33
h	Ajudante de trabalhos concretagem.	0,364	17,66	6,43
%	Custos diretos complementares	2,000	635,02	12,70
Custo de manutenção decenal: R\$ 19,43 nos primeiros 10 anos.			Total:	647,72

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Considerado que a estrutura metálica necessária de 16,57m³ de concreto para a fundação, o custo estimado sua execução seria de R\$10.733,26 enquanto que a estrutura pré-moldada por possuir maior peso estrutural, necessária de 70,52m³ de concreto, gerando assim um custo de 4,25 vezes maior, cerca de R\$45.674,51.

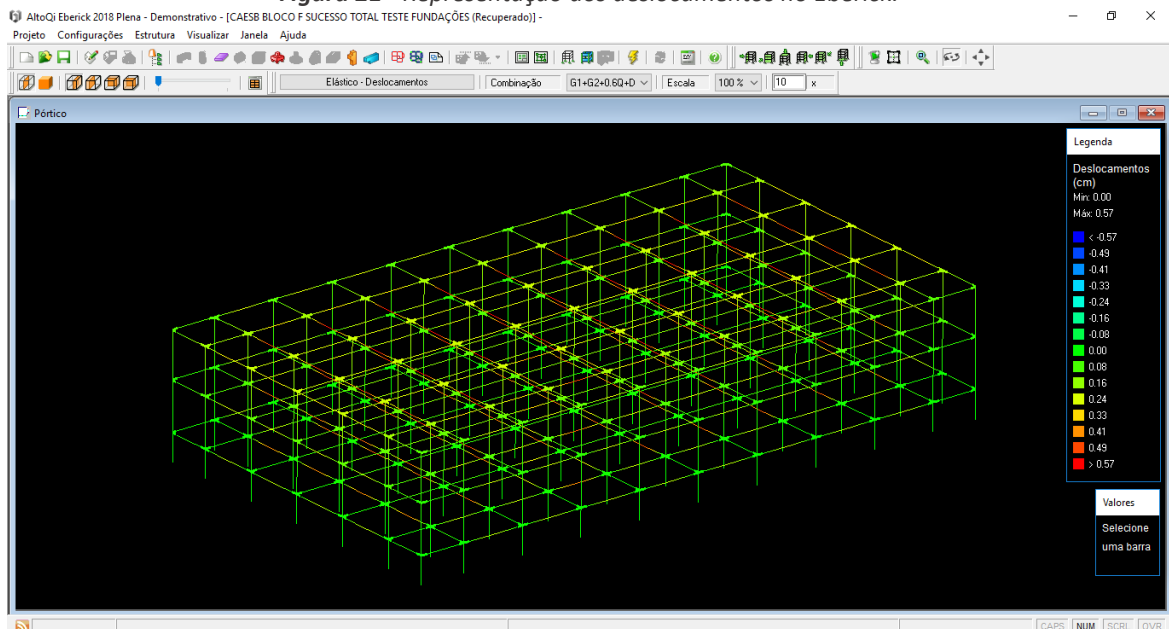
8.4 Desempenho aos deslocamentos

O estudo do comportamento de tensões e de deslocamentos nas estruturas se faz imprescindível na engenharia civil. Segundo a ABNT NBR 9062:2017 no item 5.2.3.1.1, deve-se considerar:

No cálculo dos esforços solicitantes, deve ser considerada a influência das ações constituídas pela carga permanente, carga accidental, vento, variação de temperatura, choques, vibrações, esforços repetidos e deslocamentos de apoio conforme prescrito na NBR 6118 (ABNT, p.5).

Segundo a ABNT NBR 6120:2000 na Tabela 13.2, os efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados se os deslocamentos forem relevantes para o elemento, incorporando-os ao modelo estrutural adotado. Como na estrutura pré-moldada os elementos possuem efeitos sobre a estabilidade, o software *Eberick* considerou deslocamentos, sendo dado 0,57cm como o deslocamento horizontal máximo da estrutura, apresentado na Figura 22.

Figura 21 - Representação dos deslocamentos no Eberick.



Fonte: AUTOR, 2018.

Segundo as verificações ao ELS apresentadas no software *Eberick* (Figura 23), o limite para o deslocamento nas estruturas após a construção dos pisos se dá pelo tamanho do vão dividido por 600. Considerando o vão de 500cm, o limite para o deslocamento da estrutura pré-moldada seria de 0,83cm.

