



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ARTHUR VASCONCELOS D'GOIS
RONALD MACHADO BARCELOS DE MELO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRUTURA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO E
MOLDADO *IN LOCO***

Recife
2021

ARTHUR VASCONCELOS D'GOIS
RONALD MACHADO BARCELOS DE MELO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRUTURA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO E
MOLDADO *IN LOCO***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Pernambuco – Centro de Tecnologia e
Geociência, como requisito parcial para a
obtenção do título de Graduado em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dr^a Liliane de Alla Fonseca

Recife
2021

ARTHUR VASCONCELOS D'GOIS
RONALD MACHADO BARCELOS DE MELO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRUTURA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO E
MOLDADO *IN LOCO***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Graduado em Engenharia Civil.

Aprovada em: _07_/_05_/_2021_.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Liliâne de Allan Fonseca (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ézio da Rocha Araújo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Luciolo Victor Magalhães e Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

D532a D'Gois, Arthur Vasconcelos.
Análise comparativa de estrutura em concreto pré-moldado e moldado *in loco* /
Arthur Vasconcelos D'Gois, Ronald Machado Barcelos de Melo. - 2021.
119 folhas, il.; tab.

Orientadora: Profa. Dra. Liliane de Alla Fonseca.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento
de Engenharia Civil e Ambiental, 2021.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil e Ambiental. 2. Pré-moldado. 3. Estabilidade global.
4. Ligações pré-moldado. 5. Rigidez. 6. TQS. I. Melo, Ronald Machado Barcelos de.
II. Fonseca, Liliane de Alla (Orientadora). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-41

AGRADECIMENTOS

À Deus,

Que nos apresentou com a vida e sabedoria para lidar com as dificuldades encontradas durante toda a graduação.

A nossos pais,

Por toda paciência e dedicação em nos educar e guiar até aqui, e sempre estar conosco mesmo nos momentos mais difíceis.

À nossa orientadora Liliane,

Que junto com Ianyqui Costa nos orientaram pacientemente e mesmo com altos e baixos não desistiram de nós. Por todas as correções e comentários, que nos fizeram aprimorar este trabalho.

Aos professores,

Que desde o início estiveram presentes nessa caminhada partilhando conosco seus conhecimentos. Pelas correções e ensinamentos que nos lapidaram durante o processo de formação profissional ao longo do curso.

Aos amigos,

Que tornaram todo o processo mais leve, com quem convivemos intensamente durante os últimos anos. Pelo companheirismo e pela troca de experiências que nos permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

À Universidade Federal de Pernambuco,

Essencial em nosso processo de formação profissional, pela dedicação, espaço e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

À Construtora JR Oliveira,

Pela disponibilização de dados e projetos que foram de grande utilidade para a elaboração deste trabalho científico.

À TQS,

Por ter cedido a licença do *software*.

RESUMO

Este trabalho consiste no lançamento de um edifício residencial de quatro pavimentos concebido em concreto armado convencional no *software* TQS, a partir de seu projeto arquitetônico. No processo foi descrito o passo a passo do lançamento do edifício no TQS para os modelos estruturais concreto convencional e pré-moldado. Variando para este, os tipos de ligações entre os pilares e vigas entre apoios articulados, parcialmente engastados e totalmente engastados. Em seguida é realizado uma análise comparativa dos dados extraídos do software de estabilidade e deslocamento para ambos os modelos estruturais e suas variações de rigidez. O emprego de estruturas pré-moldadas como sistema construtivo é crescente no mercado brasileiro, os pré-moldados de concreto são bastante populares em diversas obras. Além de serem produtos com extremo controle de produção, também são uma opção que garante benefícios como rapidez, qualidade e durabilidade. Resultados: A partir das informações extraídas do TQS, é realizada uma análise comparativa de estabilidade e deslocamento para ambos os modelos estruturais e suas variantes.

Palavras-chave: pré-moldado; estabilidade global; ligações pré-moldado; rigidez; TQS.

ABSTRACT

This work consists in the launch on the TQS software, a four-storey residential building built in conventional reinforced concrete, based on its architectural design. The process described the step by step of launching the building in TQS for the models presented in conventional and precast concrete. For the latter, the types of connections between the columns and beams between articulated supports, partially set and fully set. Next, a comparative analysis of the data extracted from the stability and displacement software is performed for both models produced and their variations in stiffness. The use of precast structures as a construction system is growing in the Brazilian market, precast concrete is very popular in several works. In addition to being products with extreme production control, they are also an option that guarantees benefits such as speed, quality and durability. Results: Based on the information extracted from the TQS, a comparative analysis of stability and displacement is performed for both possible models and their variants.

Keywords: pre-molded; global stability; pre-molded connections; rigidity; TQS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Agregados graúdos (esquerda) e miúdos (direita).....	20
Figura 2 - Transferência de esforços entre elementos de concreto armado.	24
Figura 3 - Ilustração de uma laje maciça.....	25
Figura 4 - Montagem da ligação.....	27
Figura 5 - Algumas seções transversais padronizadas.	27
Figura 6 - Estrutura pré-moldada em esqueleto.	28
Figura 7 - Exemplo de seções de pilares com condutor de águas pluviais.	31
Figura 8 - Exemplos de consoles de concreto.....	31
Figura 9 - Ligação de peça no console.	32
Figura 10 - Tipos de vigas pré-moldadas e sua aplicação.	33
Figura 11 - Seções transversais típicas dos elementos de laje alveolar.	34
Figura 12 - Exemplos de típicas ligações em pórtico e estruturas de esqueleto.....	36
Figura 13 - Ilustração do efeito de 2ª ordem.	40
Figura 14 - Ilustração dos efeitos globais.....	40
Figura 15 - Edificação referência para o estudo.....	44
Figura 16 - Planta baixa do pavimento tipo 1º, 2º e 3º. (Sem Escala).....	45
Figura 17 - Aba "Gerais" da concepção estrutural.	46
Figura 18 - Aba "Modelo" da concepção estrutural.	47
Figura 19 - Aba "Pavimentos" da concepção estrutural (Pavimento Térreo).....	48
Figura 20 - Aba "Pavimentos" da concepção estrutural (Primeiro Pavimento).....	49
Figura 21 - Aba "Materiais" da concepção estrutural.	50
Figura 22 - Aba "Cobrimentos" da concepção estrutural.....	51
Figura 23 - Aba "Cargas" da concepção estrutural.	52
Figura 24 - Velocidade básica do vento.	52
Figura 25 - Aba "Cargas" da concepção estrutural.	53
Figura 26 - Cálculo dos coeficientes de arrasto.	54
Figura 27 – Árvore do edifício e modelador estrutural.....	55
Figura 28 - Dados dos pilares (seção).	56
Figura 29 - Adição do pilar em planta.....	56
Figura 30 - Propriedade geométricas da viga.....	57
Figura 31 - Definição de carregamentos da viga.....	57
Figura 32 - Dados da Laje.....	58

Figura 33 - Definições de carregamentos p/ "APARTAMENTO".....	58
Figura 34 - Avisos após lançamento das estruturas.....	59
Figura 35 - Avisos após lançamento das estruturas.....	60
Figura 36 - Aba Gerais (Pré-moldado).	61
Figura 37 - Ilustração de Etapas Construtivas.....	62
Figura 38 - Ilustração de Regiões Construtivas.....	62
Figura 39 - Aba Modelo (Pré-moldado).	63
Figura 40 - Aba fck para elementos pré-moldados.....	64
Figura 41 - Aba Pré-moldado.	65
Figura 42 - Planta de forma p/ estrutura em concreto moldado <i>in loco</i>	66
Figura 43 - Planta de forma adaptada para o modelo de estrutura em concreto pré-moldado.	66
Figura 44 - Dados de pilares pré-moldados.	67
Figura 45 - Configuração de pilares pré-moldados em planta baixa.	68
Figura 46 - Seção da viga a ser criada.....	69
Figura 47 - Vigas definidas.....	70
Figura 48 - Vigas lançadas.....	70
Figura 49 - Lançamento de consoles.	71
Figura 50 - Representação dos consoles em planta baixa.....	71
Figura 51 - Distância e dimensões de apoio da laje na viga.	72
Figura 52 - Concretagem da capa da laje, o nó entre a viga e a laje é preenchido...72	
Figura 53 - Seção da laje alveolar escolhida.....	73
Figura 54 - Verificação de erros.	73
Figura 55 - Nova definição de limites dimensionais.	74
Figura 56 – Vistas 3D do edifício moldado <i>in loco</i> e pré-moldado, respectivamente.74	
Figura 57 - Avisos após lançamento das estruturas.....	75
Figura 58 - Definição dos apoios articulados.....	75
Figura 59 - Definição dos apoios parcialmente engastados.....	76
Figura 60 - Definição dos apoios perfeitamente engastados.	76
Figura 61 – Diagrama do momento $M_y(tf.m)$ na viga V1, caso Moldado <i>in loco</i>	77
Figura 62 - Diagrama do momento $M_y(tf.m)$ na viga V1, caso Pré-moldado perfeitamente engastado.	78
Figura 63 - Diagrama do momento $M_y(tf.m)$ na viga V1, caso Pré-moldado parcialmente engastado.	78

Figura 64 - Diagrama do momento $M_y(\text{tf.m})$ na viga V1, caso Pré-moldado apoios articulados.	78
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de resistência de concretos estruturais.	22
Tabela 2 - Quadro resumo dos parâmetros.....	79
Tabela 3 - Quadro resumo dos deslocamentos(cm).	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	GERAL	18
2.2	ESPECÍFICOS.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	CONCRETO	19
3.1.1	Cimento	19
3.1.2	Agregados	20
3.1.3	Água.....	20
3.2	CONCRETO ARMADO	21
3.2.1	Estados do Concreto Armado	21
3.2.1.1	Estado fresco.....	21
3.2.1.2	Estado endurecido.....	22
3.2.2	Resistência à Compressão	22
3.2.3	Aço para Construção Civil.....	23
3.2.4	Elementos Estruturais de um Edifício em Concreto Armado	23
3.2.4.1	Pilares.....	24
3.2.4.2	Vigas.....	24
3.2.4.3	Laje.....	25
3.3	CONCRETO PRÉ-MOLDADO	26
3.3.1	Modulação e Padronização.....	26
3.3.2	Sistema Estrutural em Esqueleto.....	28
3.3.3	Plano de Fabricação.....	28
3.3.4	Elementos Estruturais de um Edifício em Concreto Pré-moldado.....	30

3.3.4.1	Pilares.....	30
3.3.4.2	Consoles.....	31
3.3.4.3	Vigas.....	32
3.3.4.4	Lajes alveolares.....	33
3.3.5	Ligação entre Elementos	34
3.4	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS	37
3.4.1	Estado Limite Último	37
3.4.2	Estado Limite de Serviço	37
3.4.3	Carregamentos	38
3.4.4	Estabilidade Global de Estruturas	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1	TQS E TQS PREO	43
4.2	OBJETO DE ESTUDO	44
4.3	LANÇAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO	45
4.3.1	Criação de um Novo Edifício e Concepção Estrutural	46
4.3.1.1	Aba Gerais.....	46
4.3.1.2	Aba Modelo	47
4.3.1.3	Aba Pavimentos.....	48
4.3.1.4	Aba Materiais.....	49
4.3.1.5	Aba Cobrimento.....	50
4.3.1.6	Aba Cargas.....	51
4.3.2	Modelador Estrutural.....	54
4.3.2.1	Adaptação de plantas.....	55
4.3.2.2	Lançamento de pilares	55
4.3.2.3	Lançamento de vigas.....	56
4.3.2.4	Lançamento de lajes.....	58
4.3.2.5	Processamento global (Moldado <i>in loco</i>).....	59

4.4	LANÇAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO.....	60
4.4.1	Aba Gerais.....	60
4.4.2	Aba Modelo (Número de Etapas e Regiões).....	61
4.4.3	Aba fck para Elementos Pré-moldados	63
4.4.4	Adequação para o Edifício em Pré-moldado.....	65
4.4.5	Lançamento de Pilares.....	67
4.4.6	Lançamento de Vigas	68
4.4.7	Lançamento dos Consoles	71
4.4.8	Lançamento de Lajes	72
4.4.9	Consistência de Planta	73
4.4.10	Processamento Global (pré-moldado).....	74
4.5	VARIAÇÕES DE VINCULAÇÃO ENTRE VIGAS E PILARES	75
4.5.1	Articulado	75
4.5.2	Engastamento Parcial	76
4.5.3	Engastamento Total	76
5	RESULTADOS ESPERADOS	77
5.1	EDIFÍCIO MOLDADO IN LOCO	77
5.2	COMPARAÇÃO DA ANÁLISE ESTRUTURAL DOS MODELOS	77
5.2.1	Estado Limite Último (ELU)	77
5.2.1.1	Esforços no pórtico espacial.....	77
5.2.1.2	Estabilidade global.....	79
5.2.2	Estado Limite de Serviço (ELS).....	80
5.2.2.1	Deslocamentos horizontais máximos	80
6	CONCLUSÃO.....	82
	REFERÊNCIAS.....	83
	APÊNDICE A – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL/PRÉ MOLDADO (APOIOS ARTICULADOS).....	85

APÊNDICE B – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL / PRÉ MOLDADO (APOIOS PARCIALMENTE ENGASTADOS).....	95
APÊNDICE C – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL/PRÉ MOLDADO (APOIOS TOTALMENTE ENGASTADOS).....	104
APÊNDICE D – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL/MOLDADO IN LOCO (APOIOS TOTALMENTE ENGASTADOS).....	113

1 INTRODUÇÃO

A construção civil cresceu significativamente nos últimos anos e sua projeção é continuar evoluindo, por isso novas técnicas e materiais vêm sendo empregados nas obras civis com a finalidade de potencializar o desempenho das construções e principalmente reduzir custos (SILVA, 2010).

Segundo Andrade (1997), dentro do conjunto dos principais materiais que já foram empregados na construção civil, podemos afirmar que o concreto é o material que possui maior destaque de utilizações dentro da sociedade moderna, uma vez que mesmo não estando presente na residência do indivíduo em algumas regiões que possuem cultura/tradição em construir residência com outros materiais, na cidade em que essa residência está localizada provavelmente possui construções elementares em concreto. Este uso em larga escala do concreto na construção civil é devido principalmente a possibilidade de se executar elementos com características idênticas de uma rocha em diferentes formas e tamanhos.

Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos. De maneira sucinta, pode-se afirmar que o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos os mais variados. Duas propriedades do concreto que o destacam como material construtivo são: sua resistência à água – diferentemente do aço e da madeira, o concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, razão de sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água – e sua plasticidade – que possibilita obter formas construtivas inusitadas, como se vê nas obras arquitetônicas de Niemayer. Mas existem outras vantagens: a disponibilidade abundante de seus elementos constituintes e seus baixos custos. “Em termos de sustentabilidade, o concreto armado consome muito menos energia do que o alumínio, o aço, o vidro, e também emite proporcionalmente menos gases e partículas poluentes”, ressalta Arnaldo Forti Battagin, chefe dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). (PEDROSO, 2009, p. 14).

Segundo Santos (2008), o concreto foi introduzido no Brasil no início do século XX como produto patenteado, distribuído por filiais de firmas estrangeiras aqui estabelecidas. A partir das instalações das fábricas de cimento, em meados dos

anos 1920, iniciou-se o processo de difusão da tecnologia do concreto determinando um período crítico de instalação dessa tecnologia no Brasil ao longo dos anos 1930. Nos anos 1940, o uso do concreto já estava normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT regulado pelas atribuições profissionais do sistema CONFEA-CREAs e fazia parte dos currículos das escolas de engenharia e arquitetura. Mas, sobretudo, o concreto estava literalmente nas ruas, aplicado em edificações de natureza variada, seja nas obras da arquitetura do Movimento Moderno - MM, seja nas chamadas “obras de arte” da engenharia, ou ainda em “inexpressivas” edificações de caráter comum.

De acordo com El Debs (2017), quando comparada a outras áreas industriais a construção civil está aquém, pois, em geral, apresenta baixa produtividade, longos prazos, desperdício de materiais e ausência de controle de qualidade. A utilização de pré-moldados de concreto surge como uma alternativa ao concreto moldado *in loco* na melhoria desses indicadores da construção. O uso de pré-moldado possibilita a diminuição do tempo de construção, um melhor controle dos componentes pré-fabricados e redução do desperdício de materiais de construção.

Além disso, a utilização de elementos pré-moldados de concreto pode reduzir o custo dos materiais do concreto armado, basicamente no que se refere ao concreto e à armadura, uma vez que normalmente o maior peso no custo do concreto armado está relacionado a montagem e desmontagem de formas e escoramento de estruturas. Porém a pré-fabricação apresenta outros custos que estão ligados ao processo de fabricação, logística e montagem. Na fabricação podem estar presentes equipamentos controlados por computador para o preparo do concreto. Aditivos e adições são empregados para conseguir os desempenhos mecânicos específicos, para cada classe de concreto. O lançamento e o adensamento do concreto são executados em locais fechados, com equipamentos otimizados. A relação água/cimento pode ser reduzida ao mínimo possível e o adensamento e cura são executados em condições controladas. O resultado é que o concreto pode ser adaptado às solicitações de cada tipo de componente para otimizar o uso dos materiais mais caros. Além disso, a eficácia da mistura é melhor que o concreto moldado no local (ACKER, 2002).

Ao analisar orçamento de obras, a utilização do pré-moldado vem superando a utilização do concreto convencional principalmente para obras de grandes portes

em que a estrutura modular é presente como shoppings, supermercados e centro de distribuições.

No tocante ao projeto estrutural, atualmente existe uma grande variedade de *softwares* especializados em cálculo estrutural que trazem para o engenheiro maior eficiência, redução de falhas, economia de tempo e maior flexibilidade. Porém é importante lembrar que um sistema computacional, por mais sofisticado que seja, é apenas uma ferramenta auxiliar. A responsabilidade pelo projeto é sempre do Engenheiro que o manipula.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Com a conclusão das disciplinas de materiais e estruturas ao longo da graduação, faz-se necessária a aplicação dos conhecimentos obtidos no decorrer do curso, o intuito deste trabalho é solidificar esses conhecimentos, bem como agregar novos conteúdos necessários ao desenvolvimento profissional. Sendo assim, antes da utilização desses *softwares* anteriormente citados, é de extrema importância o contato o desenvolvimento teórico e técnico para analisar ponto a ponto cada atividade e tomar as decisões necessárias para desenvolvê-lo.

Uma vez que o *software* de cálculo estrutural nada mais é que uma ferramenta de apoio ao engenheiro na elaboração do projeto estrutural. Este trabalho foi idealizado a partir do projeto arquitetônico de um edifício existente que foi lançando no software sua versão em concreto convencional e pré-moldado. Para os lançamentos da estrutura foi utilizado o *software* TQS com os módulos básico e PREO na versão acadêmica cedida pela empresa para este estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Realizar, analisar e estudar todas as etapas que constituem um projeto estrutural feito no TQS.

2.2 ESPECÍFICOS

a) Concreto convencional moldado *in loco*

- Lançamento no TQS do prédio dos elementos estruturais: laje maciça, viga e pilar em concreto armado.
- Análise da estabilidade global e do dimensionamento a partir dos resultados fornecidos pelo *software*.

b) Concreto pré-moldado

- Lançamento dos elementos estruturais lajes alveolares, vigas, pilares e consoles.
- Variação de rigidez das ligações: ligações articuladas, parcialmente engastada e totalmente engastada.

c) Analisar a estabilidade dos modelos estruturais através das informações extraídas do *software* para todos os casos analisados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCRETO

O concreto é uma rocha artificial obtida através da mistura de aglomerantes, agregados graúdos (pedras britadas por exemplo) e miúdos (areias), e água em proporção pré-definida. Pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

3.1.1 Cimento

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe. O cimento é o principal elemento dos concretos e é o responsável pela transformação da mistura de materiais que compõem o concreto no produto desejado. Os diferentes tipos de cimento têm uma nomenclatura própria e no comércio o cimento é fornecido em sacos de 25 kg e 50 kg

O cimento é composto principalmente do clínquer (uma mistura de calcário, argila e componentes químicos) e diferenciado conforme a adição de outros materiais, como: gesso, que aumenta o tempo de pega; escória, que aumenta a durabilidade na presença de sulfato, mas, quando em grandes quantidades, pode diminuir a resistência; argila pozolânica, que confere maior impermeabilidade ao concreto; e o próprio calcário, que, muitas vezes, é utilizado em maior quantidade para reduzir o custo do cimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2021).

Portanto, as diferenças estão na composição do material, o que pode impactar suas características e propriedades de resistência, trabalhabilidade, durabilidade e impermeabilidade. A disponibilidade dos tipos de cimento depende primordialmente da demanda de mercado e da região.

3.1.2 Agregados

Os agregados são classificados como naturais (areia, pedregulho, cascalho ou seixo rolado) que são fragmentos rolados nos leitos dos cursos d'água ou encontrados em jazidas provenientes de alterações de rocha ou artificiais como pedra britada, argila expandida e areia artificial. Em relação ao tamanho, os agregados são classificados como miúdos, como areias; e graúdos, como as pedras ou britas, como se pode ver na Figura 1. O agregado miúdo tem diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8 mm, e o agregado graúdo tem diâmetro máximo superior a 4,8 mm.

Figura 1 - Agregados graúdos (esquerda) e miúdos (direita).



Fonte: O Guia do Construtor ¹

3.1.3 Água

A água em proporção adequada é necessária ao concreto para possibilitar as reações químicas do cimento, chamadas reações de hidratação, que irão garantir as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. Outra função da água é a de lubrificar as demais partículas para proporcionar trabalhabilidade do concreto.

¹ Disponível em: <https://www.guiadoconstrutor.com.br/blog/a-importancia-de-areia-e-pedra-na-construcao-civil>

3.2 CONCRETO ARMADO

O concreto armado pode ser definido como a união do concreto simples (cimento + agregados + água) com o material resistente à tração, geralmente aço, que será chamado de armadura passiva (qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada).

Segundo a NBR 6118/2014, os elementos do concreto armado são àqueles cujos comportamentos estruturais dependem da aderência entre concreto e armadura e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência (ABNT, 2014).