Figura 22 - Verificações ao ELS no Eberick.

Verificações ao ELS

Rechas

Aceitabilidade sensorial (visual)

Deslocamentos visíveis devidos à carga

Vigas L/ 250

Lajes L/ 250

Muros L/ 150

Vigas PM (construção preliminar) L/ 500

Combinações Quase permanentes

Aceitabilidade sensorial (vibração)

Vibrações sentidas no piso devidas à carga acidental L/ 350

Combinações Frequentes

Efeitos estruturais em serviço

Deslocamentos após a construção do piso L/ 600

Combinações Frequentes

Efeitos após a construção das paredes

Deslocamento em alvenarias caixilhos e revestimentos L/ 500

Deslocamento limite 10 mm

Rotação limite 0.0017 rad

Combinações Quase permanentes

Movimentos laterais

Movimentos laterais do edifício devidos à ação do vento H/ 1700

HPav/ 850

Combinações Frequentes

Demais situações

Combinações Frequentes

Limites da contralhecha

Vigas L/ 350

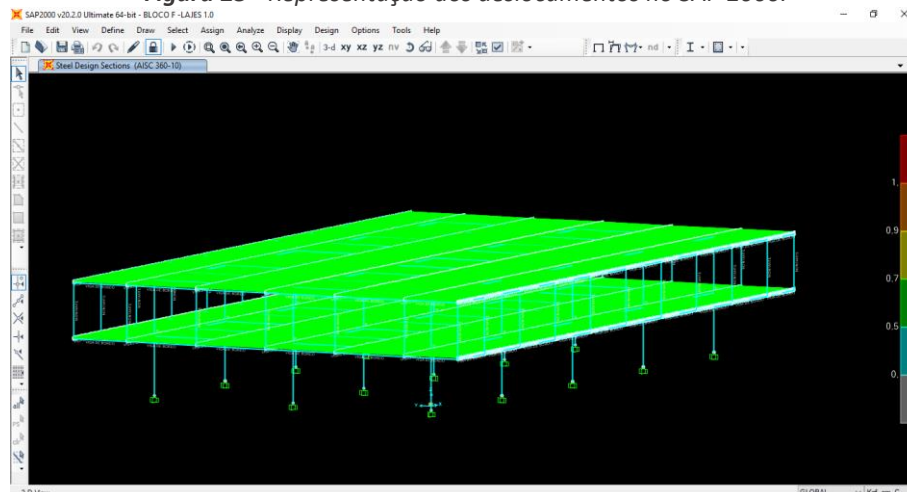
Não permitir maior que o deslocamento imediato

OK Cancelar Ajuda

Fonte: AUTOR, 2018.

Segundo a Tabela C.1 da ABNT NBR 8800:2008, o deslocamento horizontal limite para edifícios em estrutura metálica de 1 pavimento, pode ser calculado pela divisão da altura total do pilar (distância do topo a base) por 300. Sendo 7.474mm a altura total do pilar, o deslocamento máximo que esta estrutura poderia sofrer seria de 24,91mm. O deslocamento máximo apresentado no *SAP 2000* (Figura 24) para o modelo metálico foi de 0,70cm (7mm).

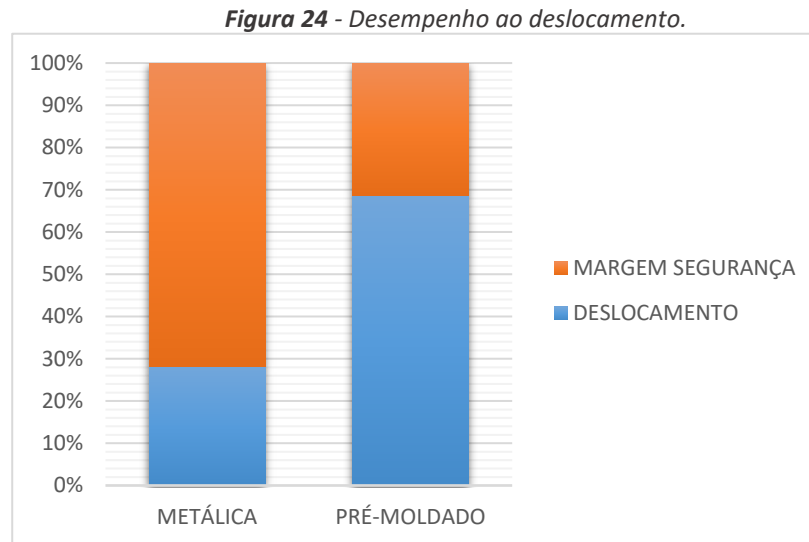
Figura 23 - Representação dos deslocamentos no SAP 2000.



Fonte: AUTOR, 2018.

Como o aço e o concreto são materiais com diferentes respostas às ações e diferentes propriedades, essa característica avaliativa não custa em apresentar o menor deslocamento e sim o melhor desempenho se comparado ao limite normativo. Com uma diferença de 0,13cm de deslocamento, o sistema em aço apresenta uma

maior margem de segurança se comparado ao seu limite, possuindo 71,89% de margem enquanto que na estrutura pré-moldada esse valor é de 31,32%.



Fonte: AUTOR, 2018.

Em razão do processo de fabricação siderúrgica, o aço apresenta uma boa margem de segurança, garantindo um material homogêneo, com limites de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem estabelecidos. Isso o proporciona alta resistência nos diferentes estados de solitação e possibilita aos componentes estruturais maior suporte a mais altos valores de esforços, embora as dimensões dos perfis estruturais sejam relativamente esbeltas se comparadas ao concreto.

8.5 Tempo de construção

Para a determinação do tempo de construção das estruturas, utilizou-se a base de dados da CYPE Ingenieros referente ao detalhamento do rendimento (ou índice).

Para determinação do tempo construtivo da estrutura metálica, Mattos (2010) estabelece que se considere os índices dos insumos que ditam o ritmo da obra, podendo ser referente a mão de obra ou serviços. No caso dos pilares, montantes e vigas, quem dita o ritmo da obra é **montador das estruturas metálicas**, com produtividade de 0,024 horas por quilo de aço.

Tabela 30 – Composição de preços de pilares metálicos.

kg AÇO EM PILARES				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
kg	Aço laminado A 572 Grau 50, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 572, peças simples, para aplicações estruturais.	1,050	2,42	2,54
l	Primer de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	0,050	13,41	0,67
h	Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	0,015	6,99	0,10
h	Montador de estruturas metálicas.	0,024	21,82	0,52
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,024	17,66	0,42
%	Custos diretos complementares	2,000	4,25	0,09
Custo de manutenção decenal: R\$ 0,13 nos primeiros 10 anos.			Total:	4,34

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Tabela 31 – Composição de preços de pilares metálicos.

kg AÇO EM PILARES				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
kg	Aço laminado A 36, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 36, peças simples, para aplicações estruturais.	1,050	2,26	2,37
l	Primer de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	0,050	13,41	0,67
h	Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	0,015	6,99	0,10
h	Montador de estruturas metálicas.	0,024	21,82	0,52
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,024	17,66	0,42
%	Custos diretos complementares	2,000	4,08	0,08
Custo de manutenção decenal: R\$ 0,12 nos primeiros 10 anos.			Total:	4,16

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Tabela 32 - Composição de preços de vigas metálicas.

kg AÇO EM VIGAS				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
kg	Aço laminado A 572 Grau 50, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 572, peças simples, para aplicações estruturais.	1,050	2,42	2,54
l	Primer de secagem rápida, formulado com resinas alquídicas modificadas e fosfato de zinco.	0,050	13,41	0,67
h	Equipamentos e elementos auxiliares para soldagem elétrica.	0,015	6,99	0,10
h	Montador de estruturas metálicas.	0,024	21,82	0,52
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,024	17,66	0,42
%	Custos diretos complementares	2,000	4,25	0,09
Custo de manutenção decenal: R\$ 0,13 nos primeiros 10 anos.			Total:	4,34

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Para as lajes, foi considerado 0,759 horas de produtividade para o montador, 0,042 horas para o armador e 0,006 horas para o oficial dos trabalhos de concretagem, totalizando 0,805 horas.