3.2.1 Estados do Concreto Armado

3.2.1.1 Estado fresco

O concreto no estado fresco é caracterizado como o material recém-misturado, sendo que o mesmo se apresenta no estado plástico, ou seja, ainda com a capacidade de propiciar a moldagem, com aplicação de cargas, permanecendo moldado após cessar a aplicação da carga. As principais propriedades do concreto fresco são:

- **Consistência:** É a capacidade de se deformar, podendo ser seca plástica ou fluida;
- **Trabalhabilidade:** A trabalhabilidade determina a facilidade com a qual o concreto fresco pode ser manipulado com perda mínima de homogeneidade. A trabalhabilidade é avaliada pelo teste slump;
- **Homogeneidade:** É a distribuição dos grãos;
- **Adensamento:** Responsável pela não formação de vazios no interior da peça;
- **Pega do Concreto:** Início do endurecimento até não ser mais possível o lançamento e adensamento;

- Cura: É um procedimento executivo com o intuito de minimizar a retração do concreto. A cura deve ser realizada por, no mínimo, 7 dias e consiste em molhar/umedecer a peça concretada.;

3.2.1.2 Estado endurecido

Basicamente, o concreto endurecido deve apresentar resistência mecânica e durabilidade compatíveis com as condições do projeto e ao ambiente ao qual a estrutura fica exposta. A seguir é descrita a principal propriedade do concreto endurecido.

3.2.2 Resistência à Compressão

A resistência à compressão é definida para o estado uniaxial de tensões, sendo determinada a partir do ensaio de corpos de provas submetidos à compressão centrada. No Brasil, o corpo de prova é cilíndrico e obedece a relação em que a altura deve ser o dobro do diâmetro da base do cilindro. Em função da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), a NBR 8953/2015 divide os concretos nas classes I e II (ABNT, 2015a). Os concretos são designados pela letra C seguida valor da resistência característica, expressa em MPa, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência do Grupo I	Resistencia característica a compressão MPa	Classe de resistência do Grupo II	Resistencia característica a compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT (2015a).

Para os concretos com classe de resistência inferior à C20, a NBR 8953/2015 (ABNT, 2015a) informa que não são estruturais e, caso sejam utilizados, devem ter seu desempenho atendido conforme ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) e ABNT NBR 12655 (ABNT, 2015b).

3.2.3 Aço para Construção Civil

O aço é uma liga metálica formada principalmente de ferro e carbono. Os aços destinados à armadura de concreto são utilizados para suprir a resistência à tração, ausente no concreto.

Os aços utilizados em estruturas de concreto armado no Brasil são estabelecidos pela norma NBR 7480/2007 (ABNT, 2007).

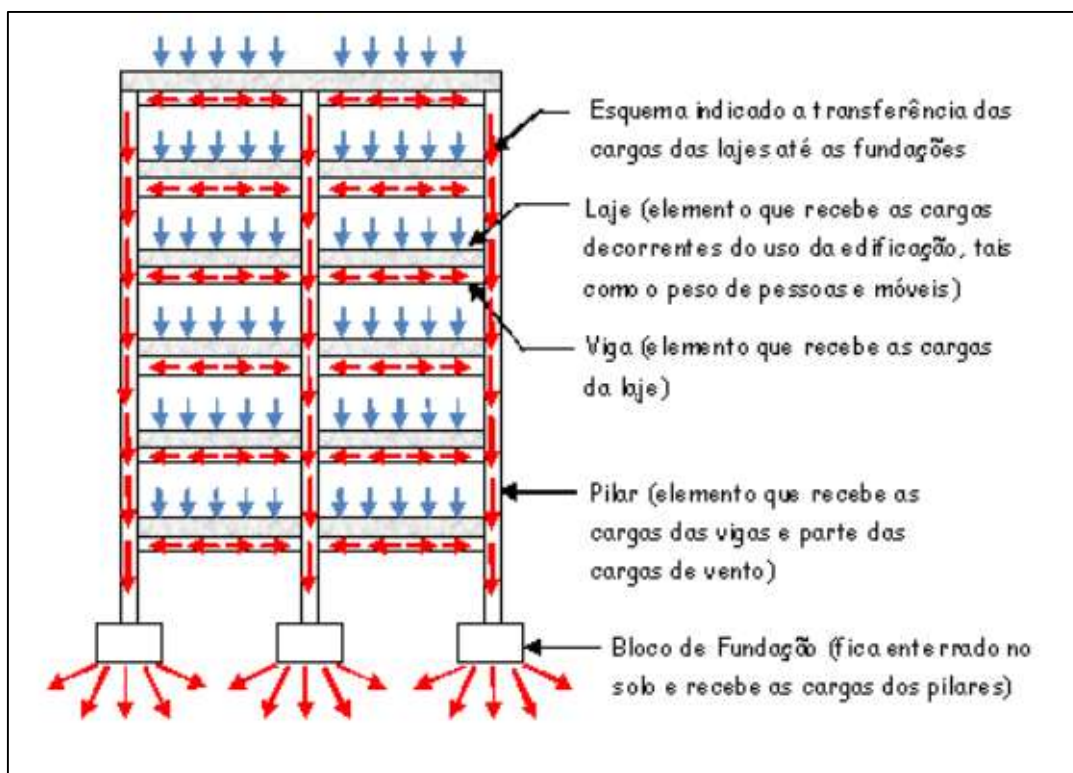
Conforme o valor característico da resistência de escoamento, as barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50 e os fios de aço na categoria CA-60.

3.2.4 Elementos Estruturais de um Edifício em Concreto Armado

A principal finalidade dos elementos estruturais é a de servir como sistema de sustentação, analogamente ao corpo humano, que tem o sistema esquelético para suportar a estrutura do corpo, as edificações também têm elementos construtivos semelhantes para suportar a construção. Os elementos estruturais básicos são as lajes, as vigas, os pilares e as fundações, mas também existem outros, como estruturas de escadas, vigas, paredes, estruturas de vãos de elevadores, entre outros.

As ações verticais são transferidas aos pórticos pelas estruturas dos andares, e as ações horizontais decorrentes do vento são levadas aos pórticos pelas paredes externas. Nas estruturas usuais, compostas por lajes, vigas e pilares, o caminho das cargas inicia nas lajes, que delas vão para as vigas e, posteriormente, para os pilares, que as conduzem até a fundação (Figura 2).

Figura 2 - Transferência de esforços entre elementos de concreto armado.



Fonte: CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, (2014).

3.2.4.1 Pilares

Os pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão predominam. Junto com as vigas, os pilares formam os pórticos, que na maior parte dos edifícios são os responsáveis por resistir às ações verticais e horizontais e garantir a estabilidade global da estrutura.

3.2.4.2 Vigas

Elemento unidirecional (barra), geralmente horizontal, que vencem vãos entre os pilares e fornece apoio às lajes, às alvenarias e, eventualmente a outras vigas. A NBR 6118/2014 define que as vigas são elementos reticulados em que a flexão é preponderante (ABNT, 2014). Ainda segundo a norma, os elementos lineares são

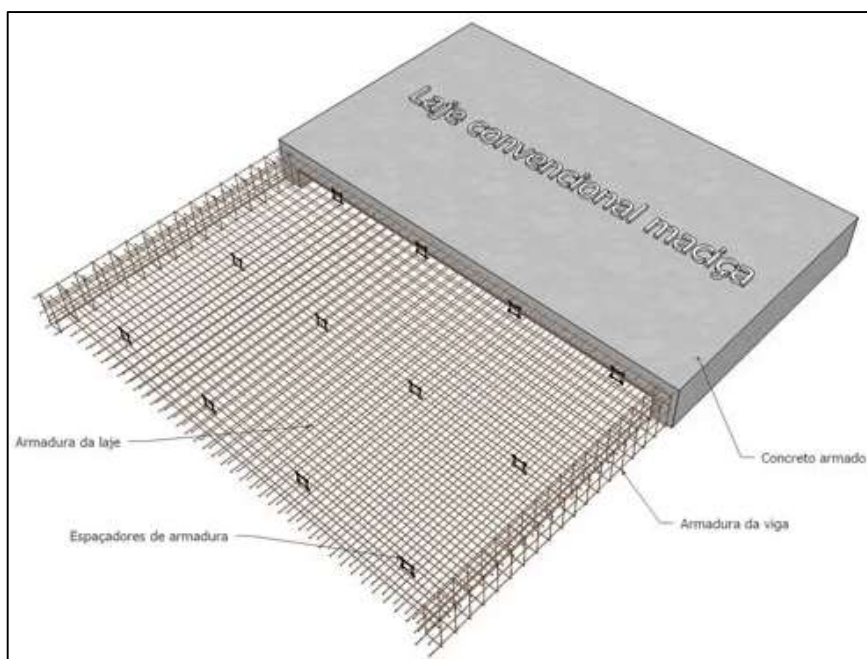
aqueles tem o comprimento longitudinal maior em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal.

3.2.4.3 Laje

Basicamente, a laje é um elemento de concreto do tipo placa, na qual o comprimento e a largura são as maiores dimensões, que costuma ser utilizada na horizontal. As lajes são os elementos estruturais que têm a função básica de receber as cargas de utilização das edificações, aplicadas nos pisos, e transmiti-las às vigas. As vigas transmitem as cargas aos pilares e, a partir destes, o carregamento é transferido para as fundações. Apesar de haver outras possibilidades de concepção, este é o modelo estrutural mais empregado nas edificações.

Os pisos das edificações podem ser executados com diferentes tipos de lajes, como as lajes maciças (Figura 3), as lajes nervuradas, as lajes cogumelo, além de diversos tipos de lajes pré-moldadas. A definição do tipo de laje a ser utilizado depende de considerações econômicas e de segurança, sendo uma função do projeto arquitetônico em análise. Neste estudo utilizamos a laje maciça.

Figura 3 - Ilustração de uma laje maciça.



Fonte: VASCONCELLOS (2012).

3.3 CONCRETO PRÉ-MOLDADO

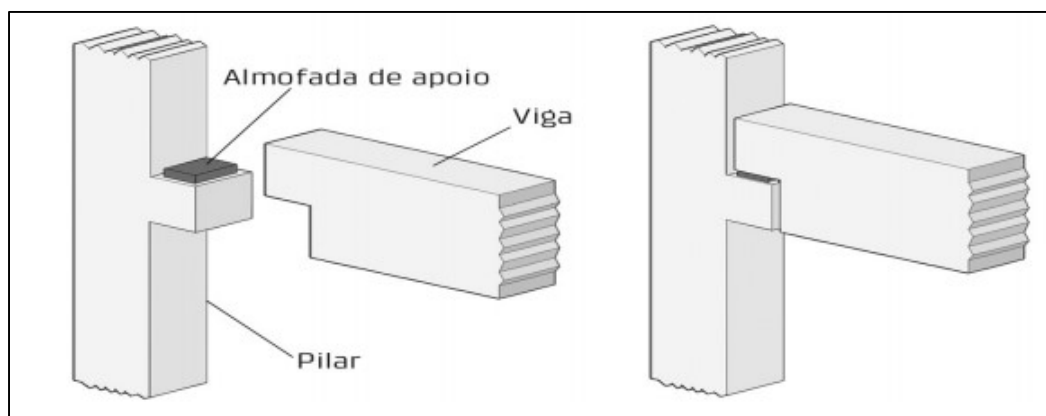
Uma estrutura feita em concreto pré-moldado é aquela em que os elementos estruturais, como pilares, vigas, lajes e outros, são moldados e adquirem certo grau de resistência, antes do seu posicionamento definitivo na estrutura. Por este motivo, este conjunto de peças é também conhecido pelo nome de estrutura pré-fabricada. Estas estruturas podem ser adquiridas junto a empresas especializadas, ou moldadas no próprio canteiro da obra, para serem montadas no momento oportuno. A decisão de produzi-las na própria obra depende sempre de características específicas de cada projeto.

É de fundamental importância, portanto, um estudo criterioso dos custos que envolvem transportes, dimensões das peças, aquisição de formas, tempo de execução, espaço no canteiro, equipamentos disponíveis, controle tecnológico, acabamento e qualidade. Somente um bom planejamento, baseado nas necessidades específicas de cada obra, na sua localização e nos recursos disponíveis para sua execução poderá definir a melhor alternativa.

As principais vantagens do concreto pré-fabricado são: redução do prazo de obra, redução da mão de obra, construção mais limpa. E, em se tratando de grandes obras com elementos estruturais repetitivos há uma tendência a redução de custos. Já as desvantagens são: alto investimento inicial, indisponibilidade de serviços perto da obra e dificuldade de personalização nos projetos.

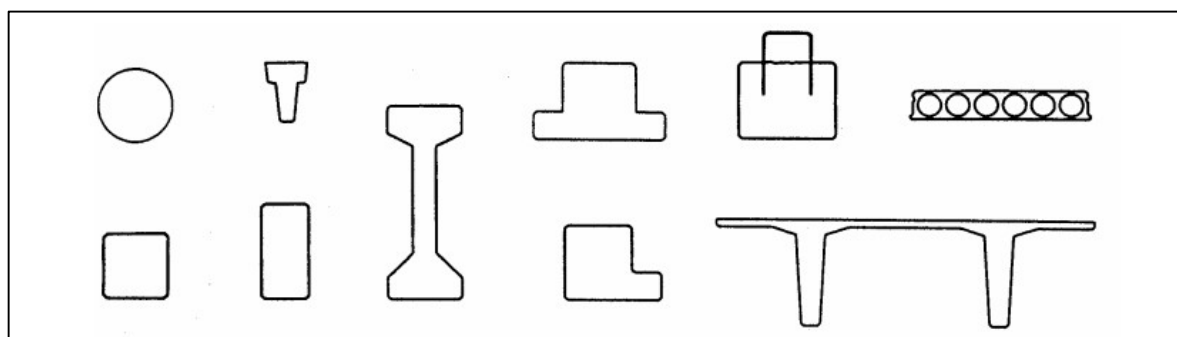
3.3.1 Modulação e Padronização

Segundo Acker (2002), no sistema construtivo do concreto pré-moldado a modulação é um fator econômico importante pois está relacionada diretamente à fabricação e montagem. Geralmente, o módulo básico para vigas e pilares é de 3m, porém pode-se vencer vãos ainda maiores utilizando a protensão. Os pilares internos são posicionados no centro do eixo modular, já as vigas devem ser do mesmo comprimento e a folga deixada no canto do elemento de piso pode ser facilmente preenchida com concreto moldado no local ou com placas de fechamento (Figura 4).

Figura 4 - Montagem da ligação.

Fonte: EL DEBS (2017).

A padronização de produtos e processos é amplamente difundida na pré-fabricação. Fabricantes de pré-moldados têm padronizado seus componentes adotando uma variação de seções transversais apropriadas para cada tipo de componente (Figura 5). O projetista pode selecionar o comprimento, dimensões e capacidade de carga dentro de certos limites. Essa informação pode ser encontrada em catálogos dos fabricantes. Geralmente, os elementos de painéis têm espessura padronizada, mas a altura e largura são livres dentro de certos limites. As aberturas para as janelas e portas são, normalmente, livres. Geralmente as fachadas são projetadas individualmente para cada projeto, respeitando a arquitetura. Algumas vezes, os painéis de fechamento para edifícios de uso geral são disponíveis nas dimensões padronizadas.

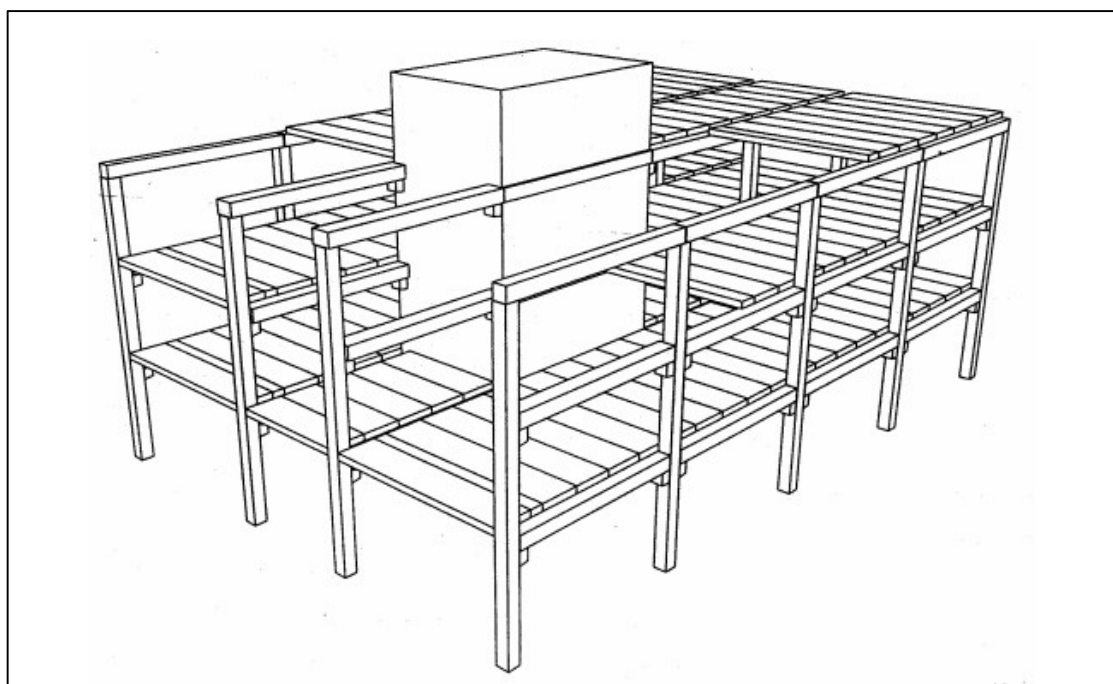
Figura 5 - Algumas seções transversais padronizadas.

Fonte: ACKER (2002).

3.3.2 Sistema Estrutural em Esqueleto

O sistema estrutural em esqueleto consiste em elementos reticulados (vigas e pilares), de seções e dimensões distintas combinado para formação do esqueleto da estrutura. O conceito da estrutura em esqueleto oferece maior liberdade no planejamento e disposição das áreas do piso, sem obstrução de paredes internas ou por muitos pilares internos (Figura 6). Pelo fato de que nas estruturas em esqueleto ser normalmente independente dos subsistemas complementares da edificação, como os sistemas de instalações elétricas e hidros sanitárias e de fechamento. Portanto, não há maiores dificuldades na adaptação das edificações para mudanças no seu uso, com novas funções e inovações técnicas.

Figura 6 - Estrutura pré-moldada em esqueleto.



Fonte: ACKER (2002).

3.3.3 Plano de Fabricação

O plano de fabricação diz respeito à seleção dos processos e ferramentas adequados para transformar a matéria-prima no produto final de acordo com as especificações do projeto. O planejamento do processo pode então ser definido

como um procedimento de determinação dos métodos e da sequência de fabricação para produzir um componente com as especificações de projeto. Para o concreto pré-fabricado temos 7 tópicos cruciais, são eles:

a) Fôrmas

Devido a necessidade de protensão da viga de cobertura e sua seção com inércia variável foi utilizado uma pista de protensão com painéis de formas laterais (de aço) que permite versatilidade de seções.

b) Armaduras

Se faz presente a necessidade de uma central de armação com equipamentos de corte e dobra, e equipamentos para pretensão

c) Protensão

A protensão é dada a partir de um macaco hidráulico e exige cuidados nas regiões de ancoragem (utilizar isoladores) e limpeza das cunhas.

d) Concreto (produção)

Foi considerado a utilização do concreto autoadensável devido a suas principais características que são: fluidez, coesão e resistência à segregação. Além de apresentar vantagens como: excelente acabamento, bombeamento a grandes distâncias com maior velocidade, redução na quantidade de ruído, maior produtividade e segurança, adaptação para peças densamente armadas e adaptação a peças de geometria mais elaborada.

e) Concretagem

Para uma boa concretagem é necessário previamente um planejamento (volume, tipo, intervalo de tempo), layout da fabricação no canteiro (distâncias de transporte), obedecer a altura de lançamento e realização de teste de qualidade.

Outro ponto importante é a realização da cura do concreto. A cura do concreto é a técnica que visa à hidratação do concreto com o objetivo de diminuir os efeitos da evaporação prematura da água na estrutura concretada. E, como consequência, o surgimento de fissuras e trincas. É viável manter a superfície do concreto com água, justamente para conservar a umidade esperada, para isso podemos utilizar a manta geotêxtil. O geotêxtil retém a água nos vazios capilares, impedindo a evaporação. Porém, cede progressivamente a água necessária à cura do concreto.

f) Desforma

Desforma precoce gera deformações não previstas, mesmo no longo prazo, geram fissuras e conseqüentemente perda de resistência e quebras. Outro ponto importante é a eficiência do desmoldante (aderência gera efeitos não desejáveis a estrutura e estéticos).

g) Armazenamento

O armazenamento nos leva a pensar que é apenas armazenar a peça sobre superfície plana sem sobrepor exageradamente uma peça sobre a outra. Porém o armazenamento tem um papel fundamental na logística pois a maneira e principalmente a ordem do armazenamento dita qual peça deverá sair primeiro. Sem esse estudo prévio, possivelmente ocorrerão custos com desperdícios operacionais.

3.3.4 Elementos estruturais de um edifício em concreto pré-moldado

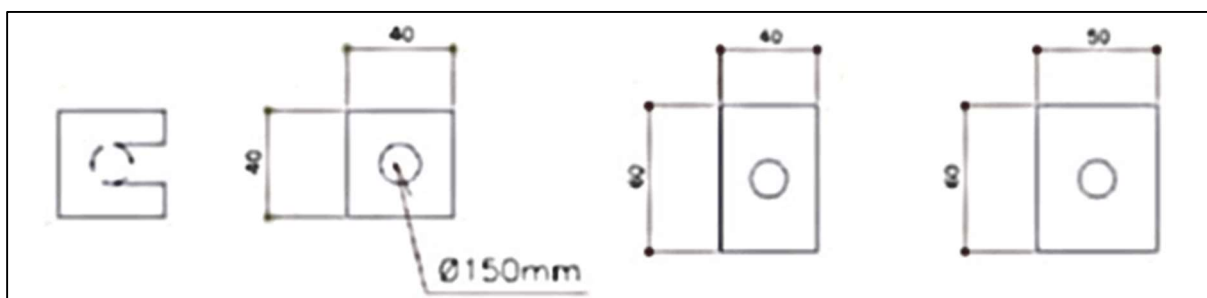
Segundo Acker (2002), as estruturas de esqueleto (estruturas aporticadas) em concreto pré-moldado são geralmente compostas por elementos padronizados. Esses elementos podem ter tamanhos e formas diferentes, como por exemplo: vigas retangulares, vigas I para cobertura, vigas L para as vigas do perímetro externo e lajes duplo-T para pisos. As seções dos elementos estruturais vigas, pilares e lajes são obtidas nos catálogos dos fabricantes. Para planejar um projeto, o projetista necessita escolher os elementos mais apropriados ao seu projeto.

3.3.4.1 Pilares

Os pilares de concreto pré-moldado são fabricados em várias formas e dimensões, usualmente a superfície de concreto é lisa e as bordas são chanfradas. A seção padrão apresenta as dimensões de 40 x 40 cm. Porém dentro da linha de fabricação, podem ser adotadas medidas com variações moduladas de 10 cm, mantendo a mínima largura de 30 cm.

Os pilares pré-fabricados são as peças mais complexas do sistema, pois apresentam consoles para o apoio das vigas. Os consoles podem estar em níveis e ângulos diversos. Geralmente os pilares localizados nas caídas de água da calha contêm um condutor de águas pluviais em seu interior, Figura 7.

Figura 7 - Exemplo de seções de pilares com condutor de águas pluviais.

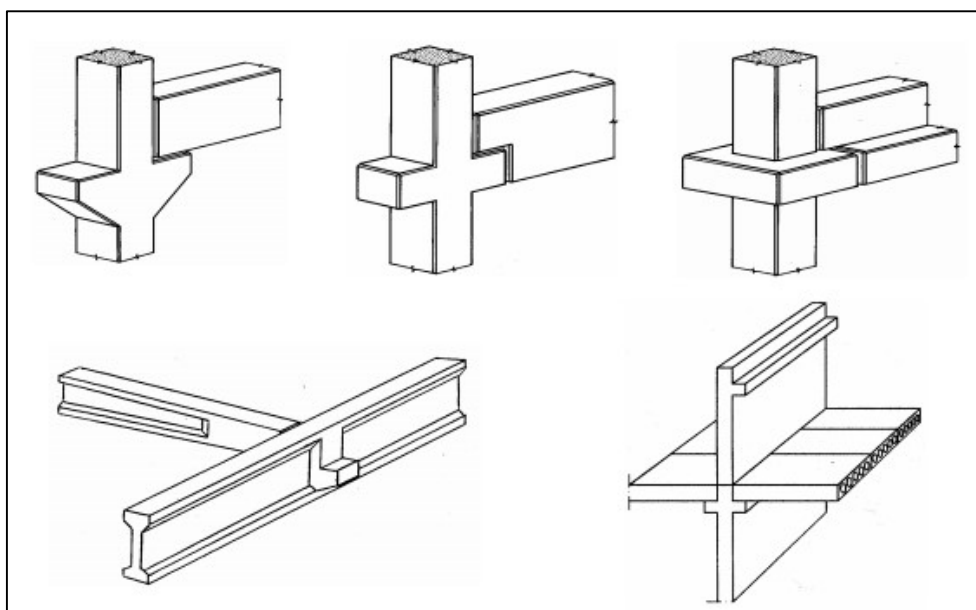


Fonte: MELO (2007).

3.3.4.2 Consoles

Os consoles são geralmente empregados nas estruturas pré-moldadas para as ligações viga-pilar e ligações viga-viga, mas também são empregados para ligações piso-parede. Segundo Melo (2007), os consoles dos pilares podem ser de duas geometrias, retangulares ou trapezoidais. Os consoles retangulares são utilizados em vigas retangulares que não apresentem a seção “I”, onde é possível a realização do dente chamado Gerber. Já consoles trapezoidais são necessários para as vigas no formato “I”, ou retangulares com carregamento muito elevado.

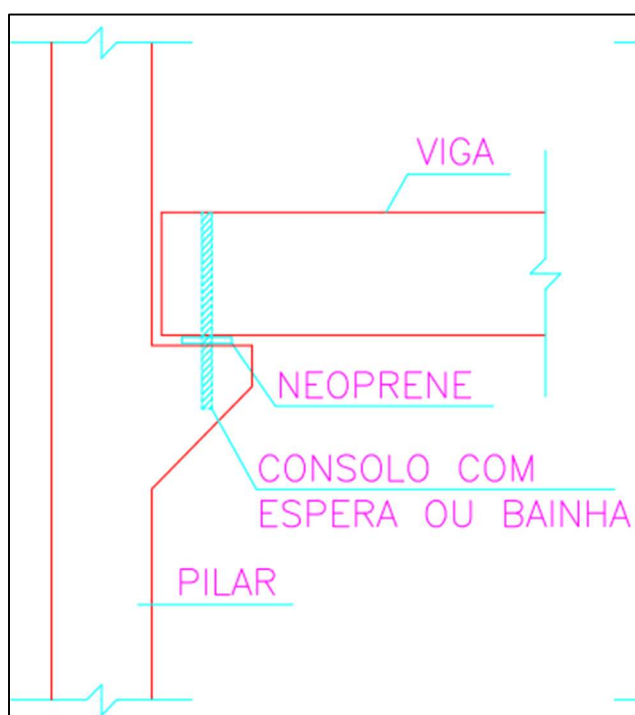
Figura 8 - Exemplos de consoles de concreto.



Fonte: ACKER (2002).

Os consoles apresentam pinos para a ligação das vigas. Durante a montagem, os consoles recebem aparelhos de neoprene, que são elastômeros e impedem o contato direto das superfícies de concreto, obtendo-se assim ligações mais eficientes e preservando a integridade das peças. As fixações são preenchidas com concreto tipo graute (tipo de concreto ou argamassa de alta resistência utilizado para preencher vazios de concretagem), que garante a ligação das peças e realiza o cobrimento dos pinos de ligação dos consoles com as vigas.

Figura 9 - Ligação de peça no console.



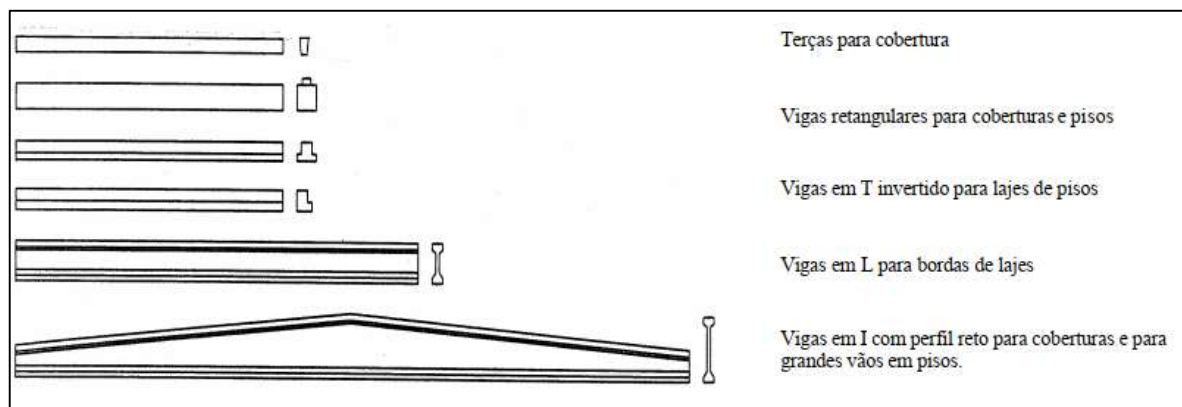
Fonte: Os autores.

3.3.4.3 Vigas

As vigas pré-fabricadas podem ter outros formatos de seções: retangulares ou em formato I. Tais vigas também podem ser diferenciadas pela função: terças de cobertas, vigas T para coberturas e pisos, viga T invertido para lajes e pisos, e viga em L para bordas de lajes. A Figura 10 ilustra os tipos de seções clássicas de vigas pré-moldadas para traves planas aporticadas e para estruturas de esqueleto. Para

cada tipo, tem-se uma variedade de formas de seções transversais padronizadas disponíveis nos catálogos de produtos dos fabricantes.

Figura 10 - Tipos de vigas pré-moldadas e sua aplicação.



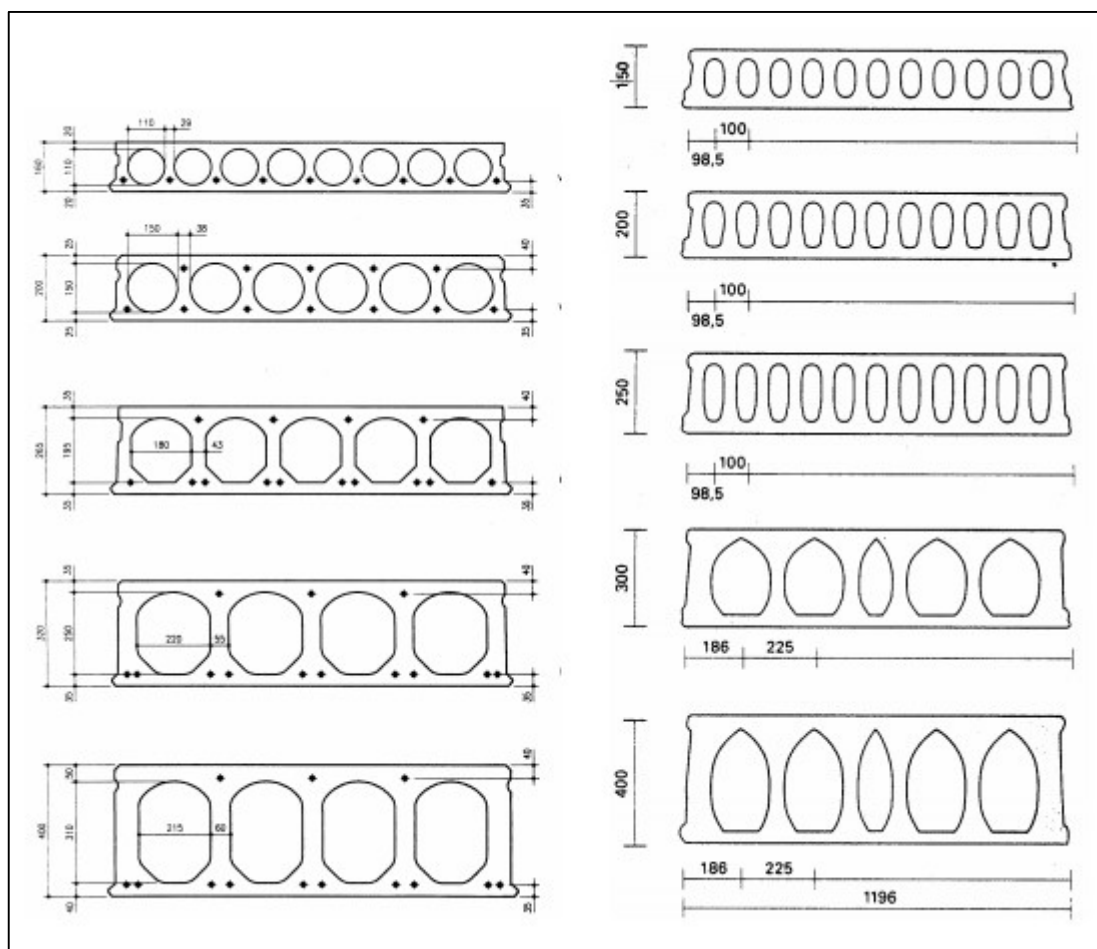
Fonte: ACKER (2002).

3.3.4.4 Lajes alveolares

Segundo Acker (2002), os elementos de lajes alveolares protendidas possuem alvéolos (vazios) longitudinais com intuito principal de reduzir o peso próprio. As lajes alveolares são principalmente utilizadas em construções com grandes vãos, como escritórios, hospitais, escolas, supermercados, e prédios industriais. Também podem ser utilizadas para construção de apartamentos e residências, por condições favoráveis no custo e na rapidez da execução.

As lajes alveolares são encontradas tanto em concreto protendido quanto em concreto armado, onde os elementos estão disponíveis em diferentes espessuras para satisfazer as diferentes necessidades de vão e de carga. As principais seções transversais estão na Figura 11.

Figura 11 - Seções transversais típicas dos elementos de laje alveolar.



Fonte: ACKER (2002).

3.3.5 Ligação entre Elementos

Segunda Acker (2002), muitas das vantagens da construção em concreto pré-moldado estão relacionadas à possibilidade do rápido levantamento da estrutura. Para extrair maior proveito deste benefício e manter os custos dentro de limites razoáveis, as ligações executadas na obra devem ser simples. Todavia, para atender aos requisitos de projeto, algumas vezes é necessário comprometer a simplicidade de fabricação e de montagem.

As ligações que demandam mover o elemento horizontalmente na posição final ou necessitam levantar os elementos em ângulos inclinados deveriam ser evitadas. Para um rápido levantamento dos elementos é necessário que as ligações sejam ajustáveis para permitir os desvios dimensionais. Ou seja, quanto mais

uniforme e simplificado for o modelo estrutural que se queira montar, mais rápido será sua construção.

Não apenas as tolerâncias dos elementos pré-moldados devem ser consideradas, mas também o risco do posicionamento incorreto desses elementos. Isto pode ser decorrente de desvios na locação e/ou execução da fundação moldada no local ou da estrutura de apoio. Com este respeito, é recomendável permitir o máximo de tolerâncias quanto possível para estas partes da construção. Por exemplo, as folgas entre a estrutura moldada no local e os painéis de fechamento não são normalmente visíveis na edificação acabada, e, portanto, dentro de limites razoáveis, estas folgas poderiam ser tão largas quanto as considerações práticas demandam.

As ligações devem ser acessíveis durante a montagem, para posicionar e fixar parafusos e porcas, para executar serviços de soldas e para inspecionar e checar a qualidade mais tarde.

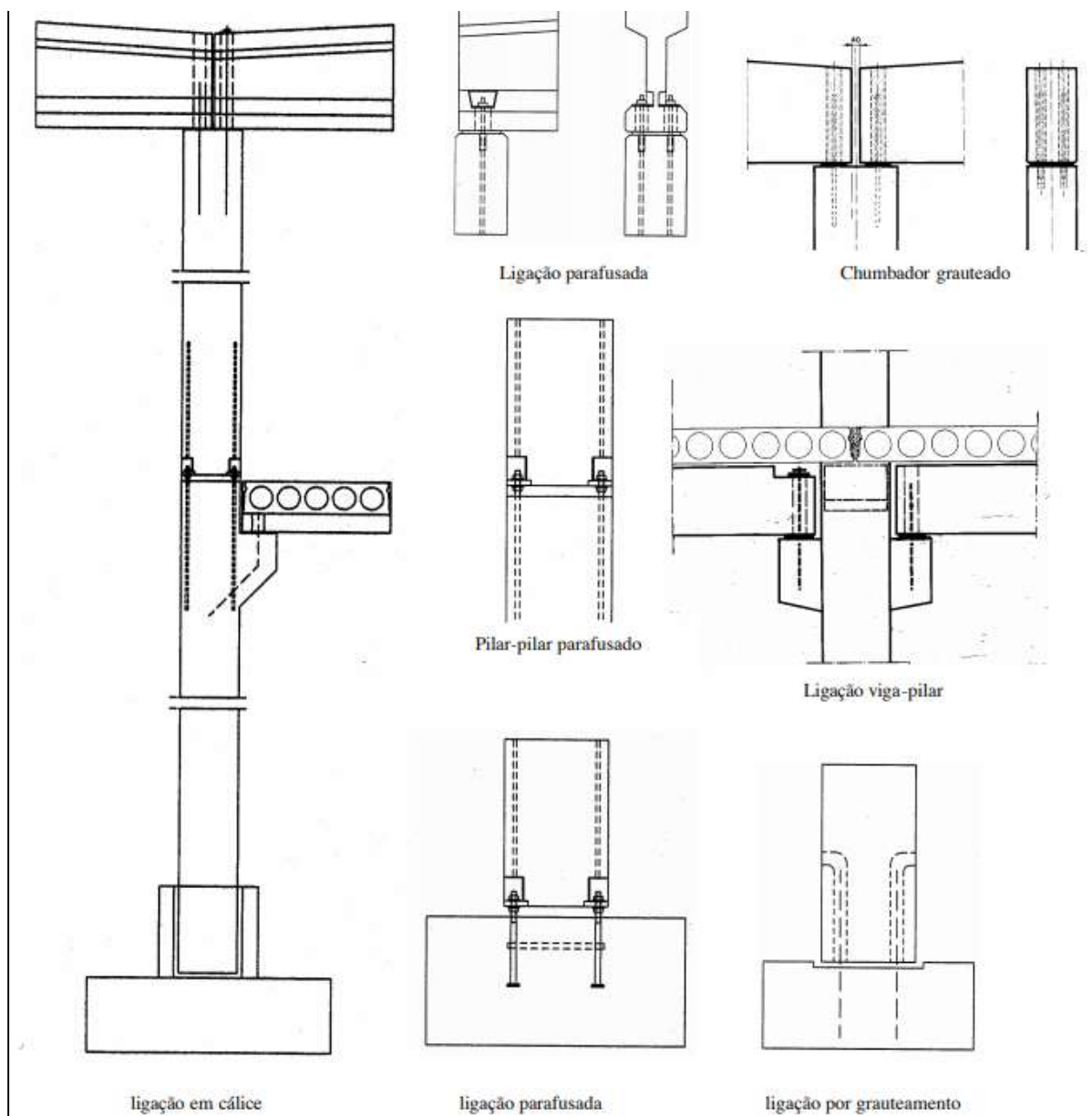
O risco de empregar os detalhes das ligações incorretamente pode ser minimizado utilizando soluções simples, mas apropriadas. No projeto dos elementos pré-moldados é de extrema importância considerar as ações e os esforços que ocorrem nas chamadas situações transientes. Apoios temporários, carregamentos excêntricos durante o levantamento, forças de vento antes que a estrutura esteja completa, içamento e estabilização temporária são exemplos de situações transientes.

A NBR 9062/2017 prevê a utilização de diferentes tipos de ligações. Para ligações solicitadas predominantemente por compressão, caso de elementos pré-moldados apoiados entre si ou sobre concreto moldado no local, pode-se utilizar: juntas à seco, juntas com argamassa de assentamento, juntas de concreto local, dispositivos metálicos e almofadas de elastômero. No caso de ligações solicitadas predominantemente por tração, a força de tração deve ser resistida exclusivamente pela armadura, podendo-se utilizar dispositivos especiais. No caso da solidarização de elementos, como vigas, lajes, pilares, pórticos e arcos, visando sua continuidade, a ligação pode ser realizada por protensão, solda, dispositivos metálicos ou mediante concretagem local. Para outras solicitações, deve-se verificar as determinações da NBR 9062 (ABNT, 2017).

A Figura 12 a seguir traz consigo alguns exemplos de ligações típicas em estruturas de esqueleto para edificações em concreto pré-moldado, sendo assim

tipologias mais comuns de ligações. Os princípios aplicados na maioria das soluções são válidos tanto para construções de edifícios baixos quanto para edifícios altos.

Figura 12 - Exemplos de típicas ligações em pórtico e estruturas de esqueleto.



Fonte: ACKER (2002).

3.4 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS

Nicolau e Teixeira (2015) citam que as estruturas de concreto devem ser projetadas de modo que apresentem critérios de segurança mínimos. Esta segurança está diretamente relacionada à verificação dos estados limites, que são situações em que a estrutura deixa de apresentar o desempenho para qual foi projetada, ou seja, são estados em que a estrutura se encontra imprópria para o uso. Os estados limites são classificados em estados limites últimos ou estados limites de serviço, conforme sejam referidos à situação de ruína ou de uso em serviço, respectivamente. Assim, a segurança pode ser diferenciada com relação à capacidade de carga e à capacidade de utilização da estrutura.

3.4.1 Estado Limite Último

O estado limite último (ELU) corresponde ao estado da estrutura em que sua capacidade portante torna-se insuficiente para superar os esforços solicitantes. Sua ocorrência determina a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção. Segundo Ramalho e Corrêa (2003) esta condição pode ser ocasionada por alguns fatores, como perda de equilíbrio como corpo rígido: tombamento, escorregamento ou levantamento, resistência ultrapassada: ruptura do concreto, escoamento excessivo da armadura, aderência ultrapassada: escorregamento da barra, transformação em mecanismo: estrutura hipostática, flambagem ou fadiga – cargas repetitivas.

3.4.2 Estado Limite de Serviço

Segundo Nicolau e Teixeira (2015), o estado limite de serviço (ELS) está relacionado com as exigências funcionais, sua ocorrência, repetição ou duração causam efeitos estruturais que não respeitam condições especificadas para o uso normal da construção ou que são indícios de comprometimento da durabilidade. Pode ser causado.

Segundo a NBR 6118, precisamos definir valores práticos, para verificação em serviço, do estado-limite de deformações excessivas da estrutura (ABNT, 2014). A norma classifica as deformações em quatro grupos básicos: Aceitabilidade sensorial, que seria as vibrações indesejadas ou efeitos visuais desagradáveis. Efeitos específicos, são aqueles onde o deslocamento pode impedir a correta utilização da construção. Efeitos em elementos não estruturais, são os efeitos onde o deslocamento em elementos estruturais pode afetar elementos não estruturais que são ligados a estrutura, como por exemplo a alvenaria de vedação sobre uma viga. E por fim, os efeitos em elementos estruturais, que são os deslocamentos nos elementos estruturais, onde pode afetar seu comportamento e provocando o afastamento em relação ao modelo de cálculos utilizado.

3.4.3 Carregamentos

Nicolau e Teixeira (2015) traz que os carregamentos são responsáveis pelos esforços ou deformações nas estruturas. Na prática, as forças e as deformações impostas pelos carregamentos são consideradas como se fossem as próprias ações, sendo as forças chamadas de ações diretas e as deformações, ações indiretas. A NBR 6120/2017 diz que ações que atuam nas estruturas podem ser classificadas, segundo sua variabilidade com o tempo, em permanentes, acidentais e externas (ABNT, 2017).

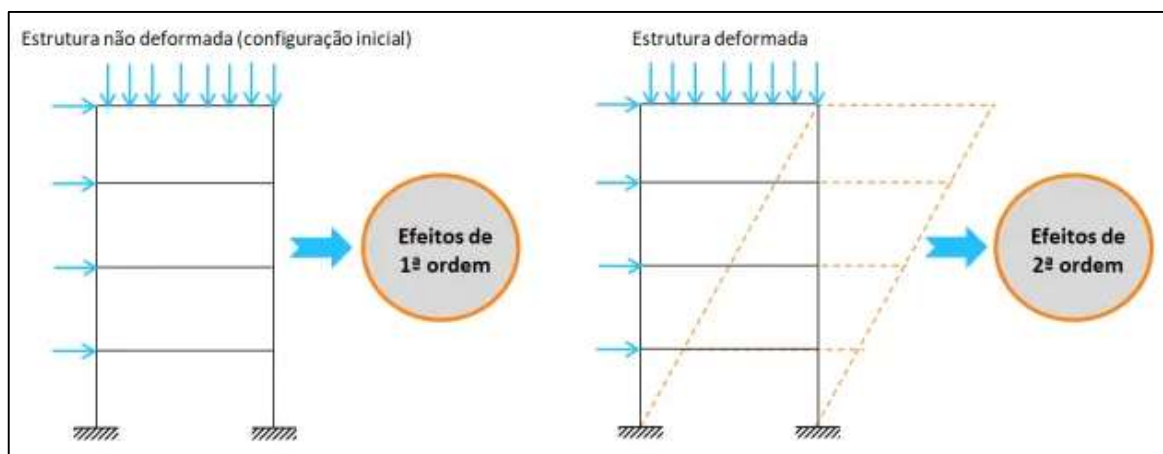
- a) Cargas permanentes: São aquelas que ocorrem com valores constantes ou com pequena variação em torno da média, durante praticamente toda a vida da construção, como por exemplo o próprio da estrutura ou de elementos construtivos permanentes (paredes, pisos e revestimentos, por exemplo), peso dos equipamentos fixos, etc.
- b) Cargas acidentais: Segundo esta norma, são carregamentos verticais atuantes nos pisos das edificações, aquelas cujos valores têm variação significativa em torno da média, durante a vida da construção. Podem ser fixas ou móveis, estáticas ou dinâmicas, pouco variáveis ou muito variáveis. São exemplos: cargas de uso (pessoas, mobiliário, veículos etc.) e seus efeitos (frenagem, impacto, força centrífuga), vento, variação de temperatura, empuxos de água, alguns casos de abalo sísmico etc.