Tabela 33 - Composição de preços de lajes mistas.

m² LAJE MISTA COM CHAPA COLABORANTE				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
m ²	Perfil de chapa de aço galvanizado com forma trapezoidal, de 0,8 mm de espessura, 59 mm de altura do perfil e 210 mm de distância entre-eixos, 9 a 10 kg/m ² e um momento de inércia de 50 a 60 cm ⁴ .	1,050	44,63	46,86
m	Peça angular de chapa de aço galvanizado, para arremates perimetrais e de consolas.	0,040	63,73	2,55
Un	Parafuso autoperfurante rosca-chapa, para fixação de chapas.	6,000	0,27	1,62
Un	Separador certificado para lajes.	3,000	0,18	0,54
kg	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	1,050	3,92	4,12
kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,029	2,53	0,07
m ²	Tela eletrossoldada Q 92 15x15 cm, com fios longitudinais de 4,2 mm de diâmetro e fios transversais de 4,2 mm de diâmetro, aço CA-60, segundo ABNT NBR 7481.	1,150	8,40	9,66
m ³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953.	0,107	324,33	34,70
Un	Conector de aço galvanizado com cabeça de disco, de 19 mm de diâmetro e 80 mm de altura, para fixar a estrutura de aço através da solda à chapa colaborante.	10,000	7,64	76,40
l	Agente filmógeno para a cura de concretos e argamassas.	0,150	4,47	0,67
h	Caminhão bomba estacionado na obra, para bombeamento de concreto. Inclusive parte proporcional de deslocamento.	0,010	383,71	3,84
h	Equipamentos e elementos auxiliares para solda de conectores.	0,504	39,64	19,98
h	Montador de estruturas metálicas.	0,759	21,82	16,56
h	Ajudante de montador de estruturas metálicas.	0,294	17,66	5,19
h	Armador.	0,042	21,82	0,92
h	Ajudante de armador.	0,041	17,66	0,72
h	Oficial de trabalhos de concretagem.	0,006	21,82	0,13
h	Ajudante de trabalhos concretagem.	0,026	17,66	0,46
%	Custos diretos complementares	2,000	224,99	4,50
Custo de manutenção decenal: R\$ 13,77 nos primeiros 10 anos.			Total:	229,49

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Considerado o índice de cada trabalhador, segundo a fórmula de Mattos (2010) explicitada na Equação 4 do item 4.5, a duração de um insumo pode ser calculada multiplicando a quantidade de recursos (peso total de cada elemento ou a área) pelo seu índice, decompondo-os pela equipe (número de trabalhadores, definido como 4) multiplicada pela jornada de trabalho (adotou-se 8h de trabalho diário).

Tabela 34 – Duração da execução de pilares metálicos.

	Índice (h)	Equipe (trabalhador)	Peso total (kg)	Duração (dias)
PILARES	0,024	4	10.430,42	7,82

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 35 - Duração da execução de montantes metálicos.

	Índice (h)	Equipe (trabalhador)	Peso total (kg)	Duração (dias)
MONTANTES	0,024	4	1.515,07	1,14

Fonte: AUTOR,2018.

Tabela 36 - Duração da execução de vigas metálicas.

	Índice (h)	Equipe (trabalhador)	Peso total (kg)	Duração (dias)
VIGAS	0,024	4	88.222,08	66,17

Fonte: AUTOR,2018.

Tabela 37 - Duração da execução de lajes metálicas.

	Índice (h)	Equipe (trabalhador)	Área (m ²)	Duração (dias)
LAJE	0,807	4	2.642,58	66,64

Fonte: AUTOR,2018.

Com um total de 141,77 dias de trabalho, e se considerando 20 dias úteis por mês, a parte estrutural do sistema metálico pode ser construído em 7 meses e 11 dias.

Para determinação do tempo construtivo da estrutura pré-moldada, de mesmo modo que na estrutura metálica, foram considerados os índices referentes aos insumos que ditam o ritmo da obra. No caso da estrutura pré-moldada, quem dita o ritmo da obra são os **montadores de estruturas pré-fabricadas de concreto** e o **guindaste móvel**.

Nos pilares, a especificação do rendimento representa o índice do montador, cujo um pilar de 15 metros possui um índice 0,913 horas do trabalhador principal. Adaptando para 7,47 metros de pilares, o índice do montador passa a ser 0,455 horas por unidade de pilar.

Tabela 38 - Composição de preços de pilares pré-fabricados.

Un PILAR PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO ARMADO				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
Un	Pilar pré-fabricado de concreto armado de seção 50x50 cm, de 15 m de altura, para acabamento aparente do concreto, com quatro consolas a quatro faces e ao mesmo nível.	1,000	2.704,23	2.704,23
h	Guindaste móvel de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,756	151,11	114,24
h	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,913	21,82	19,92
h	Ajudante de montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	1,827	17,66	32,26
%	Custos diretos complementares	2,000	2.870,65	57,41
Custo de manutenção decenal: R\$ 204,96 nos primeiros 10 anos.			Total:	2.928,06

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Para as vigas e lajes, considerou para o montador das estruturas o índice de 0,061h/m e 0,239h/m², respectivamente, assim como os índices do guindaste móvel.

Tabela 39 - Composição de preços de vigas pré-fabricadas.

m VIGA PRÉ-FABRICADA DE CONCRETO ARMADO				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
m	Viga pré-fabricada de concreto armado tipo T invertido, de 30 cm de largura de alma, 30 cm de altura do banzo, 45 cm de largura total e 45 cm de altura total, com um momento fletor máximo de 360 kN·m.	1,000	290,33	290,33
h	Guindaste móvel de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,050	151,11	7,56
h	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,061	21,82	1,33
h	Ajudante de montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,122	17,66	2,15
%	Custos diretos complementares	2,000	301,37	6,03
Custo de manutenção decenal: R\$ 21,52 nos primeiros 10 anos.			Total:	307,40

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Tabela 40 - Composição de preços de lajes alveolares.

m² LAJE DE PAINÉIS ALVEOLARES PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO PROTENDIDO				
Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
m ²	Painel alveolar pré-fabricado de concreto protendido de 25 cm de altura e 120 cm de largura, com junta lateral aberta superiormente, momento fletor resistente de 22 kN·m por m de largura.	1,000	97,22	97,22
kg	Aço laminado A 572 Grau 42, em perfis laminados a quente, segundo ASTM A 572, peças simples, para aplicações estruturais.	1,000	2,32	2,32
kg	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	4,000	3,92	15,68
m ³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 0, consistência S100, dosado em central, com aditivo hidrófugo, segundo ABNT NBR 8953.	0,010	357,45	3,57
h	Guindaste móvel de braço telescópico com uma capacidade de elevação de 30 t e 27 m de altura máxima de trabalho.	0,197	151,11	29,77
h	Caminhão bomba estacionado na obra, para bombeamento de concreto. Inclusive parte proporcional de deslocamento.	0,001	383,71	0,38
h	Montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,239	21,82	5,21
h	Ajudante de montador de estruturas pré-fabricadas de concreto.	0,239	17,66	4,22
%	Custos diretos complementares	2,000	158,37	3,17
Custo de manutenção decenal: R\$ 12,92 nos primeiros 10 anos.			Total:	161,54

Fonte: CYPE Ingenieros, 2018.

Contabilizados a duração da mão de obra e do serviço que ditam o ritmo da obra, de mesmo modo que na estrutura metálica, a duração do serviço em função da equipe será calculada pela Equação 4, considerando como índice a soma dos valores do rendimento dos montadores juntamente dos guindastes para cada elemento. Também se considera 8 horas de trabalho diário.

Tabela 41 – Duração da execução de pilares pré-fabricados.

	Índice (h)	QUANTIDADES	Equipe (trabalhador)	Duração (dias)
PILARES	1,368	77	4	3,29

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 42 - Duração da execução de vigas pré-fabricadas.

	Índice (h)	Comprimento (m)	Equipe (trabalhador)	Duração (dias)
VIGAS	0,111	1.617,60	4	5,61

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 43 - Duração da execução de lajes pré-fabricadas.

	Índice (h)	Comprimento (m)	Equipe (trabalhador)	Duração (dias)
LAJES	0,436	3.023,22	4	41,19

Fonte: AUTOR, 2018.

Totalizando 50,09 dias de trabalho, e se considerando 20 dias úteis por mês, a parte estrutural do sistema pré-moldado pode ser construída em 2 meses e 11 dias, representando 4 meses e 20 dias a menos do que a estrutura metálica.

Devido as peças da estrutura pré-moldada serem executadas por montagem e com precisão em centímetros, a estrutura metálica demandou mais tempo devido a possuir um sistema de ligações com precisão em milímetros, possuindo assim uma produtividade menor e gerando mais tempo de obra.