- c) Cargas externas: Correspondem a ações de baixíssima probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, de duração extremamente curta, mas que devem ser consideradas no projeto de determinadas estruturas. São, por exemplo, as ações decorrentes de explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou abalos sísmicos excepcionais.

3.4.4 Estabilidade Global de Estruturas

A verificação quanto à estabilidade global de uma estrutura de contraventamento é recomendada para qualquer edificação que haja alguma suspeita de instabilidade lateral. A NBR 6118/2014 recomenda que em edificações a partir de 4 pavimentos, os efeitos de segunda ordem já devem ser analisados (ABNT, 2014). No entanto, em casos em que a direção de maior inércia da maioria dos pilares, ou paredes estruturais, estejam alinhados em uma mesma direção, os efeitos de segunda ordem devem ser estudados. Situação essa, que deve ser analisada também para estruturas como as de alvenaria estrutural (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

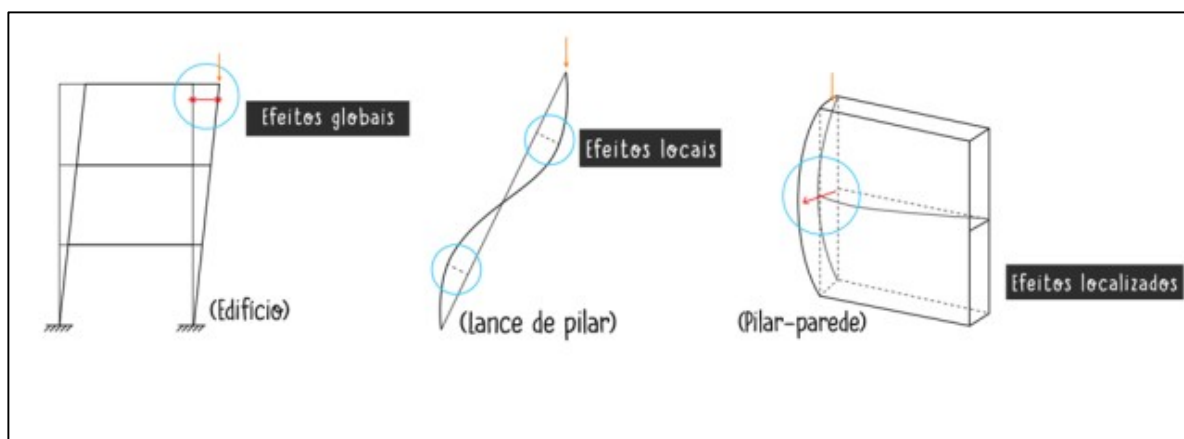
Segundo Ceccon (2008), os efeitos de 2ª ordem são basicamente os efeitos que somam aos obtidos em uma análise de 1ª ordem, no momento em que a estrutura passa a ser analisada em sua configuração deformada. Na prática, quanto mais esbelta for a estrutura como todo, ou simplesmente a peça, maior a relevância do efeito de 2ª ordem, e mais importante é a consideração dos mesmos nos dimensionamentos estruturais.

Figura 13 - Ilustração do efeito de 2ª ordem.

Fonte: SCHNEIDER (2020).

De acordo com a NBR 6118/2014 (ABNT, 2014) os efeitos de segunda ordem podem ser classificados em 3 tipos, são eles:

- Efeito de segunda ordem global: São os efeitos causados devido aos deslocamentos da estrutura (horizontais e verticais) quando impostas aos carregamentos solicitantes;
- Efeito de segunda ordem local: São os efeitos que ocorrem em um pilar, por exemplo. Esse efeito afeta a priori os esforços solicitantes ao longo da barra (pilar);
- Efeito de segunda ordem localizados: Ocorrem em pilares-parede por se tratar de uma região que apresenta retilineidade maior que a do eixo do pilar como um todo. Nessas regiões surgem efeitos de segunda ordem maiores que são chamados de efeitos de segunda ordem localizados.

Figura 14 - Ilustração dos efeitos globais.

Fonte: SCHNEIDER (2020).

Ainda sobre esta norma, os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados em situações que a estrutura é considerada de nós fixos, ou seja, quando os deslocamentos horizontais dos nós são mínimos. Porém, para isto, estes efeitos devem ser inferiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem.

A estruturas de nós móveis, onde os deslocamentos horizontais não são pequenos, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes e devem ser considerados tanto os efeitos de segunda ordem globais como os locais e localizados

Existem dois métodos simplificados para análise dos efeitos globais de 2ª ordem, esses métodos, classificam a estrutura como sendo de nós fixos ou nós móveis, e com isso verificar a dispensa desse efeito ou não. E isso é o principal critério para dispensa de consideração dos efeitos globais. São eles:

- a) Parâmetro de instabilidade α : Uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada como de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade α for menor que o valor α_1 , conforme Equação 1:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{N_k / (E_{CS} I_C)} \quad (1)$$

Onde,

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

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

n = Número de pavimentos;

H_{tot} = Altura total da estrutura, a partir do topo da fundação;

N_k = Somatório de todas as cargas verticais;

$E_{CS} I_C$ = Somatório da rigidez dos pilares na direção considerada

- b) Coeficiente γ_z : Este coeficiente é válido para estruturas de no mínimo 4 andares.

Ele pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se valores de referência estabelecidos na NBR 6118/2014 (ABNT, 2014). O valor de γ_z para cada combinação de carregamento é dado pela Equação 2:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (2)$$

Onde,

$\Delta M_{tot,d}$ = Somatório dos momentos de primeira ordem em relação a combinação considerada, em relação a base da estrutura;

$M_{1,tot,d}$ = Somatório dos momentos de segunda ordem, obtidos pelos deslocamentos de seus pontos de aplicação de esforços na análise de primeira ordem.

A NBR 6118/2014 propõe:

$\gamma_z \leq 1,10$ a estrutura é considerada indeslocável;

$\gamma_z > 1,10$ a estrutura é considerada deslocável.

A NBR 6118/2014 sugere que para o γ_z permite que até o valor de 1,20 ainda se tenha um bom estimador do acréscimo de segunda ordem e desta forma para valores entre 1,10 e 1,20 o próprio valor seja utilizado como um multiplicador de esforços de primeira ordem para a obtenção dos de segunda ordem (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A mesma norma também indica que para valores de γ_z entre 1,10 e 1,30, os esforços de segunda ordem devem ser analisados com as cargas horizontais majoradas em $0,95 \gamma_z$. Para $\gamma_z > 1,3$ a estrutura deve ser enrijecida.

Uma das soluções propostas para consideração dos efeitos globais de 2ª ordem é a utilização de um processo de cálculo denominado P-Delta (produto da força vertical pelo deslocamento). Esse processo é longo, e é realizado através de interações sucessivas, da estrutura deformada, buscando novas condições de equilíbrio para estrutura. E assim são obtidos os esforços adicionais na estrutura.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção será descrito o passo a passo do lançamento no edifício no software nos modelos estruturais concreto convencional e pré-moldado. No modelo estrutural em pré-moldado foram feitas variações nos tipos de ligações entre os pilares e as vigas. Foram utilizados os módulos TQS pleno para o modelo em concreto armado convencional e o TQS PREO educacional, para o modelo em pré-moldado.

4.1 TQS e TQS PREO

A TQS Informática Ltda. é uma empresa prestadora de serviços que desenvolve e fornece *softwares* gráficos para engenharia estrutural. Foi fundada em 1986 e seu campo principal de atuação é o desenvolvimento de *softwares* para estruturas em concreto armado, protendido, pré-moldado e alvenaria estrutural.

É referência nacional em seu campo de atuação, tendo clientes por todo Brasil e em alguns países do exterior. A empresa conta com uma equipe de engenheiros civis que são responsáveis pelo desenvolvimento, manutenção dos *softwares* e ainda pelo suporte técnico.

A solução estrutural adotada no projeto atenderá aos requisitos de qualidade estabelecidos na Norma NBR 6118 (2014), relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

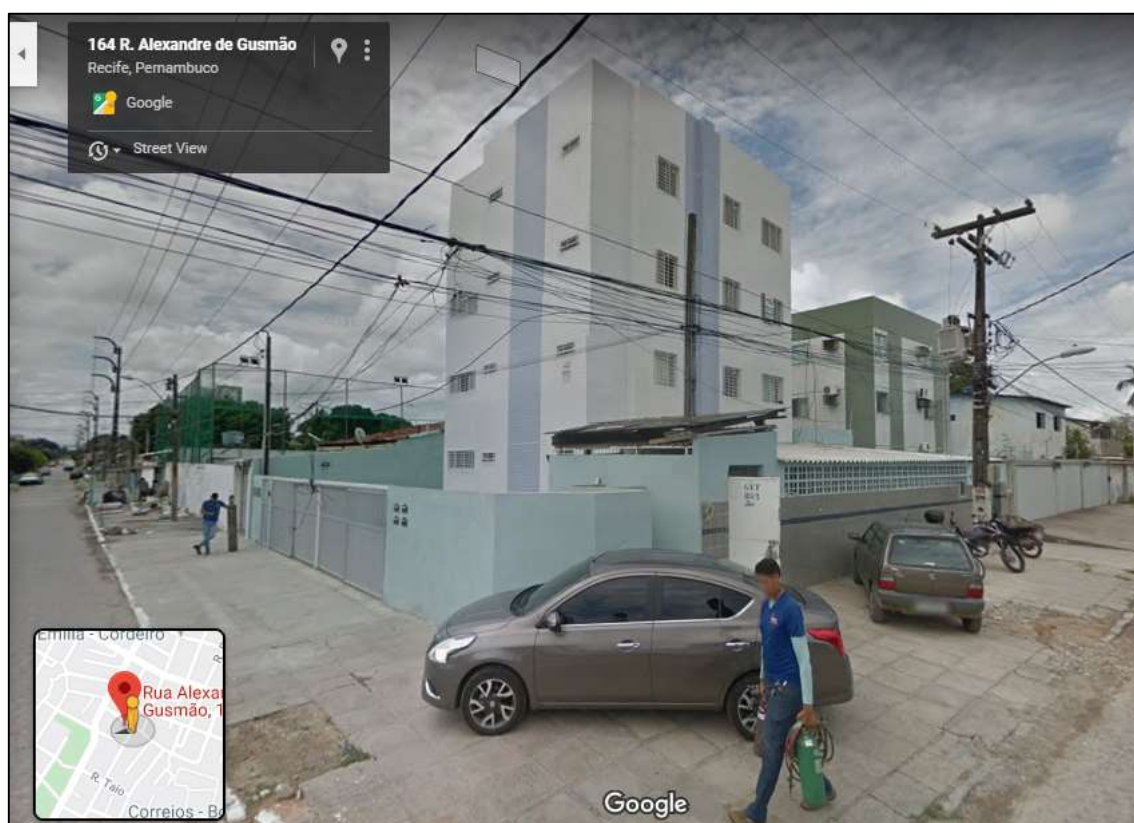
O TQS PREO é um módulo direcionado para elaboração de projetos de estruturas pré-moldadas e pré-fabricadas de concreto armado e protendido. Este módulo integra todas as etapas do projeto:

- a. Lançamento dos dados do edifício: 100% gráfico, biblioteca de seções de fabricantes.
- b. Análise estrutural: esforços, estabilidade global, análise dinâmica (conforto) e não-linear (flechas).
- c. Dimensionamento e detalhamento armaduras: pilares, consoles, lajes e vigas pré-moldadas protendidas ou não.
- d. Desenho e plantas: geração de formas de pilares, vigas e lajes, quantitativo de materiais.

4.2 OBJETO DE ESTUDO

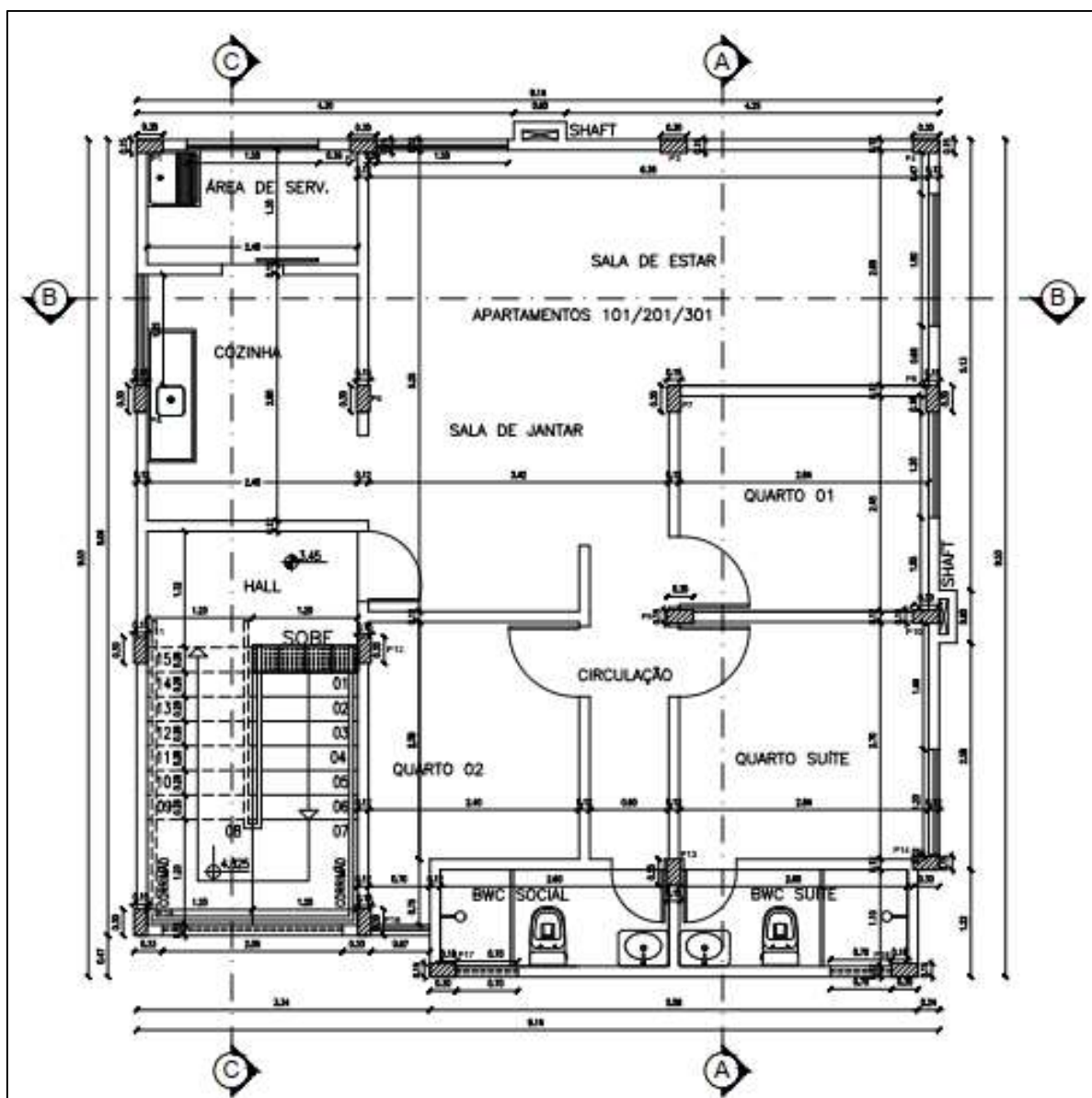
Como objeto de estudo escolhemos um edifício existente de 04 (quatro pavimentos) situado à Rua Alexandre Gusmão nº 14, Torrões Recife / PE. Cada pavimento é composto por 1 (uma) unidade habitacional de aproximadamente 70 (setenta) m², composto por sala de estar, jantar, cozinha, área de serviço 3 (três) quartos e 2 (dois) banheiros conforme apresentados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Edificação referência para o estudo.



Fonte: Google Street View.

Figura 16 - Planta baixa do pavimento tipo 1º, 2º e 3º. (Sem Escala).



Fonte: Autores.

4.3 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO

Aqui será mostrada a metodologia utilizada no *software* para lançamento da estrutura em concreto armado no TQS, além de comentários e considerações feitas pelos autores.

4.3.1 Criação de um Novo Edifício e Concepção Estrutural

4.3.1.1 Aba Gerais

Após abrir o *software*, no gerenciador TQS, selecionamos a aba "Edifício", onde será criado um edifício. A partir disso, demos início a concepção estrutural do prédio, onde são adicionadas as configurações iniciais como identificação do edifício, tipo de estrutura (nesse caso marcamos a opção de concreto armado/protendido) e qual norma iremos utilizar no dimensionamento: NBR 6118/2014 (ABNT, 2014).

Figura 17 - Aba "Gerais" da concepção estrutural.

A imagem mostra a interface do software TQS, especificamente a aba "Gerais" da concepção estrutural. A interface é organizada em abas no topo: "Gerais", "Modelo", "Pavimentos", "Materiais", "Cobrimentos", "Cargas", "Critérios" e "Gerenciamento". A aba "Gerais" está selecionada.

Dentro da aba "Gerais", há seções para:

- Identificação:** Campos para "Título do edifício" (contendo "Estudo de Caso"), "Título do cliente" (contendo "TCC"), "Endereço da obra" (campo vazio) e "Número do projeto" (contendo "1"). Há também um campo para "Prefixo de plantas" (contendo "01").
- Descrição do projeto:** Uma área de texto grande e vazia para descrever o projeto.
- Norma em uso:** Um menu suspenso com "NBR-6118:2014" selecionado. Abaixo dele, há uma caixa de seleção marcada com "Forçar critérios de norma".
- Tipo de estrutura:** Um grupo de opções com radio buttons:
 - ☒ Concreto Armado/Protendido
 - ☐ Concreto Pré-moldado
 - ☐ Alvenaria Estrutural
 - ☐ Paredes de concreto
 - ☐ Projeto de formas de madeira
- Avançado...:** Um botão para acessar configurações adicionais.
- Metadados:** Campos para "Criado por:" (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO), "Criado em:" (16/10/2019 23:35:05), "Modificado em:" (03/11/2020 10:29:05) e "TQS" (V21.9.38).
- Norma Brasileira:** Um campo exibindo "NBR-6118:2014".

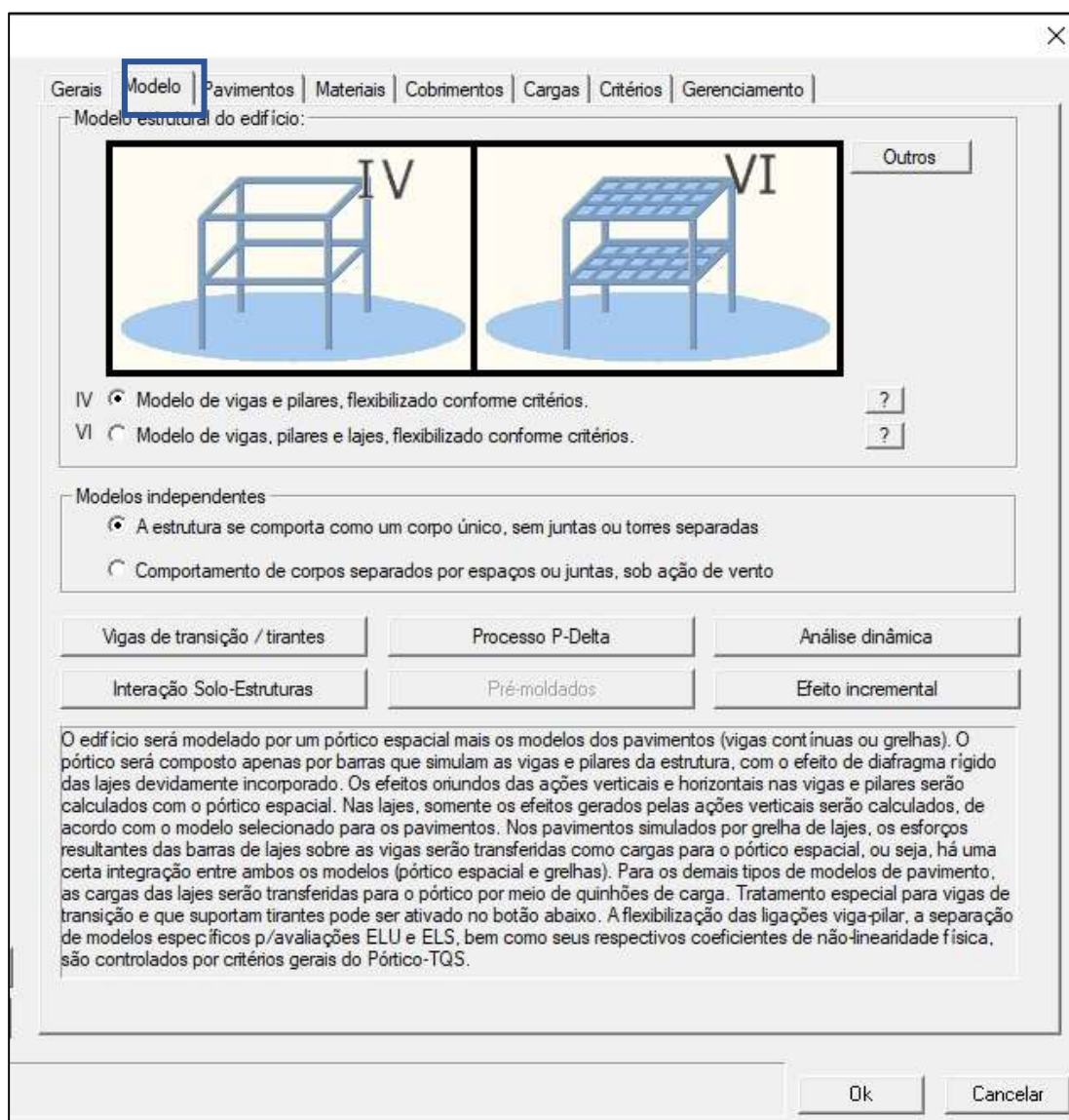
No rodapé da janela, há botões "Ok" e "Cancelar".

Fonte: Autores.