9.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando que a falta de parâmetros avaliativos é um dos maiores obstáculos para se identificar o tipo de estrutura mais adequada para uma edificação, este estudo levantou dados de um projeto específico juntamente com revisões bibliográficas e normas brasileiras, a respeito de 5 aspectos fundamentais para a concepção do sistema construtivo de uma edificação. Aspectos esses que vão desde identificação do peso estrutural e sua influência nas fundações, o tempo de construção que esse sistema carece, os máximos vãos que se pode alcançar, custos financeiros a curto e longo prazo, até ao desempenho desse sistema aos deslocamentos.

Logo, analisando detalhadamente esses fatores, o sistema metálico se constituiu como a estrutura mais adequada para a obra em análise, por possuir vantagem na maioria dos aspectos avaliados. Por apresentar 78% a menos de peso estrutural e 100% a mais de alcance de vãos, se comparado ao sistema em concreto pré-moldado, a estrutura metálica influi em um custo 76% menor em suas fundações e 42% menor em sua manutenção para um período de 10 anos, além de possuir um melhor desempenho ao deslocamento, contendo 56% a mais de margem de segurança referente aos seus limites normativos.

Nessa breve análise, pode-se contatar que o aço oferece maior liberdade de projeto, podendo ser uma alternativa mais econômica e sustentável do que o sistema em concreto pré-moldado. Na construção civil essa opção tem se tornado mais recorrentemente não somente para a construção de galpões, mas também para construção de prédios, salas comerciais e até mesmo em edificações residenciais, proporcionando economia pela menor quantidade de material usado e também pela estabilidade econômica do produto no mercado nacional e internacional.

Cada tipo de sistema estrutural possui prós e contras, mas é necessário além de se analisar isoladamente, ponderar o conjunto, explicitando quais características mais relevantes para cada destinação funcional, estabelecendo assim as características avaliativas para enfim se optar pelo mais adequado sistema estrutural.

10.0 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O estudo aqui apresentado cobre apenas uma pequena parcela de tantos aspectos que podem ser analisados envolvendo o levantamento de metodologias de avaliação para escolha de um sistema estrutural. A análise mostrou que a estrutura metálica mesmo ainda não sendo muito usual no Brasil, vem ganhando cada vez mais espaço e sendo destaque para novas pesquisas.

Sendo assim, como sugestão para trabalhos futuros, são indicadas características relevantes não detalhadas neste trabalho. São elas:

- a) Verificação da proteção à corrosão e o desempenho perante ao fogo de ambas estruturas;
- b) Levantamento da disponibilidade local para fornecimento das peças, seu tempo de produção e custos de transporte e montagem;
- c) Dimensionamento das vedações e acabamento, seus custos e comparabilidade de desempenho;
- d) Quantificação da durabilidade de ambos sistemas frente aos tipos de materiais usados e as solicitações locais quanto á intempéries.

REFERÊNCIAS

ACKER, Arnold Van. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. São Paulo, ABCIC, 2003.

ALBUQUERQUE, A. T de, EL DEBS, M. K. **Levantamento dos sistemas construtivos em concreto pré-moldado para edifícios no Brasil**. In. 1º.

Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2005.

ARAÚJO, Jose Milton de. **A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ENERGIA DE FRATURA DO CONCRETO**. Rio Grande: DUNAS, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6120: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6123: **Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9062: **Projeto de estruturas de concreto pré-moldado** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12 655: **Concreto de cimento Portland** — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8681: **Ações e segurança nas estruturas** - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 1996.

BRUMATTI, Dioni O. **Uso de pré-moldados** - estudo e Viabilidade. Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória, 2008.

COELHO, Roberto de Araujo. **Sistema construtivo integrado em estrutura metálica**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2003.

CURSO DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE AÇO. **Módulo 1: Perfis de Aço** - Tipos e Usos. CBCA.

CYPE INGENIEROS, S.A. **Gerador de preços para construção civil**.

Disponível em:

<http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas.html/> Acesso em: 25 de setembro de 2018.

D´ALAMBERT, F., LIPPI, I. **Coletânea do uso do aço**: tabela de vãos e cargas. 3ª Edição. Gerda, 2012.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC-USP, 2000.

ENGEMOLDE. **ESTRUTURAS**. Disponível em

<<http://www.engemolde.com.br/solucoes/lista.asp?grupo=1>> Acesso em: 7 de novembro de 2018.

FAY, Liliana. **Estruturas arquitetônicas**: composição & modelagem. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006.

FERNANDES, Gilson B. **Solicitações normais cálculo no estado limite último**. Campinas: UNICAMP, 2006.

JAVARONI, C. E., GONÇALVES, R; M. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. Edição 20. São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.

JÚNIOR, Enio Ribeiro. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista Especialize On-line IPOG** – Goiânia. Edição nº 10 Vol. 01/ 2015. Goiás, dez 2015.

JÚNIOR, Luiz Prado Vieira. **Pré-moldados de concreto**: soluções sustentáveis e competitivas para obras habitacionais, esportivas e de infraestrutura. Concreto & Construções. São Paulo, Volume 59, 84 páginas, Publicação Trimestral Jul., Ago. e Set., 2010.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini, 2010,

MELO, Carlos Eduardo Luna de. Análise estrutural com o SAP2000. Curso de estruturas e construção civil, UnB. Brasília, 2018.

METFORM, 2016. **STEEL DECK**. Disponível em <http://www.metform.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2015/05/steel_deck_metform.pdf> Acesso em: 10 de novembro de 2018.

NETO, Augusto Cantusio. Notas de Aula: **Estruturas Metálicas I e II**. São Paulo PUC-Campinas, 2007.

OLIVEIRA, L. O., MACHADO JUNIOR, E.F., **Avaliação da segurança estrutural de sistemas inovadores**: Estudo de caso. Cadernos de Engenharia de Estruturas EESC, São Carlos, vol. 5. 1998.

PALMA, Giovano. **Estruturas metálicas**. Cascavel - Paraná: FAG, fevereiro de 2007.

PANNONI, Fabio Domingos. **Aços Estruturais**. Gerdau, 2005.

PEREIRA, Caio. **Laje Pré-Moldada**: O que é, principais tipos e vantagens. Escola Engenharia, 2017. Disponível em <<https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2018

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas Metálicas**: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. São Paulo: Edgard Blüncher, 2005.

PINHEIRO, Libânio M., MUZARDO Cassiane D., SANTOS, Sandro P. **ESTRUTURAS DE CONCRETO – CAPÍTULO 2**. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas, São Paulo, 2004.

PINHO, Fernando Ottoboni. **Quando construir em aço?**. Gerdau: 2012.

PINHO, F. O., PENNA, F. **Viabilidade econômica**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.

PINHO, Mauro Ottoboni. **Transporte e montagem**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2005.

PFEIL, W., PFEIL M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

QUEIROZ, G., PIMENTA, R. J., MARTINS, A. G. **Estruturas mistas**. Volume 2. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

RIBEIRO, Mário César dos Reis. **Análise da relação vão x altura de vigas metálicas mistas já executadas**. Campina Grande: IPOG, 2016.

RIO SUPERCORTE. **Aços é a nossa especialidade.** Disponível em <<https://riosupercorte.com.br/produtos/>> Acesso em: 19 de setembro de 2018.

ROCHA, Jennifer. **Propriedades da matéria.** Disponível em <<https://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-geral/propriedades-materia.htm>> Acesso em: 19 de setembro de 2018

SANTOS, Raquel Simone dos. **Comparativo entre estruturas de aço e concreto armado.** Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, São Paulo, 2007. SILVA, Valdir Pignatta e. Dimensionamento de estruturas de aço: Apostila para a disciplina PEF 2402 – Estruturas metálicas e de madeira. São Paulo, junho de 2012.

SOUZA, M. F. S. M. de, RODRIGUES, R. B. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos.** Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo – FEC - UNICAMP. São Paulo, 2008.

TETRACON. **Quais normas devem ser cumpridas na fabricação de estruturas pré-moldadas de concreto?** Goiás, 2015. Disponível em <<https://www.tetraconind.com.br/blog/quais-normas-devem-ser-cumpridas-na-fabricacao-de-estruturas-pre-moldadas-de-concreto/>>. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