4.3.1.2 Aba Modelo

Em seguida avançamos para próxima aba da concepção estrutural que é onde escolhemos o modelo pré-definido pelo *software*. Adotamos o modelo IV cujo modelo de vigas e pilares é flexibilizado conforme critérios, pois para esta situação a laje não colabora na resistência as ações horizontais. O modelo VI deve ser utilizado quando se queira que as lajes, além de pilares e vigas, se encarreguem de absorver parte dos esforços gerados pelo vento. (Figura 18).

Figura 18 - Aba "Modelo" da concepção estrutural.



Fonte: Autores.

4.3.1.3 Aba Pavimentos

O próximo passo é adicionar e definir os pavimentos e a distância entre os pavimentos, mais precisamente é preenchido na célula “Pé direito (m)” a distância entre o pavimento analisado e o imediatamente inferior. Na Figura 19, o pé direito considerado é a distância entre o pavimento térreo e o nível da fundação, já na Figura 20 é a distância do nível do primeiro pavimento e o nível do pavimento térreo.

Figura 19 - Aba "Pavimentos" da concepção estrutural (Pavimento Térreo).

Fonte: Autores.

Figura 20 - Aba "Pavimentos" da concepção estrutural (Primeiro Pavimento).

Fonte: Autores.

4.3.1.4 Aba Materiais

Em seguida definimos as características dos materiais, mais precisamente do concreto (Figura 21), como o fck que será utilizado no dimensionamento (C30), o tipo de concreto para elementos estruturais (concreto armado), classe de agressividade ambiental (II – Moderada – Urbana).

Figura 21 - Aba "Materiais" da concepção estrutural.

Gerar | Modelo | Pavimentos | **Materiais** | Cobrimentos | Cargas | Critérios | Gerenciamento

Modo de fornecimento de fck

☐ Definir valores em kgf/cm²

☒ Usar somente valores tabelados

Concreto para elementos estruturais em:

☒ Concreto armado

☐ Concreto protendido

Classe de agressividade ambiental

II - Moderada - Urbana

Alterar

fcks gerais

Classe

Vigas/Lajes C30

Pilares C30

Fundações C30

☐ Desativar a verificação de fck mínimo

fcks diferenciados por piso/planta

Vigas/Lajes

Pilares

Elementos pré-moldados

Alterar

Alvenaria estrutural

Blocos vazados de CONCRETO

Fabricantes p/o projeto

Os valores de resistência definidos nesta tela serão usados nos modelos de pórtico espacial e grelhas e no dimensionamento/detalhamento de vigas, pilares, lajes, escadas e fundações.

Ok Cancelar

Fonte: Autores.

4.3.1.5 Aba Cobrimento

Em relação à aba “Cobrimento” (Figura 22), as células são preenchidas automaticamente de acordo com a norma definida inicialmente, podendo o usuário alterar esses valores ou manter os cobrimentos pré-definidos pelo TQS. Optamos por permanecer com os valores do *software*.

Figura 22 - Aba "Cobrimentos" da concepção estrutural.

Cobrimentos

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | **Cobrimentos** | Cargas | Critérios | Gerenciamento

Cobrimentos em cm

	Inferior	Superior	Diferença secundária	
Lajes em geral	2.5	2.5	1	1
Lajes protendidas	3.5	3.5	1	
Vigas	3			
Pilares	3			
Fundações	3		1	

Valores de norma

Valores diferenciados por planta

Pré-moldados

Cobrimento de elementos em contato com o solo em cm

Vigas e lajes	3	Pilares	4.5
---------------	---	---------	-----

Verificação de cobrimentos mínimos

Maior altura de bainha	60	mm
Maior bitola de viga/pilar	25	mm
Maior bitola de lajes	12.5	mm

☐ Desativar a verificação dos cobrimentos mínimos

Fatores atenuantes

☐ Rígido controle de qualidade e de tolerância de medidas na obra

Classe de agressividade ambiental

II - Moderada - Urbana

Alterar

Comprimento em cm, da armadura inferior (positiva) das lajes

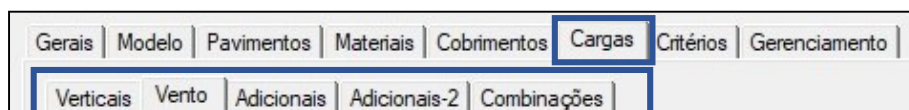
Ok Cancelar

Fonte: Autores.

4.3.1.6 Aba Cargas

Como se vê na Figura 23 a aba Cargas apresenta as sub-abas: verticais, vento, adicionais, adicionais-2 e combinações. Inicialmente só acrescentamos a carga de vento na concepção estrutural, as demais cargas serão adicionadas no modelador estrutural.

Figura 23 - Aba "Cargas" da concepção estrutural.

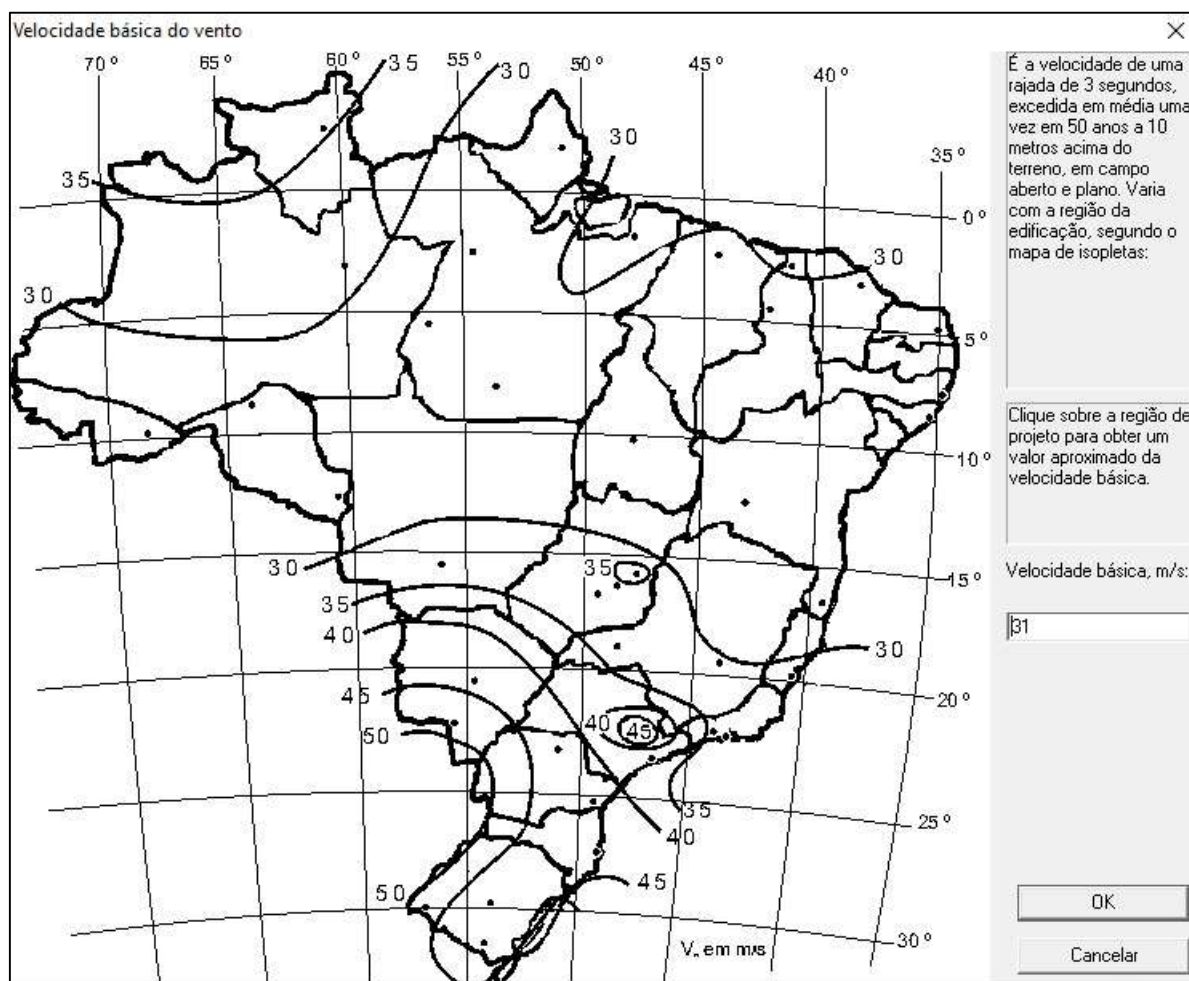


Fonte: Autores.

Assim, na sub-aba carga de vento, adicionamos informações sobre a edificação e onde ela está localizada, calculando assim os coeficientes de arrasto para levar esse efeito em consideração.

A velocidade básica do vento é definida como “velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano”, NBR 6123/1988 (ABNT,1988). Esta velocidade é definida conforme a localização da edificação, através do mapa de isopletas, dado em m/s e apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Velocidade básica do vento.



Fonte: Autores.

Figura 25 - Aba "Cargas" da concepção estrutural.

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | **Cargas** | Critérios | Gerenciamento

Verticais | **Vento** | Adicionais | Adicionais-2 | Combinações

V0 - Velocidade básica: 31

S1 - Fator do terreno: 1.00

S2 - Categoria de rugosidade: III

S2 - Classe da edificação: A

S3 - Fator estatístico: 1.00

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.5	Não	0
2	270	1.5	Não	0
3	0	1.5	Não	0
4	180	1.5	Não	0

Cota inicial para aplicação de vento

Inserir Apagar Calcular CAs

☐ Casos de vento nas plantas de formas

Ângulo de incidência de vento

Avançado...

Tabelas de excentricidades e forças impostas

Excentricidades do caso selecionado

Ler tabelas de túnel de vento - planilha SDF

Ler tabelas de túnel de vento - FTV XML

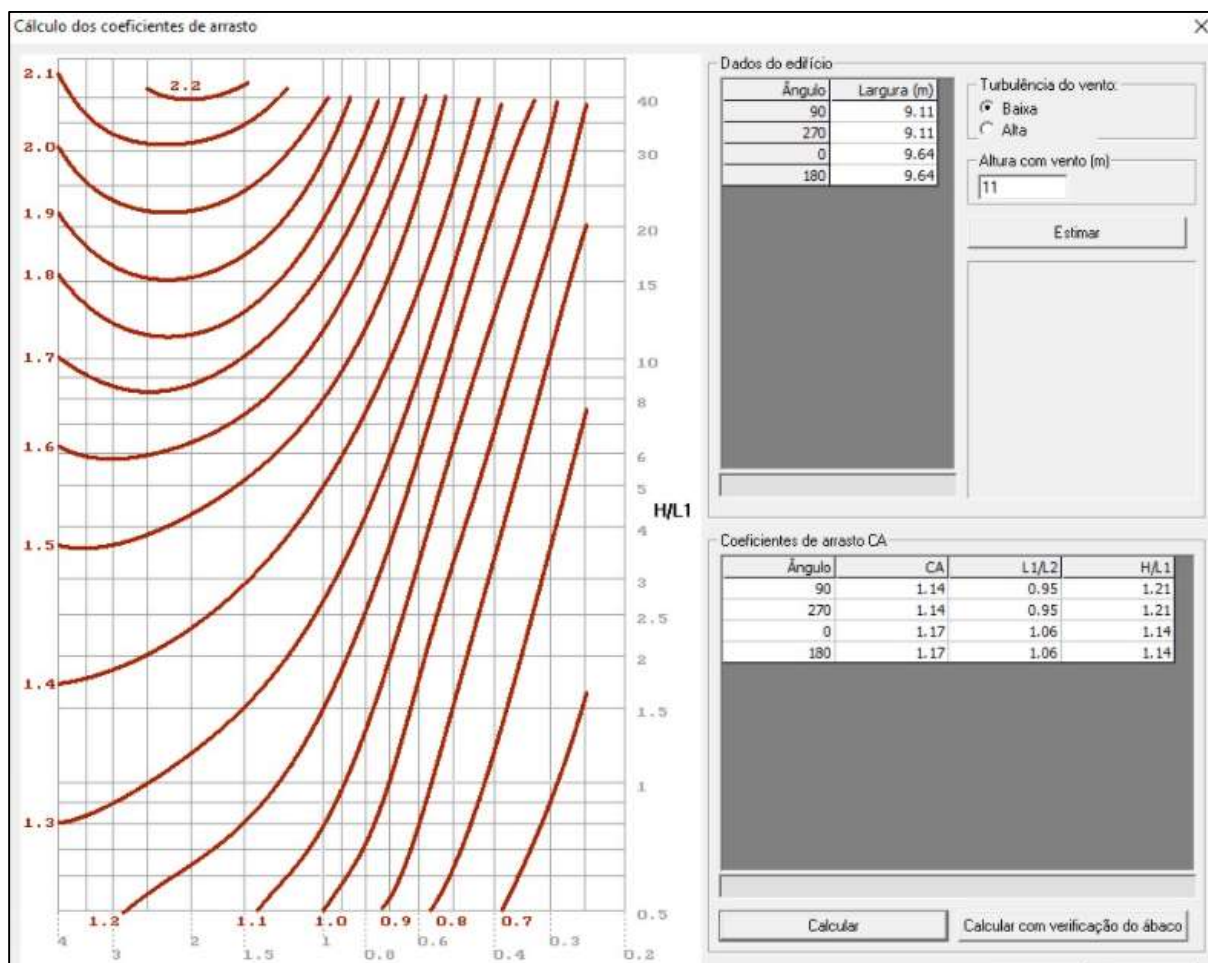
Começa as variáveis para cálculo de vento conforme a norma ou especifique valores especiais ou de ensaio no item "Excentricidades".

Ok Cancelar

Fonte: Autores.

Para o cálculo dos coeficientes de arrasto (Figura 26) precisamos das dimensões do edifício, podemos fazer com que o próprio TQS estime essas dimensões da nossa edificação automaticamente se caso já tivéssemos entrado com a planta do edifício no modelador estrutural, como isso ainda não aconteceu, esses dados foram colocados manualmente e posteriormente foram atualizados nessa mesma janela logo após o lançamento da estrutura no modelador estrutural (os 4 lados e a altura). Com isso obtivemos os coeficientes de arrasto que contribuíram com os esforços de vento.

Figura 26 - Cálculo dos coeficientes de arrasto.



Fonte: Autores.

4.3.2 Modelador Estrutural

Ao fim da concepção estrutural, todo edifício criado no TQS possui a mesma estrutura de organização: pastas hierarquizadas que se chamam de "Árvore do edifício".

Na Figura 27, estão representados todos os edifícios da árvore atual, e por edifício, as pastas correspondentes as pavimentos e etc.

Figura 27 – Árvore do edifício e modelador estrutural.



Fonte: Autores.

4.3.2.1 Adaptação de plantas

Antes de lançar os elementos estruturais (pilares e vigas) é necessário fazer a conversão das plantas de DWG-ACAD para DWG-TQS com as dimensões em centímetros. Com as plantas convertidas já adicionadas no *software*, devemos locar o projeto na origem, para isso escolhe-se um ponto que será visível em todas as plantas adicionadas, como por exemplo um vértice de um pilar e posteriormente são locadas na origem todas as plantas correspondentes a cada pavimento adicionado na concepção estrutural. Após esse procedimento podemos perceber no TQS que as plantas ficam sobrepostas umas nas outras.

4.3.2.2 Lançamento de pilares

Para adicionar os pilares escolhemos o tipo e dimensões do pilar (Figura 28), e em seguida adicionamos na planta (Figura 29).

Figura 28 - Dados dos pilares (seção).

Dados de pilares

Identificação | **Seção** | Modelo | Grelha/Pavimento | Pórtico | Detalhamento | Cargas | Plantas/Seções | BIM

Posição de inserção
☐ Centro
☒ Canto 1
☐ Ponto médio seguido ao canto

Ângulo de inserção 0

Revestimento (cm) 0

Retangular | Em L | Em U | Circular | Poligonal | Perfil

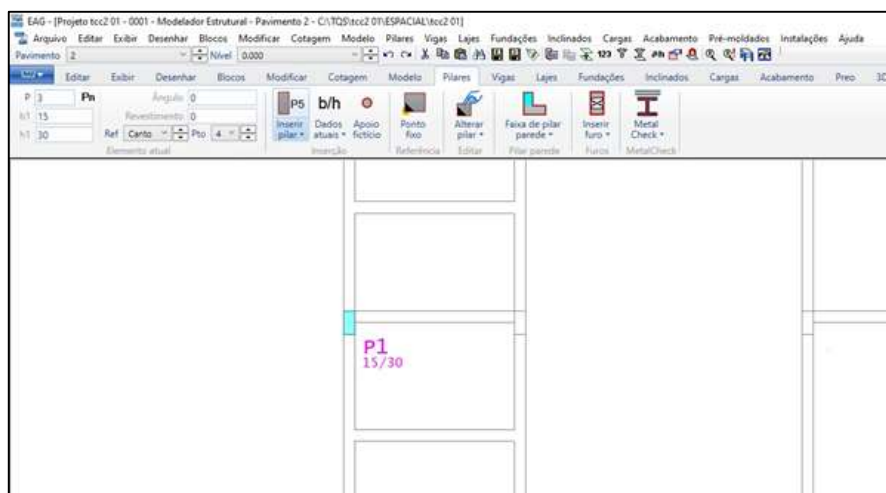
B1 15
H1 30

Diagrama de seção: Retângulo com cantos numerados 1, 2, 3, 4 e uma cruz no centro. Abaixo do diagrama: B1

Material não padrão

OK Cancelar Inserir

Fonte: Autores.

Figura 29 - Adição do pilar em planta

Fonte: Autores.

4.3.2.3 Lançamento de vigas

A adição de viga é de forma análoga a adição de pilar, adicionamos a seção e dimensão da viga (Figura 30). Em relação ao carregamento podemos optar por

calcular e adicionar os valores das cargas, ou podemos usar a opção ALFANUMÉRICAS, onde entraremos com informações sobre a carga distribuída linear, como: largura de blocos cerâmicos, o tipo de bloco que será utilizado bloco ou tijolos vazados e altura da parede (Figura 31).

Figura 30 - Propriedade geométricas da viga.

Dados Gerais da Viga

Identificação | Inserção | Seção/Carga | Modelo | Intersecções | Temperatura/Retração | Detalhamento | BIM

Largura (cm): 15 | Altura (cm): 35 | Rebaixo DFS (cm): 0 | Excentricidade EXC (cm): 0

Carga distribuída em todos os vãos: 0.49 tfm

Seção/Perfil catalogado:

Dados de viga metálica:

Material não padrão:

Mísula / Seção Variável:

Seções catalogadas:

Seção	Comentário
15/35 c0.49	pav tipo e terreo
15/25 c0	
15/50 c0	

Largura da viga, em cm:

NV = Nível do pavimento
H = Altura da seção
L = Largura
DFS = Rebaixo do topo
EXC = Excentricidade

OK Cancelar Inserir

Fonte: Autores.

Figura 31 - Definição de carregamentos da viga

Definição de carregamentos

Caso/Carga: 0.49

Numéricas | Alfanuméricas

Carga distribuída linear

Carga principal ou permanente: 0.49 tf/m

Carga acidental: 0 tf/m

Inserir Apagar Caso: 0001 - TODAS - Todas permanentes e acidentais dos pavimentos

Entre com o valor total da carga, ou a componente permanente, caso haja separação de cargas acidentais e permanentes definida no edifício.

OK Cancelar

Fonte: Autores.

4.3.2.4 Lançamento de lajes

Adiante vamos para o lançamento dos elementos de laje no *software*, para tal escolhemos o tipo de a laje e sua espessura. No nosso caso, utilizamos a laje maciça e entramos com a espessura igual a 15cm, conforme está ilustrado na Figura 32. No tocante a escolha das cargas atuantes na laje escolhemos a opção alfanumérica, onde podemos optar pelo tipo de carregamento de acordo com o tipo de laje. No caso dos pavimentos tipo escolhemos a opção APARTAMENTO (0.10/0.15) (Figura 33) e para cobertura escolhemos a opção COBERTURA (0.15/0.10).

Figura 32 - Dados da Laje.

Fonte: Autores.

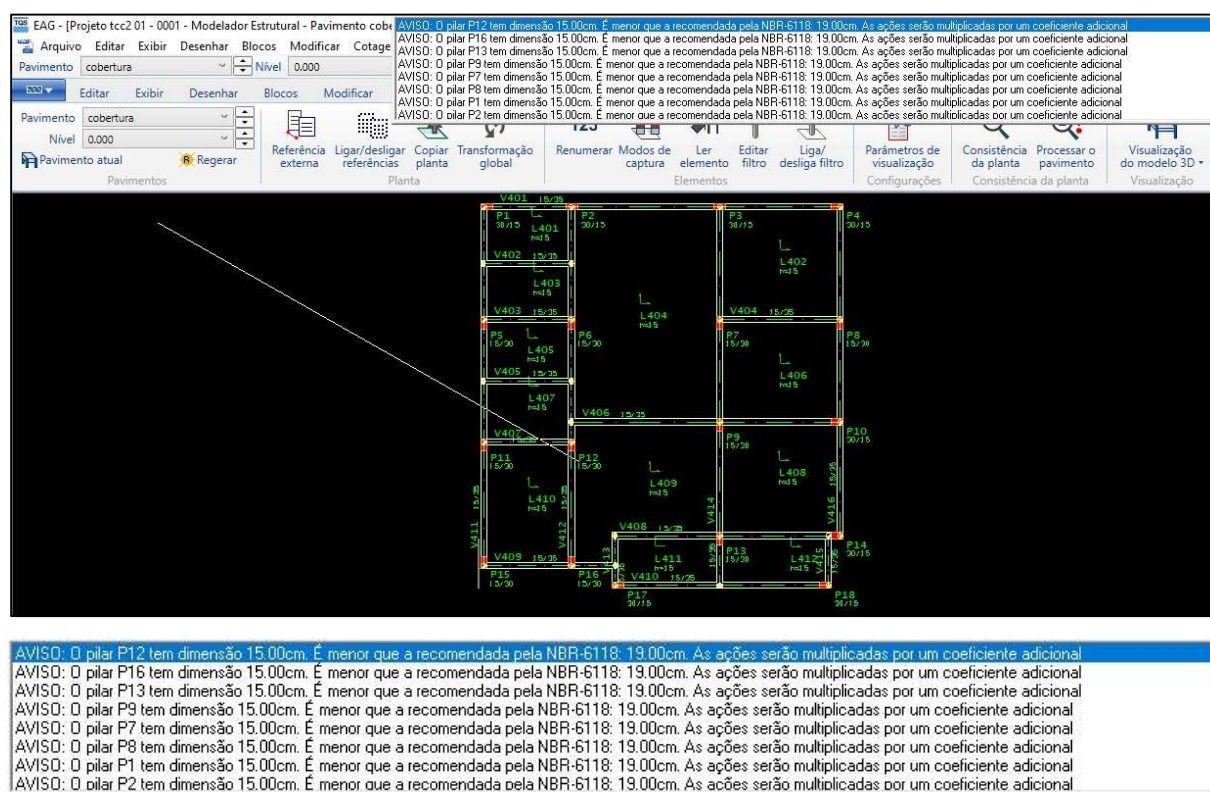
Figura 33 - Definições de carregamentos p/ "APARTAMENTO".

Fonte: Autores.

Ao fim do lançamento pode-se verificar na consistência da planta (Figura 34) alguns tipos de avisos ou erros no lançamento das formas. No nosso edifício os pilares têm uma das dimensões menores do que a recomendada em norma, por isso o *software* avisa que os esforços desses pilares serão multiplicados por um coeficiente adicional. Esse tipo de aviso que o TQS informa não é erro, o edifício será calculado normalmente, porém, se houver alguma mensagem de erro na verificação da consistência da planta, o projeto de formas terá que ser revisado, e o prédio não poderá ser processado até serem corrigidos esses erros.

Também existe a opção de processar o pavimento, onde pode-se ter acesso a quantitativos como área de forma e volume de concreto, e as cargas atuantes nas lajes, vigas e pilares.

Figura 34 - Avisos após lançamento das estruturas.



Fonte: Autores.

4.3.2.5 Processamento global (Moldado *in loco*)

Após Finalizar a modelagem da estrutura, fizemos o processamento global da mesma. Para dar início ao processo, salvamos o modelo estrutural finalizado,

fechamos o modelador estrutural, clicamos no nome do prédio na árvore de edifícios e depois em “Processamento Global” (Figura 35).

Figura 35 - Avisos após lançamento das estruturas



Fonte: Autores.

4.4 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Serão dimensionados todos os componentes já citados do edifício com o *software* TQS Pleno e TQS PREO Educacional, respeitando o que está estabelecido na NBR-6118 (2014) – Projeto de Estruturas em Concreto Armado e na NBR 9062 (2017) - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. A criação do edifício em pré-moldado segue os mesmos passos do edifício *in loco*, porém alguns comandos podem ser diferentes, a seguir são destacadas essas diferenças no lançamento.

4.4.1 Aba Gerais

Iniciamos o dimensionamento com o preenchimento das informações do projeto, escolhemos a norma a ser utilizada no dimensionamento e escolhemos o tipo da estrutura da mesma forma que foi feito para o edifício moldado *in loco*, nesse caso a estrutura será de concreto pré-moldado, como mostra a Figura 36.

Figura 36 - Aba Gerais (Pré-moldado).

Dados do edifício: Projeto tcc2 Pré moldado - 0001

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | Cargas | Critérios | Gerenciamento

Identificação

Título do edifício: Estudo de Caso - Pré moldado

Título do cliente: TCC

Endereço da obra:

Número do projeto: 1 Prefixo de plantas:

Descrição do projeto

Tipo de estrutura:

- ☐ Concreto Amado/Protendido
- ☒ Concreto Pré-moldado
- ☐ Alvenaria Estrutural
- ☐ Paredes de concreto
- ☐ Projeto de formas de madeira

Avançado...

Norma em uso: NBR-6118:2014

☒ Forçar critérios de norma

Criado por: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Criado em: 03/11/2020 10:56:10

Modificado em: 03/11/2020 10:56:10

TQS V21.9.38

Este será o cliente default para todos os processamentos, inclusive plantas

Atualizar Dwg Salvar Dwg

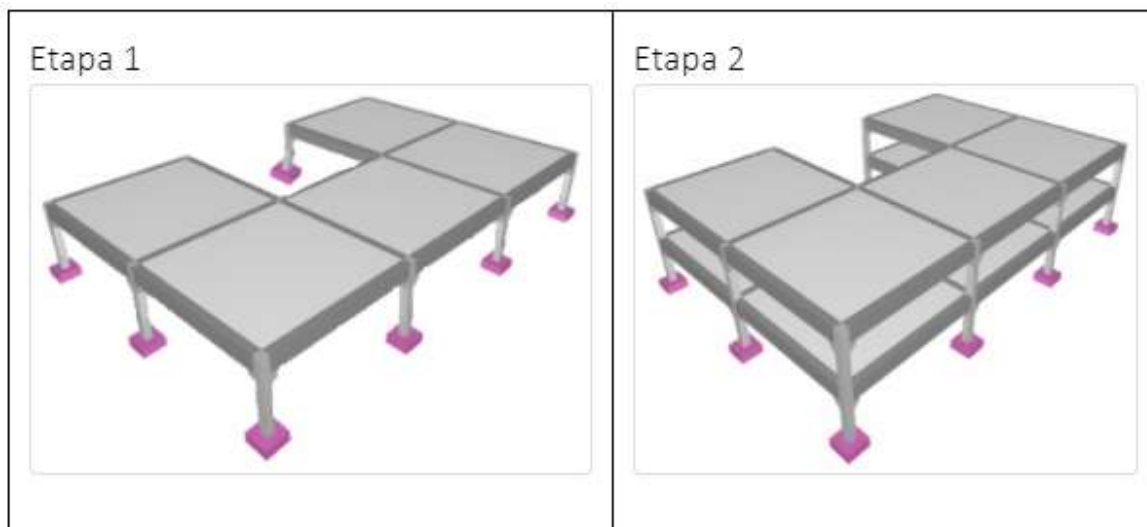
Duplicar Renomear Salvar como modelo

Ok Cancelar

Fonte: Autores.

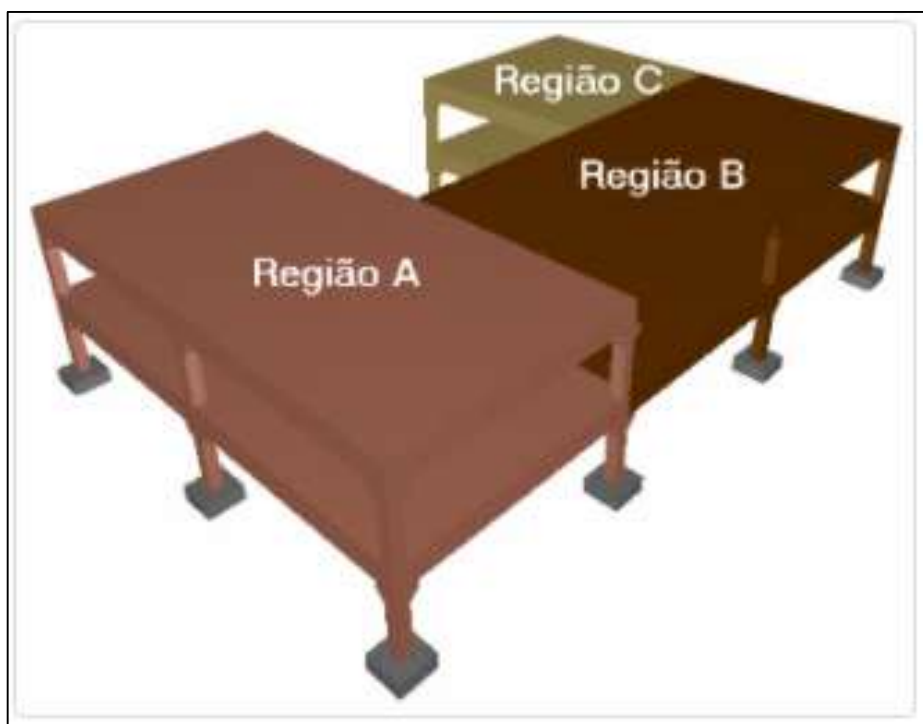
4.4.2 Aba Modelo (Número de Etapas e Regiões)

Na aba Modelo (Figura 37), na opção Pré-moldados escolhemos o número de etapas e regiões construtivas, bem como o tipo da edificação. A etapa construtiva corresponde a uma situação intermediária de montagem e solidarização dos pisos da estrutura. Teoricamente poderíamos definir um número ilimitado de etapas construtivas em qualquer estrutura. A Figura 37 ilustra as etapas supondo que esta estrutura seja montada inicialmente o primeiro piso e por fim o segundo piso:

Figura 37 - Ilustração de Etapas Construtivas.

Fonte: TQSDOCS (2021).

Sabendo que uma etapa construtiva corresponde a uma situação intermediária da montagem e solidarização dos elementos estruturais de um piso. Teoricamente poderíamos definir um número ilimitado de regiões construtivas em qualquer estrutura. Supondo que cada um dos pisos de um edifício possua três regiões de construção, teríamos o seguinte

Figura 38 - Ilustração de Regiões Construtivas.

Fonte: TQSDOCS (2021).

No exemplo acima poderíamos definir que primeiramente os elementos da Região A seriam montados e solidarizados, depois os elementos da Região B e por fim, os elementos da Região C.

A definição de etapas e regiões construtiva (Figura 39) é um dos primeiros passos para o projeto estrutural pois através dele obtemos a sequência construtiva e as etapas intermediárias significativas do ponto de vista da verificação estrutural. Como as dimensões do prédio a ser dimensionado é relativamente pequeno em área, foi decidido optar por apenas uma etapa e uma região construtiva apenas.

Figura 39 - Aba Modelo (Pré-moldado).

Estruturas pré-moldadas

Tipo de edificação: Edifício com 5 ou mais pavimentos

Etapas e regiões construtivas

Número de etapas: 1 Número de regiões: 1

Região	A	
Etapas	Piso	Solidarizar
1	6	-1

Se forem definidas etapas construtivas, o sistema abrirá uma árvore extra sob o edifício para cada etapa. O processamento será realizado em cada etapa para os pisos definidos por região e solidarizados em cada região até o piso indicado. O agrupamento dos elementos estruturais em regiões é feito dentro do Modelador.

OK Cancelar

Fonte: Autores.

Após essa etapa adicionamos os pavimentos e a distância entre eles (pé direito) que em conjunto a definição do cobrimento e cálculo de carga de vento é realizado de forma análoga ao concreto armado que foi realizado anteriormente.

4.4.3 Aba fck para Elementos Pré-moldados

Dando sequência, vamos para aba “fck para elementos pré-moldados” (Figura 40) aqui escolhemos o fck geral, quando se tratar de um edifício pré-moldado essa

opção poderia ser descrita como fck do concreto moldado *in loco*, seria o concreto usado na solidarização de lajes, vigas baldrame ou todo elemento de concreto que será moldado no local. A classe de agressividade ambiental poderá ser escolhida (o que dependerá de onde a obra está localizada). Na opção Pré-Moldados escolhe-se o fck final, o fck de saque e transporte e o fck de levantamento para as peças de pré-moldados.

Figura 40 - Aba fck para elementos pré-moldados.

fck	Final	Saque / Transporte	Levantamento
Vigas	C50		
Pilares	C50		
Lajes	C50		
Fundações	C50		

Se os valores de fck não forem definidos para os elementos pré-moldados, serão usados os valores gerais do edifício. Os valores de saque e levantamento que não forem definidos serão adotados conforme critérios (padrão 0.5 e 0.7fck).

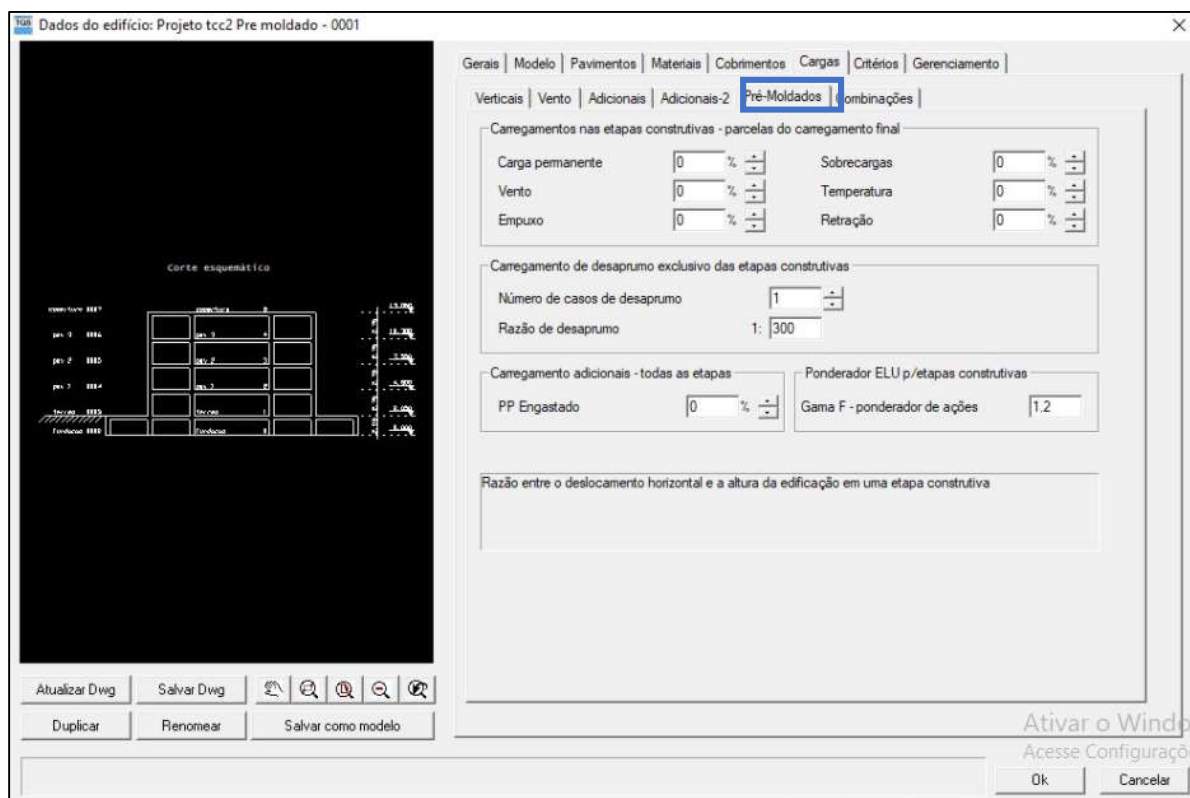
OK Cancelar

Fonte: Autores.

Na aba específica do concreto pré-moldado (Figura 41), existe a possibilidade de adicionar carregamentos adicionais para as etapas construtivas. As etapas construtivas que definimos anteriormente são carregadas com o peso próprio, caso o engenheiro queira que mais algum tipo de carga seja adicionada a essa análise, aqui poderá adicioná-las. As cargas são adicionadas em porcentagem em relação as cargas da etapa acabada. Lembrando que por se tratar de uma estrutura simples, o edifício em estudo terá apenas uma etapa construtiva.

Na mesma janela também adicionamos o número de casos de desaprumo e a razão de desaprumo, que são exclusivos das etapas construtivas.

Figura 41 - Aba Pré-moldado.



Fonte: Autores.

4.4.4 Adequação para o Edifício em Pré-moldado

Para lançamento da estrutura foram necessárias algumas alterações na planta original (Figura 42) para melhor adequação do pré-moldado, ou seja, essas mudanças tornaram todos os elementos estruturais com dimensão uniforme e evitaram os apoios de viga sobre viga (Figura 43). Foram eliminados os apoios de viga sobre viga adicionando novos pilares na edificação e mudando algumas vigas de posição para que se apoiem sempre em pilares. Verificando a Figura 42 podemos listar as seguintes alterações:

- Os pilares P5, P6, P7 e P8 foram deslocados verticalmente para cima.
- A viga V3 foi retirada, unindo assim as lajes L3 e L5.
- A viga V6 foi deslocada verticalmente para cima.
- Foram adicionados pilares nas interseções entre as vigas V11/V5 e V12/V5.
- As vigas V8 e V10 foram deslocadas verticalmente para cima, de tal forma que os Pilares P13 e P14 ficassem alinhados com os pilares P17 e P18.

f) Foram adicionados pilares nas interseções entre as vigas V13/V8 e V10/V14.

Figura 42 - Planta de forma p/ estrutura em concreto moldado *in loco*

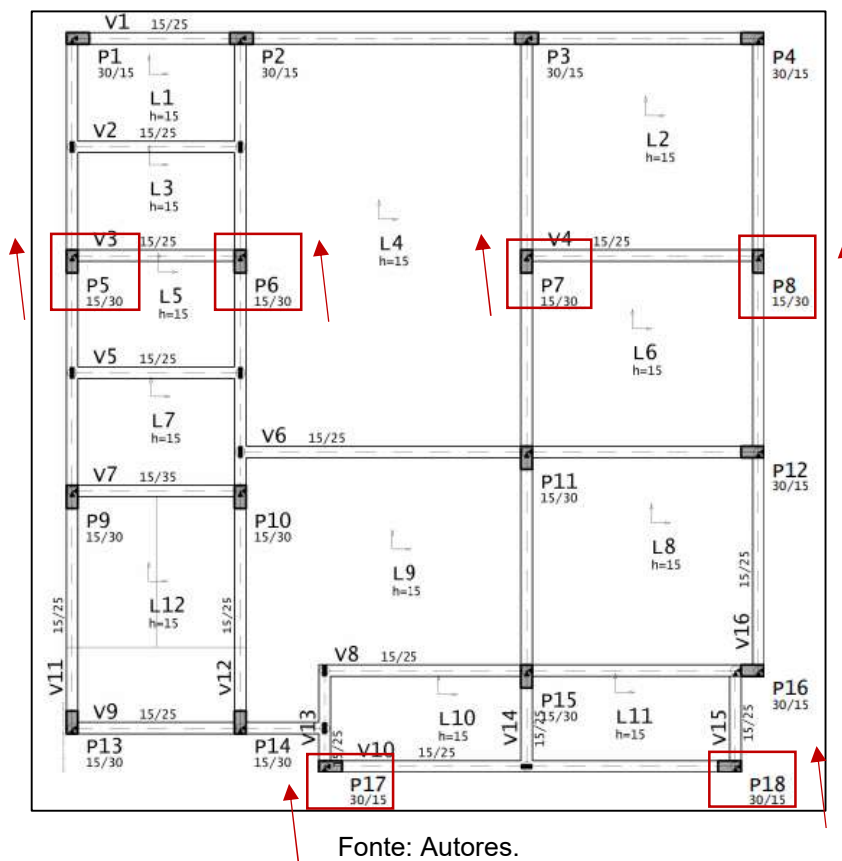
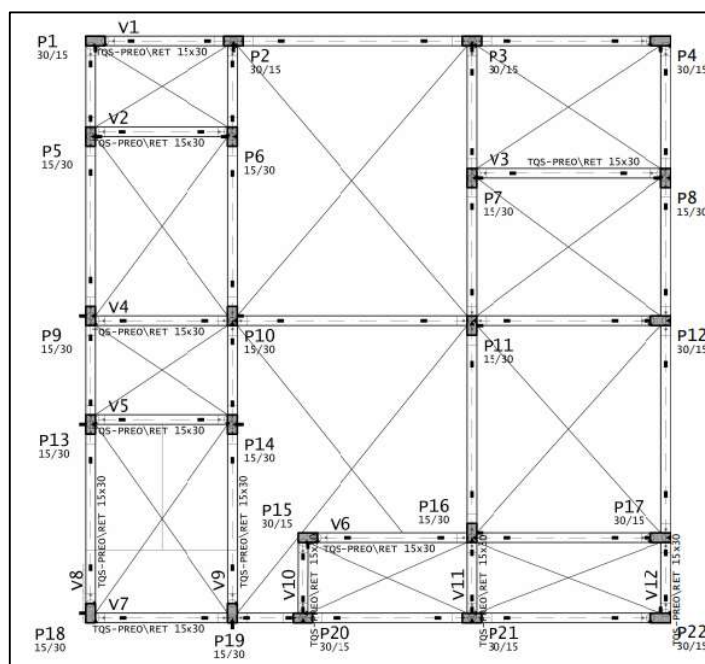


Figura 43 - Planta de forma adaptada para o modelo de estrutura em concreto pré-moldado.



A partir daqui dá-se início à conversão de plantas para ser compatível com o TQS, da mesma forma que fizemos anteriormente para o moldado *in loco*. Depois as plantas são adicionadas no TQS, cada planta em seu respectivo pavimento, para locar o projeto na origem escolhe-se um ponto que será visível em todas as plantas adicionadas, como por exemplo um vértice de um pilar. Após esse procedimento podemos perceber no TQS que as plantas ficam sobrepostas umas nas outras, daí adicionar plantas correspondentes a cada pavimento adicionado na concepção estrutural.

4.4.5 Lançamento de Pilares

No lançamento dos pilares, suas seções foram especificadas de forma análoga à realizada anteriormente no concreto armado convencional. Porém, existe uma aba específica para pré-moldado (Figura 44) que consiste em informar que o pilar em questão se trata de um pilar em concreto pré-moldado.

Figura 44 - Dados de pilares pré-moldados.

A janela 'Dados de pilares' apresenta uma interface com várias abas: Identificação, Seção, Modelo, Grelha/Pavimento, Pórtico, Detalhamento, Cargas, Plantas/Seções, Pré-moldados (ativa) e BIM. A aba 'Pré-moldados' contém os seguintes campos e controles:

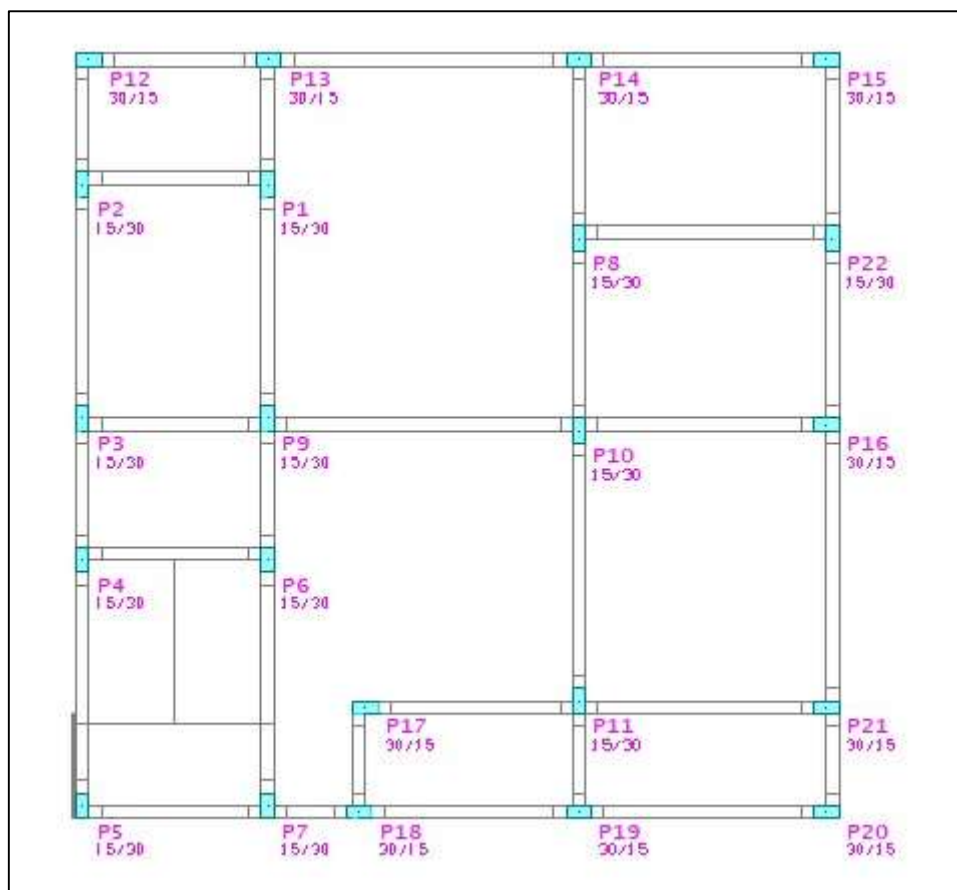
- Pilar pré-moldado:**
 - Radio buttons: ☐ Não, ☒ Sim
 - Altura de engastamento (cm): 60
 - Rebaixo da base do pilar (cm): 15
- Agrupamento:**
 - Região: Todas
 - Fomas: [campo com setas]
 - Amação: [campo com setas]
- Acessórios:**
 - Alças de içamento
 - Furo de levantamento
 - Tubulação de água pluvial
- Alojamento:**
 - Radio buttons: ☒ Critério, ☐ TQS Pilar, ☐ Feixes

Na base da janela, há uma mensagem: 'Pilares pré-moldados devem ser marcados com "Sim"'. Os botões 'OK', 'Cancelar' e 'Inserir' estão localizados na barra de controle inferior.