ANEXO A – RELATÓRIO DA ANÁLISE NO SOFTWARE SAP2000

```

SAP2000 v20.2.0 Ultimate 64-bit (Analysis Build 9663/64)
File: C:\Users\natal\Desktop\Modelagem\Metálica\BLOCO F.LOG

BEGIN ANALYSIS                                2018/11/16 17:04:01

RUNNING ANALYSIS AS A SEPARATE PROCESS
USING THE ADVANCED SOLVER (PROVIDES LIMITED INSTABILITY INFORMATION)

NUMBER OF JOINTS                               = 5149
WITH RESTRAINTS                               = 15
NUMBER OF FRAME/CABLE/TENDON ELEMENTS        = 2922
NUMBER OF SHELL ELEMENTS                     = 2100
NUMBER OF LINK/SUPPORT ELEMENTS              = 2464
NUMBER OF LOAD PATTERNS                      = 3
NUMBER OF ACCELERATION LOADS                 = 9
NUMBER OF LOAD CASES                         = 6

ADDRESSABLE PHYSICAL MEMORY (RAM)            = 3.882 GB

PARALLELIZATION OF ANALYSIS OPERATIONS:
Env. variable SAPFIRE_NUM_THREADS            = 0
NUMBER OF THREADS: STATE (AUTOMATIC)         = 2
NUMBER OF THREADS: STIFFNESS (AUTOMATIC)     = 2
NUMBER OF THREADS: EVENT (AUTOMATIC)         = 2
NUMBER OF THREADS: MOVE (AUTOMATIC)          = 2
NUMBER OF THREADS: RESPONSE (AUTOMATIC)      = 2
NUMBER OF THREADS: SOLVE (AUTOMATIC)         = 2
NUMBER OF THREADS: FORM (AUTOMATIC)          = 2

ELEMENT FORMATION                             17:04:01

NUMBER OF COUPLED CONSTRAINT EQUATIONS = 0

LINEAR EQUATION SOLUTION                     17:04:02

FORMING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS
TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS        = 16020
NUMBER OF NON-ZERO STIFFNESS TERMS           = 394002

-----
BASIC STABILITY CHECK FOR LINEAR LOAD CASES:
NUMBER OF NEGATIVE STIFFNESS EIGENVALUES SHOULD BE ZERO FOR
STABILITY.
(NOTE: FURTHER CHECKS SHOULD BE CONSIDERED AS DEEMED NECESSARY,
SUCH AS REVIEWING EIGEN MODES FOR MECHANISMS AND RIGID-BODY
MOTION)

NUMBER OF NEGATIVE EIGENVALUES = 0, OK.
-----

LINEAR STATIC CASES                          17:04:04

USING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS

```

TOTAL NUMBER OF CASES TO SOLVE = 5
 NUMBER OF CASES TO SOLVE PER BLOCK = 5

LINEAR STATIC CASES TO BE SOLVED:

CASE: DEAD
 CASE: LIVE
 CASE: WIND
 CASE: PESO PRÓPRIO
 CASE: USO E OCUPAÇÃO

EIGEN MODAL ANALYSIS 17:04:05

CASE: MODAL

USING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM = 16020
 NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM = 12938
 MAXIMUM NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 12
 MINIMUM NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 1
 NUMBER OF RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT = 0
 NUMBER OF SUBSPACE VECTORS USED = 24
 RELATIVE CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00E-09

FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME) = .000000
 FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME) = -INFINITY-
 ALLOW AUTOMATIC FREQUENCY SHIFTING = YES

Original stiffness at shift : EV= 0.0000000E+00, f= .000000, T= -INFINITY-
 Number of eigenvalues below shift = 0

Found mode 1 of 12: EV= 4.1437043E+01, f= 1.024506, T= 0.976080
 Found mode 2 of 12: EV= 6.1024295E+01, f= 1.243287, T= 0.804319
 Found mode 3 of 12: EV= 1.0834301E+02, f= 1.656611, T= 0.603642
 Found mode 4 of 12: EV= 3.4022325E+02, f= 2.935635, T= 0.340642
 Found mode 5 of 12: EV= 5.2504730E+02, f= 3.646862, T= 0.274208
 Found mode 6 of 12: EV= 8.8372996E+02, f= 4.731294, T= 0.211359
 Found mode 7 of 12: EV= 9.3288287E+02, f= 4.861090, T= 0.205715
 Found mode 8 of 12: EV= 9.6015678E+02, f= 4.931638, T= 0.202772
 Found mode 9 of 12: EV= 1.0625279E+03, f= 5.187885, T= 0.192757
 Found mode 10 of 12: EV= 1.1276889E+03, f= 5.344595, T= 0.187105
 Found mode 11 of 12: EV= 1.1480848E+03, f= 5.392711, T= 0.185435
 Found mode 12 of 12: EV= 1.2913605E+03, f= 5.719313, T= 0.174846

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12
 NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 18
 NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS = 0

ANALYSIS COMPLETE 2018/11/16 17:04:12