Fonte: Autores.

Na aba específica fornecemos altura de engastamento do pilar, o rebaixo da base do pilar no cálice. Ainda, adicionamos acessórios como alças para o içamento do pilar em obra, furos e levantamento do pilar e tubulação de água pluvial embutida no pilar. Optamos em acrescentar apenas as alças para içamento e assim obtivemos a configuração final dos pilares em planta (Figura 45).

Figura 45 - Configuração de pilares pré-moldados em planta baixa.



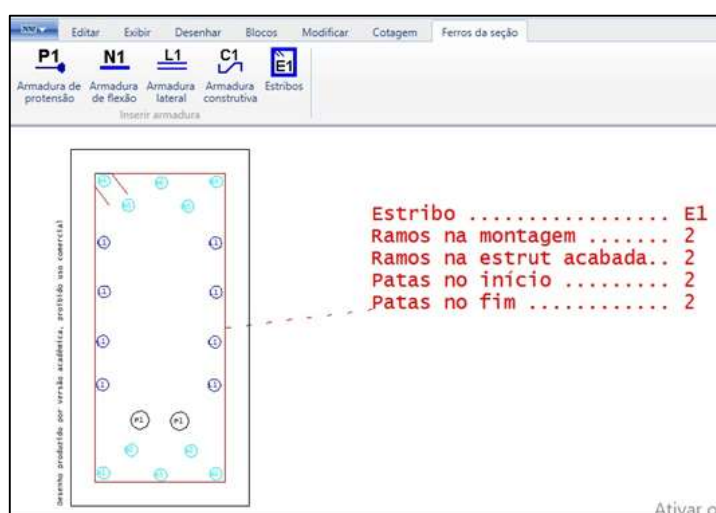
Fonte: Autores.

4.4.6 Lançamento de Vigas

No tocante as vigas pré-moldadas tivemos a opção de escolher a seção por um catálogo pré-definido pelo TQS ou criarmos uma seção específica, sendo está a opção escolhida uma vez que o objetivo deste estudo é a comparação entre os processos executivos (concreto moldado *in loco* e pré-moldado) e o volume de concreto é um dos principais parâmetros a ser utilizado.

Para isso, foi necessário ir ao editor de seções catalogadas (Figura 46), inicialmente desenha-se a seção da viga que se deseja trabalhar e o estribo da mesma, nesse momento não importa a distância do estribo para a face externa da viga nessa, pois no dimensionamento o TQS ajusta o cobrimento para o selecionado. Além das dimensões é necessário o fornecimento de dados do estribo e posicionar na seção os locais onde ficaram posicionadas as armaduras positivas, negativas laterais e de protensão.

Figura 46 - Seção da viga a ser criada.



Fonte: Autores

Em seguida, selecionamos a seção criada, adicionamos a condição de furos para solidarizarão da viga no consoles e definimos a localização das alças de içamento, que em nosso caso ficaram a 1/5 do comprimento do pilar em cada extremidade (Figura 47), por fim lançamos as vigas (Figura 48).

Figura 47 - Vigas definidas.

Dados Gerais da Viga

Identificação | Inserção | Seção/Carga | Modelo | Intersecções | Temperatura/Retração | Detalhamento | Pré-moldados | BIM

Viga/trecho pré-moldado
☐ Não ☒ Sim
 TQS-PREO\RET 15x30 Seção Catalogada

Dente Gerber
 Esquerda Direita
 Altura 0 0 cm
 Comprimento 0 0 cm

Acessórios
 Alças de içamento Alças padrão Tr-1
 Furos à esquerda Pino 16.0 CA25 L 13 <=
 Furos à direita Pino 16.0 CA25 L 13 <=

Agrupamento
 Região Todas Formas 0.0 tf/m
 Amacção 0.0

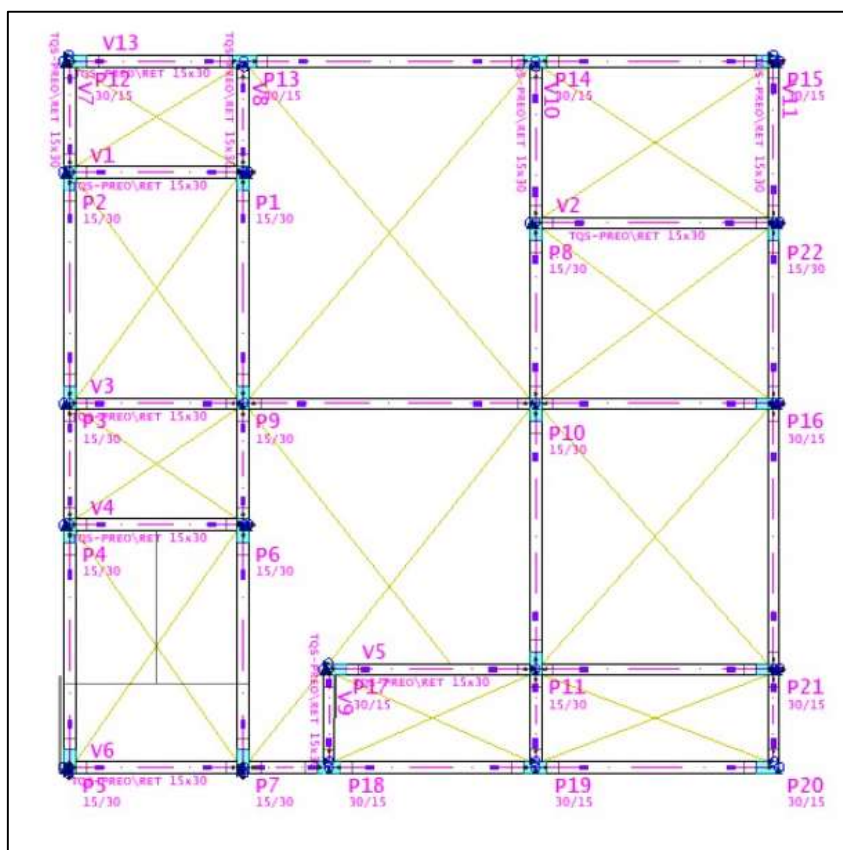
Solidarização
 Não Sim
 Solidarizar a seção ☐ ☒ Capa 0 cm
 Mesa colaborante ☐ ☒ Max 0 cm
 Unir trechos ☒ ☐
 Solidarizar na montagem ☒ ☐

Dados de vigas pré-moldadas. Os trechos podem ter seções pré-moldadas diferentes.

OK Cancelar Inserir

Fonte: Autores.

Figura 48 - Vigas lançadas.

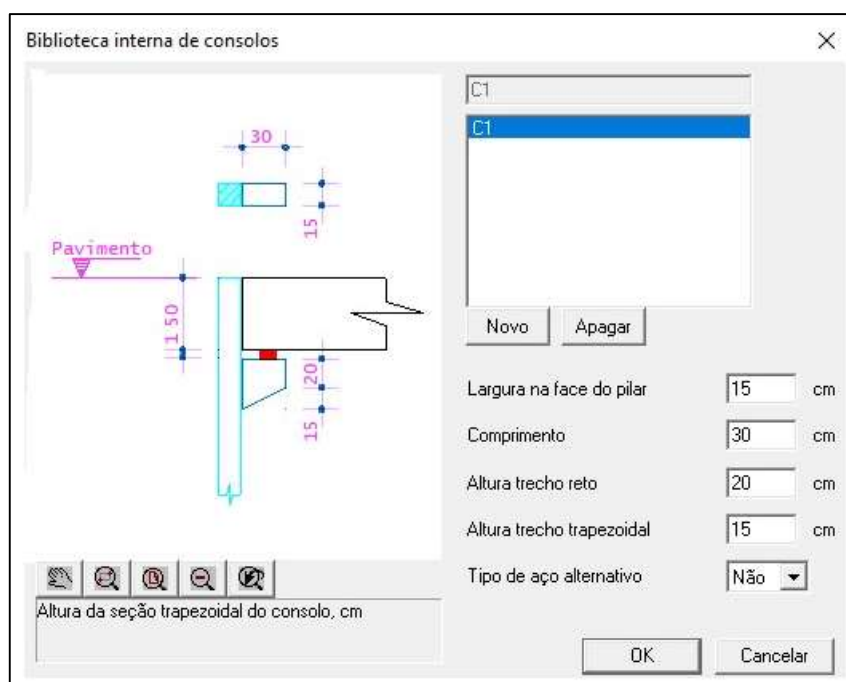


Fonte: Autores.

4.4.7 Lançamento dos Consoles

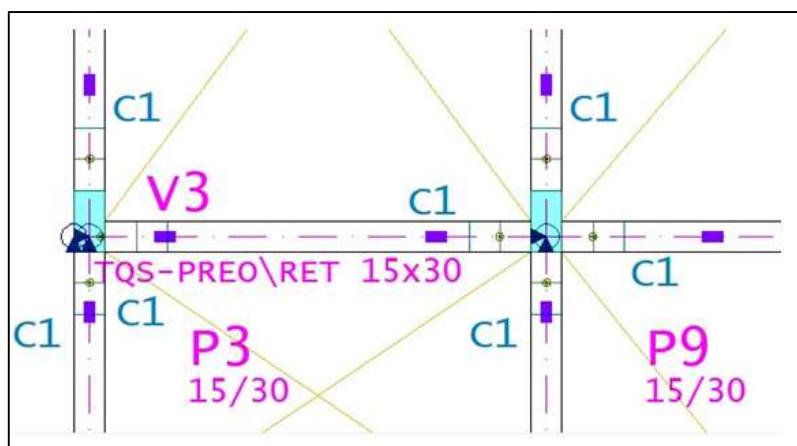
Uma peça importante no sistema pré-moldado é o console dos pilares, eles são os responsáveis por receber o carregamento oriundo de vigas e lajes. As Figuras 49 e 50 ilustram a seleção do console pré-definido pelo *software* e sua vista em planta, respectivamente.

Figura 49 - Lançamento de consoles.



Fonte: Autores.

Figura 50 - Representação dos consoles em planta baixa.



Fonte: Autores.

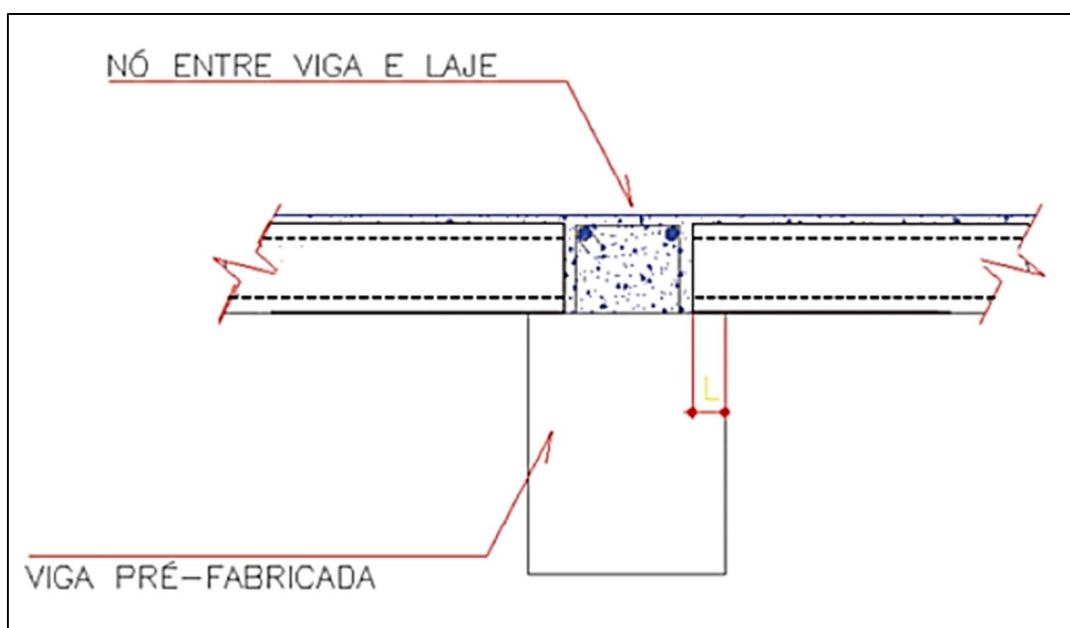
4.4.8 Lançamento de Lajes

Antes de lançarmos as lajes no projeto, o TQS solicita a informação do comprimento da laje que será apoiada nas vigas e a largura do elemento de laje (Figura 51), lembrando que esse apoio deve ser menor que $b/2$, onde b é a dimensão da alma da viga. Essa condição é devido a necessidade de solidarizarão entre as lajes e estrutura (Figura 52).

Figura 51 - Distância e dimensões de apoio da laje na viga.

Fonte: Autores.

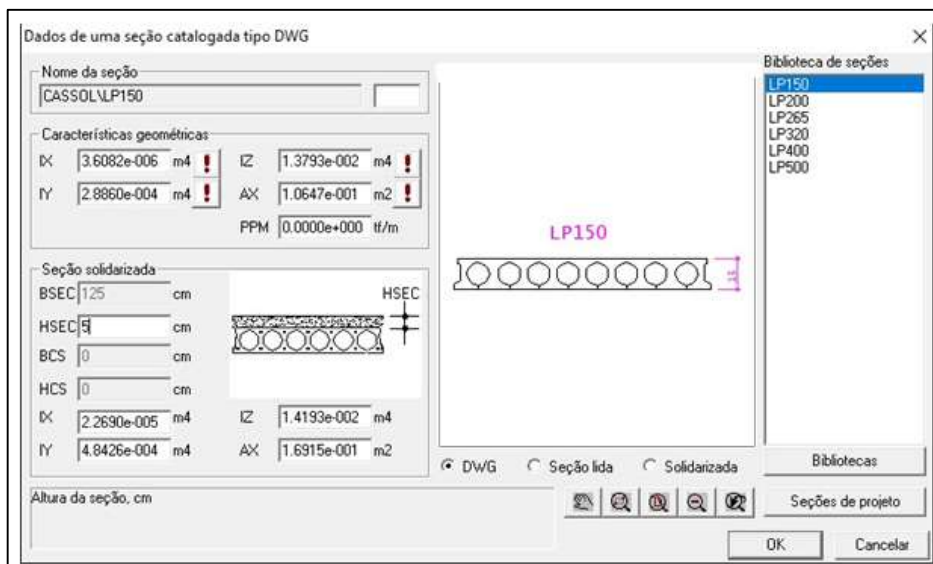
Figura 52 - Concretagem da capa da laje, o nó entre a viga e a laje é preenchido.



Fonte: MELO (2007).

Para o lançamento de laje alveolar, primeiro entramos na opção de dados de laje escolhemos a aba Seção/Carga, depois a aba Pré-fabricada para assim escolher uma seção catalogada na biblioteca do TQS (Figura 53).

Figura 53 - Seção da laje alveolar escolhida.

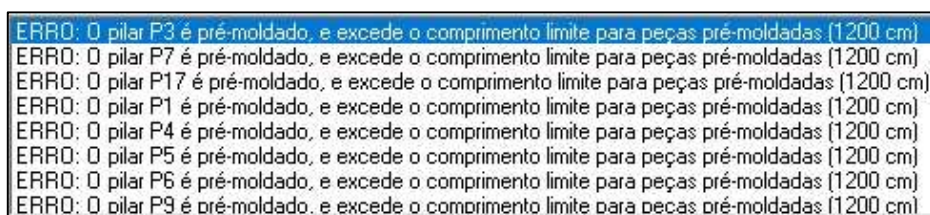


Fonte: Autores.

4.4.9 Consistência de Planta

Depois do lançamento de todos os elementos pré-moldados do edifício, verificou-se a consistência da planta para que sejam identificados erros ou avisos para que sejam corrigidos. Foi identificado apenas um erro (Figura 54), o mesmo está relacionado ao comprimento máximo dos pilares que excedem o valor máximo estipulado no arquivo de critérios de projeto (12 metros). Com isso modificamos o comprimento máximo dos elementos pré-moldados, definimos o novo limite máximo de 20 metros (Figura 55).

Figura 54 - Verificação de erros.



Fonte: Autores.

Figura 55 - Nova definição de limites dimensionais.

Limites dimensionais

i Comprimento máximo de elemento pré-moldado

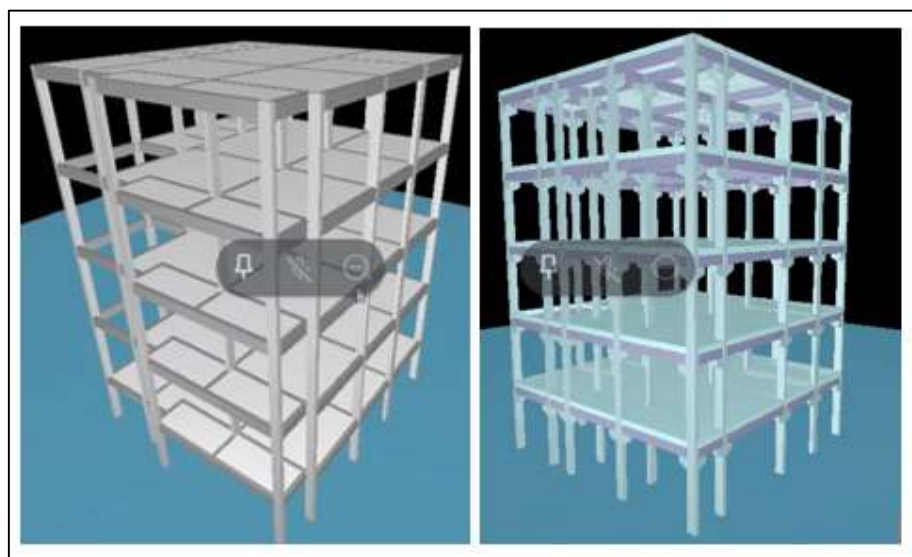
cm

i Peso máximo de elemento pré-moldado

tf

Fonte: Autores.

Figura 56 – Vistas 3D do edifício moldado *in loco* e pré-moldado, respectivamente.



Fonte: Autores.

4.4.10 Processamento Global (Pré-moldado)

Após Finalizar a modelagem da estrutura, fizemos o processamento global da mesma. Para dar início ao processo, salvamos o modelo estrutural finalizado, fechamos o modelador estrutural, clicamos no nome do prédio na árvore de edifícios e depois em “Processamento Global” (Figura 57).

Figura 57 - Avisos após lançamento das estruturas.

Fonte: Autores.

4.5 VARIAÇÕES DE VINCULAÇÃO ENTRE VIGAS E PILARES

Nesta subseção mostramos como variar a ligação para o edifício pré-moldado. O TQS define o engastamento padrão de vigas como o engastamento parcial da ligação viga-pilar declaradas com solidarização. Para variar a rigidez dessa ligação definimos um valor entre (0) e (1), onde (0) seria considerando articulações no apoio (apoio articulado) e (1) o engastamento perfeito.

Além do engastamento padrão de vigas também é possível alterar o engastamento lateral padrão das vigas. De modo semelhante ao anterior, vigas sem travamento lateral por laje receberão automaticamente articulação ou engaste parcial lateral, conforme valor a ser definido de (0) articulação a (1) engastamento perfeito.

4.5.1 Articulado

Para esta situação aplicamos o valor (0) e (0) para o engastamento padrão de vigas e engastamento lateral padrão das vigas respectivamente (Figura 58).

Figura 58 - Definição dos apoios articulados.

Fonte: Autores.

4.5.2 Engastamento Parcial

Nesse momento aplicamos o valor (0,3) e (0,3) para o engastamento padrão de vigas e engastamento lateral padrão das vigas respectivamente (Figura 59).

Figura 59 - Definição dos apoios parcialmente engastados.

A interface 'Ligação Viga/Pilar' apresenta duas opções de engastamento. A primeira, 'Engastamento padrão de vigas', possui um campo de entrada com o valor '0,3'. A segunda, 'Engastamento lateral padrão de vigas', também possui um campo de entrada com o valor '0,3'. Ambas as opções são precedidas por um ícone de informação (i).

Fonte: Autores.

4.5.3 Engastamento Total

Por fim aplicamos o valor (1) e (1) para o engastamento padrão de vigas e engastamento lateral padrão das vigas respectivamente (Figura 60).

Figura 60 - Definição dos apoios perfeitamente engastados.

A interface 'Ligação Viga/Pilar' apresenta duas opções de engastamento. A primeira, 'Engastamento padrão de vigas', possui um campo de entrada com o valor '1'. A segunda, 'Engastamento lateral padrão de vigas', também possui um campo de entrada com o valor '1'. Ambas as opções são precedidas por um ícone de informação (i).

Fonte: Autores.

5 RESULTADOS ESPERADOS

A partir dos estudos aqui propostos pretende-se alcançar informações sobre estabilidade comparando dados extraídos do *software*, no caso os parâmetros de estabilidade do pórtico espacial e deslocamentos do mesmo, proposto pelo TQS. A comparação será entre o edifício em concreto armado convencional e em pré-moldado com as três variações de vinculação de ligações: rígidas, semirrígidas e livre.

5.1 EDIFÍCIO MOLDADO IN LOCO

Para o edifício de concreto *in loco* foi utilizado a configuração inicial do próprio TQS que utiliza os apoios perfeitamente engastados.

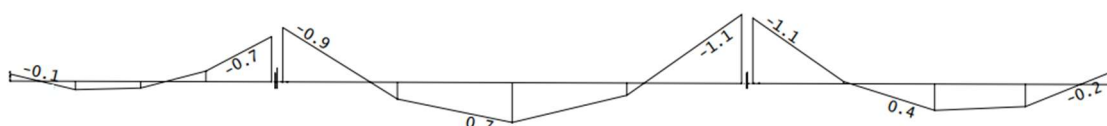
5.2 COMPARAÇÃO DA ANÁLISE ESTRUTURAL DOS MODELOS

5.2.1 Estado Limite Último (ELU)

5.2.1.1 Esforços no pórtico espacial

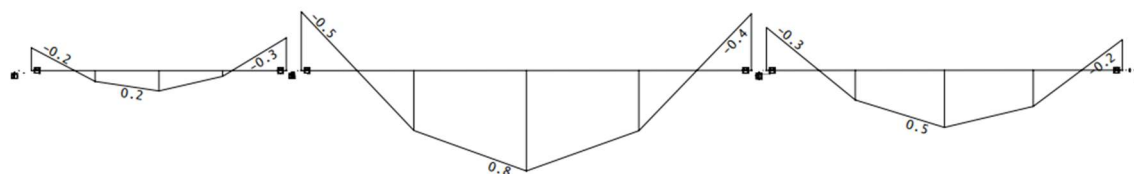
O esforço escolhido para a análise foi o momento fletor no eixo Y (M_y), que será analisado em um trecho comum para os 4 casos em estudo. Usou-se uma das combinações de ELU fornecidas pelo TQS, a qual considera o peso próprio, carga permanente e carga accidental.

Figura 61 – Diagrama do momento $M_y(\text{tf.m})$ na viga V1, caso Moldado *in loco*.



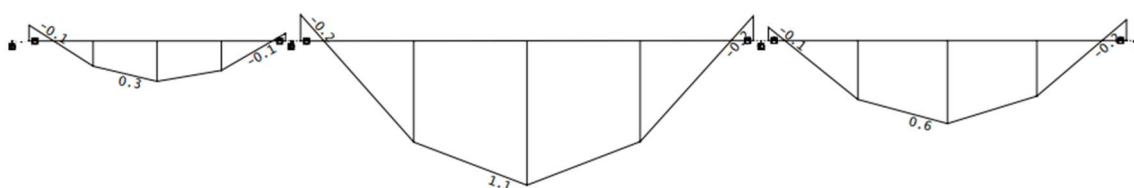
Fonte: Autores.

Figura 62 - Diagrama do momento $M_y(\text{tf.m})$ na viga V1, caso Pré-moldado perfeitamente engastado.



Fonte: Autores.

Figura 63 - Diagrama do momento $M_y(\text{tf.m})$ na viga V1, caso Pré-moldado parcialmente engastado.



Fonte: Autores.

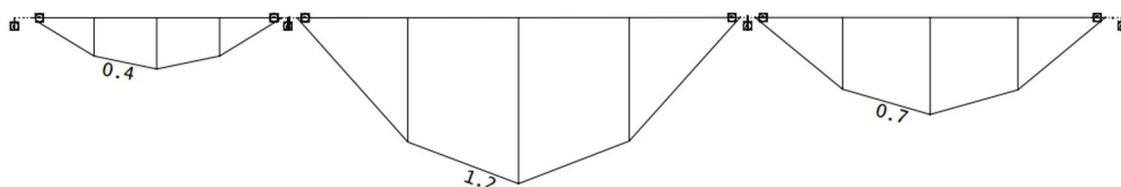


Figura 64 - Diagrama do momento $M_y(\text{tf.m})$ na viga V1, caso Pré-moldado apoios articulados.

Fonte: Autores.

Observando os esforços no diagrama da viga V1 para o caso moldado *in loco*, nota-se momentos negativos consideráveis no apoio, isso acontece pois o TQS está analisando o edifício moldado *in loco* como sendo perfeitamente engastado. Comparando os momentos do caso anterior com o pré-moldado perfeitamente engastado fica evidente uma diferença nos seus valores, visto que, ambos os casos se trata de situações de engastamento total. Apesar da viga V1 não sofrer nenhuma alteração nas plantas dos edifícios moldado *in loco* e o pré-moldado, os elementos adjacentes sofreram alterações de dimensões e mudanças de posição para serem adaptados para o projeto pré-moldado, o que pode ter contribuído para uma melhor

distribuição dos momentos em todos os elementos, dessa forma, explicando a diferença nos mesmos.

Analisando os esforços nos 3 casos do edifício pré-moldado, observa-se uma diminuição que já era esperada no momento fletor negativo a medida que as ligações nos apoios passam de perfeitamente engastado, parcialmente engastado e apoios articulados, respectivamente.

5.2.1.2 Estabilidade global

Os parâmetros escolhidos para a análise da estabilidade global foram o valor máximo do FAV_t e o valor de α para combinações de ELU – Pilares. O parâmetro FAV_t é o fator de amplificação de esforços horizontais (vento) de 1ª ordem para consideração simplificada de esforços de 2ª ordem. Calcula-se como γ_z , mas considera o deslocamento horizontal de cargas verticais. E o α é o parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica.

Na Tabela 2 estão reunidas todas as informações extraídas anteriormente para cada modelo estrutural com devidas variações de rigidez nos apoios. No primeiro momento o sistema pré-moldado com ligações articuladas é invalidado devido aos altos valores dos parâmetros, o que indica elevada instabilidade da estrutura para esse tipo de ligação nos apoios.

Tabela 2 - Quadro resumo dos parâmetros.

Modelo estrutural	Classificação apoio	FAV _t ,máx		α máx	
		Valor	Classificação	Valor	Classificação
Pré-moldado	Articulado	69,062	Deslocável	2,467	Nós móveis
	Semi-engastato	1,089	Indeslocável	0,667	Nós móveis
	Totalmente engastado	1,065	Indeslocável	0,586	Nós fixos
Moldado <i>in loco</i>	Totalmente engastado	1,119	Deslocável	0.705	Nós móveis

Fonte: Autores.

Ainda sobre o sistema estrutural pré-moldado, ao analisarmos a utilização dos apoios parcialmente engastado e totalmente engastado encontramos coerência nos

dados uma vez que os valores dos parâmetros reduziram de forma entendível quando passou de parcialmente engastado para totalmente engastado. O que deixa evidente que a rigidez da ligação está diretamente relacionada com a estabilidade da edificação.

No tocante ao concreto moldado *in loco* quando comparado ao pré-moldado utilizando a mesma configuração de apoios, totalmente engastados, observamos que os valores dos parâmetros para o edifício em concreto moldado *in loco* ficaram maiores que o mesmo edifício pré-moldado. Um dos principais fatores para a ocorrência deste é o fato de que ao adaptarmos a arquitetura do edifício para o modelo pré-moldado foi necessário modular esse edifício, realocando e adicionando pilares para obter a modulação das peças que o sistema pré-moldado exige.

Quando obtemos o valor do $FAV_{t,máx} > 1,10$ o *software* utiliza o multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAV_t que majora as ações horizontais.

5.2.2 Estado Limite de Serviço (ELS)

5.2.2.1 Deslocamentos horizontais máximos

Na Tabela 3 estão reunidas todas as informações relacionadas aos deslocamentos absolutos, deslocamentos entre pisos e seus respectivos valores máximos permitidos pela norma para cada modelo estrutural com devidas variações de rigidez nos apoios. No primeiro momento o sistema pré-moldado com ligações articuladas é invalidado devido aos altos valores dos parâmetros de deslocamento, o que indica elevada instabilidade da estrutura para esse tipo de ligação nos apoios.

Tabela 3 - Quadro resumo dos deslocamentos(cm).

Modelo estrutural	Classificação apoio	DeslH	DeslH.Máx	DeslHp	DeslHp.Máx
Pré-moldado	Articulado	3,83	1,09	1,07	0,36
	Semi-engastado	0,09	1,09	0,03	0,36
	Totalmente engastado	0,06	1,09	0,02	0,36
Moldado <i>in loco</i>	Totalmente engastado	0,19	0,77	0,06	0,32

Fonte: Autores.

Olhando para os deslocamentos do modelo estrutural pré-moldado e suas variantes de apoio, pode-se observar que o quanto mais engastado as ligações entre pilares e vigas, menor será o deslocamento total da estrutura e o deslocamento entre pavimentos. Ainda sobre o sistema estrutural pré-moldado, ao analisarmos a utilização dos apoios articulados percebe-se que o prédio não passou quanto aos requisitos máximos do ELS, isso acontece graças aos pilares que resistem aos momentos solicitantes sozinhos, por conta do tipo de apoio utilizado nesse caso, assim o deslocamento horizontal fica facilitado já que esses momentos solicitantes não são transferidos para as vigas.

Analisando os dois casos de engastamento total entre moldado *in loco* e pré-moldado, percebe-se que os deslocamentos absolutos e os entre pisos são 3 vezes maiores no edifício moldado *in loco*. Uma das justificativas para esse acontecimento é devido ao prédio em pré-moldado conter 4 pilares a mais, o que possibilitam um melhor travamento do pórtico num todo, além da simetria adquirida na planta para o edifício em pré-moldado, outro fundamento é o fato de que nesse mesmo modelo não existem apoios de vigas sobre vigas, ou seja, todas as vigas apoiam em pilares no modelo pré-moldado.

6 CONCLUSÃO

Através do desenvolvimento e modelagem estrutural dos edifícios em concreto armado convencional e pré-moldado, foi possível o aprimoramento dos conhecimentos adquiridos no decorrer do curso. Utilizando conceitos de análise estrutural, foi possível fazer as análises de diferentes tipos de vinculações entre pilares e vigas e seus impactos nos Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS).

O TQS é uma excelente ferramenta para a análise, dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado, porém, é preciso ter atenção e embasamento teórico para utilizá-lo de forma eficaz. Nesse trabalho foi preciso contornar as limitações do programa devido a versão estudantil do TQS PREO, uma vez que não pudemos ter acesso as tabelas das armaduras e aos quantitativos de área de formas, volume de concreto e quantidade de armação para o edifício pré-moldado, informações essas que normalmente são disponibilizadas pelo *software*.

Ao fim deste trabalho, após analisarmos os resultados principalmente do concreto pré-moldado e verificando a variação de rigidez na ligação, constatou-se o quanto essa variação é determinante na análise do modelo estrutural proposto e no dimensionamento do mesmo, tendo em vista que ao variar a rigidez da ligação entre articulado, parcialmente engastado e completamente engastado variamos não só a estabilidade da estrutura como também os esforços no apoio, consequentemente, também há alterações nas armaduras de engastamentos nos apoios e nas armaduras resistentes tanto a momentos fletores positivos e momentos fletores negativos das peças.

Esta análise afeta diretamente o orçamento da obra na execução do prédio, uma vez que o custo com armação é destaque em qualquer estrutura de concreto armado. Por isso é de grande importância o estudo com responsabilidade de cada modelo estrutural desenvolvido (apoios, tipo de ligação, esforços exercidos na estrutura, entre outros), ou seja, alcançar uma configuração otimizada em relação ao custo-benefício m perder a estabilidade e segurança, ou exagerar na rigidez e obter uma estrutura superdimensionada e consequentemente com custo elevado.

REFERÊNCIAS

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

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento. Rio de Janeiro, 2015b.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para cálculo de estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ACKER, Arnold Van. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Tradução Marcelo de Araújo Ferreira. Cambridge: FIP, 2002. 110 p.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. 1997. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/artigos/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/#:~:text=O%20cimento%20%C3%A9%20composto%20principalmente,grandes%20quantidades%2C%20pode%20diminuir%20a>. Acesso em: 21 jan. 2021.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CECCON, Jorge Luiz. **Análise dos efeitos de segunda ordem em pilares solicitados a flexão oblíqua composta**. 2008. Tese (Doutor em Engenharia de Estruturas e Fundações) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 456 p.

MELO, Carlos Eduardo Emrich. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 534 p.

NICOLAU, Igor Amaral Neves; TEIXEIRA, Jefferson Guilherme. **Projeto de dimensionamento estrutural de um edifício de onze pavimentos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto & Construções**, n. 53, p. 1-77, 2009.

RAMALHO, Marcio Antônio; CORRÊA, Márcio. Roberto Silva. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SCHNEIDER, Nelso. **NBR 6118/2014: Considerações sobre os efeitos de 2ª ordem em estruturas de concreto**. [S. l.], 19 ago. 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/nbr-6118-2014/>. Acesso em: 3 maio. 2021.

SILVA, Lucas. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas e maciças em função dos vãos entre apoios**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TQSDocs. **Edifício Pré-moldado**. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3734&language=pt-BR>. Acesso em: 3 mai. 2021.

VASCONCELLOS, Juliano. **Lajes maciças de concreto armado**. [S. l.], 3 abril 2012. Disponível em: <https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/04/03/lajes-macicas-de-concreto-armado/>. Acesso em: 1 mai. 2021.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL/PRÉ MOLDADO (APOIOS ARTICULADOS)

Estabilidade global / Deslocamentos laterais

04/05/21 11:17:44

Estudo de Caso - Pre

moldadoTCC

Projeto: tcc2 Pre moldado

AVENIDA PROFESSOR MORAES REGO, 1235

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga acidental reduzida	Não
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coeficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	2952000.00
Tipo de módulo de elasticidade usado	Secante+10%
Correção no γ_z para transferência de esforços	0.95
Norma para cálculo de imperfeições globais	NBR-6118:2014
1/Ângulo mínimo p/desaprumo preponderante	300.00
Número de prumadas p/cálculo de Teta1	1
Considerar deslocamento horiz das cargas verticais	Sim
Fator de redução dos desloc horiz por peso próprio	0.50
Fator de redução dos desloc horiz por carga perm	0.75
Coeficiente p/classificar estrutura deslocável	FAVt

Valor de referência de estrutura deslocável	1.10
Valor de referência de α	0.60
Número mínimo de pisos no edifício p/aplicar γ_z	4
Cota final	13.05
Cota inicial	0.00
Tipo de edificação	D - Edifícios de múltiplos andares com 5 ou mais pavimentos

2 - ELU - Estabilidade Global

a) Descrição dos casos/combinções

> ^ Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
5	VENT1	Vento (1) 90°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

> ^ Combinações de ELU - vigas e lajes

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4

40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
44	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
45	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
46	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
47	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

> ^ **Combinações de ELU - pilares e fundações**

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
44	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
45	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
46	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3

47	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4
----	---

b) Casos simples de vento

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para os carregamentos simples de vento									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.0	462.9	33.5	5.3	42.1	9.6	*****	2.500	B F
6	270.0	462.9	33.5	5.3	42.1	9.6	*****	2.500	B F
7	0.0	462.9	35.8	5.3	42.3	9.6	*****	2.582	B F
8	180.0	462.9	35.8	5.3	42.3	9.6	*****	2.582	B F

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

Mig - Momento de desaprumo por imperfeições globais [tfm] - característico.

γ_z - Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. $(1/(1-M2/M1*\gamma_f/\gamma_{f3}))$.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. Obs -

Observações (A/B/C...). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

> ^ Parâmetro α

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

c) Combinações ELU - vigas e lajes

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - vigas e lajes

Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	462.9	21.0	3.2	25.3	1.000	*****	2.558	B F
15	270.0	462.9	19.2	3.2	25.3	27.951	29.422	2.441	AB EF
16	0.0	462.9	23.4	3.2	25.4	1.000	-5.817	2.699	B F
17	180.0	462.9	19.6	3.2	25.4	55.605	58.531	2.459	AB EF
18	90.0	462.9	34.3	5.3	42.1	1.000	*****	2.533	B F
19	270.0	462.9	32.6	5.3	42.1	65.609	69.062	2.467	AB EF
20	0.0	462.9	37.7	5.3	42.3	1.000	-7.556	2.650	B F
21	180.0	462.9	34.0	5.3	42.3	1.000	*****	2.511	B D F
40	90.0	462.9	21.0	3.2	25.3	1.000	*****	2.558	B F
41	270.0	462.9	19.2	3.2	25.3	27.951	29.422	2.441	AB EF
42	0.0	462.9	23.4	3.2	25.4	1.000	-5.817	2.699	B F
43	180.0	462.9	19.6	3.2	25.4	55.605	58.531	2.459	AB EF
44	90.0	462.9	34.3	5.3	42.1	1.000	*****	2.533	B F
45	270.0	462.9	32.6	5.3	42.1	65.609	69.062	2.467	AB EF
46	0.0	462.9	37.7	5.3	42.3	1.000	-7.556	2.650	B F
47	180.0	462.9	34.0	5.3	42.3	1.000	*****	2.511	B D F

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH -

Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs - Observações (A/B/C...). Quando definidas, ver significado a

seguir.

RM2M1 -Relação $1+(M2/M1*\gamma_f/\gamma_{f3})$ p/cálculo por P-Δ.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Combinações ELU - pilares e fundações

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - pilares e fundações									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	462.9	21.0	3.2	25.3	1.000	*****	2.558	B F
15	270.0	462.9	19.2	3.2	25.3	27.951	29.422	2.441	AB EF
16	0.0	462.9	23.4	3.2	25.4	1.000	-5.817	2.699	B F
17	180.0	462.9	19.6	3.2	25.4	55.605	58.531	2.459	AB EF
18	90.0	462.9	34.3	5.3	42.1	1.000	*****	2.533	B F
19	270.0	462.9	32.6	5.3	42.1	65.609	69.062	2.467	AB EF
20	0.0	462.9	37.7	5.3	42.3	1.000	-7.556	2.650	B F
21	180.0	462.9	34.0	5.3	42.3	1.000	*****	2.511	B D F
40	90.0	462.9	21.0	3.2	25.3	1.000	*****	2.558	B F
41	270.0	462.9	19.2	3.2	25.3	27.951	29.422	2.441	AB EF
42	0.0	462.9	23.4	3.2	25.4	1.000	-5.817	2.699	B F
43	180.0	462.9	19.6	3.2	25.4	55.605	58.531	2.459	AB EF
44	90.0	462.9	34.3	5.3	42.1	1.000	*****	2.533	B F
45	270.0	462.9	32.6	5.3	42.1	65.609	69.062	2.467	AB EF
46	0.0	462.9	37.7	5.3	42.3	1.000	-7.556	2.650	B F
47	180.0	462.9	34.0	5.3	42.3	1.000	*****	2.511	B D F

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH - Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs - Observações (A/B/C...). Quando definidas, ver significado a seguir.

RM2M1 - Relação $1 + (M2/M1 * \gamma_f / \gamma_{f3})$ p/cálculo por P- Δ .

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELU - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="A":

Este edifício tem o γ_z muito alto, os valores calculados para γ_z não tem validade. É recomendável enrigecer o edifício ou calcula-lo com consideração mais exata dos efeitos de 2a ordem através do processo P- Δ .

Observações para os casos com Obs="F":

O valor de γ_z encontrado neste edifício não tem significado físico. Os momentos de 2a ordem estimados são da mesma ordem de grandeza dos momentos de 1a ordem. Sugerimos um reestudo do modelo e enrigecimento do edifício.

Observações para os casos com Obs="B":

O parâmetro α deste edifício indica que a estrutura é de nós móveis.

Observações para os casos com Obs="D":

O deslocamento horizontal das cargas verticais age de modo favorável diminuindo o γ_z neste caso. O programa modificou o γ_z pelo valor obtido no caso de vento simples nesta direção.

Observações para os casos com Obs="E":

Um dos casos de carregamento tem γ_z acima do especificado para a transferência de esforços. Não será possível detalhar o edifício nestas condições. Será necessário enrigecer o edifício ou processa-lo através do P- Δ .

Para efeito de verificação da capacidade de rotação dos elementos estruturais, este edifício será considerado deslocável.

Notas

=====

Embora o sistema permita controlar a transferência ou não de esforços e o uso ou não dos parâmetros de estabilidade para majorar os esforços horizontais, recomendamos que os esforços solicitantes com vento sejam sempre transferidos para dimensionamento e detalhamento, majorados se necessário conforme o cálculo dos parâmetros de estabilidade ou por processo P- Δ .

Sugerimos a majoração automática dos esforços horizontais pelo γ_z para valores de γ_z entre 1.1 e 1.3, e somente para edificações com 4 pisos ou mais. Edificações com menos de 4 pisos podem ser analisadas pelo parâmetro α , desde que sejam simétricas. Em qualquer outro caso os parâmetros mostrados aqui não tem precisão e os efeitos de segunda ordem deverão ser analisados por um processo mais refinado, como P- Δ .

O carregamento vertical usado para cálculo de momentos de segunda ordem é composto de todas as cargas verticais permanentes e acidentais, possivelmente com redução de sobrecargas. Isto vale tanto para os casos simples quanto para as combinações.

Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

3 - ELS - Deslocamentos laterais

a) Descrição dos casos

> ^ Tabela detalhada

Casos de carregamento	
Caso	Título
5	.30VENT1
6	.30VENT2
7	.30VENT3
8	.30VENT4

b) Valores máximos permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1200.00
---------------------------	------------

Altura do edifício	H= 13.05
Horizontal entre pavimentos	Hi/ 750.00

c) Deslocamentos máximos

> ^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos				
Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	3.83	H/ 341.1	A D
6	270.00	3.83	H/ 341.1	A
7	0.00	3.52	H/ 371.2	A
8	180.00	3.52	H/ 371.2	A

Caso - Caso de carregamento de ELS

DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Deslocamentos máximos entre pisos

> ^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos entre pisos					
Caso	Ang	Piso	DeslHp	Relat3	Obs
5	90.00	5	1.07	Hi/ 256.3	CDE
6	270.00	5	1.07	Hi/ 256.3	C
7	0.00	5	0.99	Hi/ 278.6	C
8	180.00	5	0.99	Hi/ 278.6	C

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)

Relat3 - Valor relativo ao pé-direito do pavimento

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELS - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="A": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Os deslocamentos horizontais deste edifício são maiores do que os admitidos por norma para movimento lateral de edifícios, conforme os limites definidos nos critérios gerais de pórtico espacial.

Recomendamos enrijecer a estrutura para que o limite da norma não seja excedido.

Observações para os casos com Obs="C": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Os deslocamentos horizontais entre pisos deste edifício são maiores do que os admitidos por norma para movimento lateral de edifícios, conforme limites definidos nos critérios gerais de pórtico espacial. Recomendamos enrijecer a estrutura para que o limite da norma não seja excedido.

Observações para os casos com Obs="D": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento absoluto máximo.

Observações para os casos com Obs="E": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.

APÊNDICE B – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL / PRÉ MOLDADO (APOIOS PARCIALMENTE ENGASTADOS)



Estabilidade global / Deslocamentos laterais

04/05/21 10:42:32

Estudo de Caso - Pre
moldadoTCC

Projeto: tcc2 Pre moldado

AVENIDA PROFESSOR MORAES REGO, 1235

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga acidental reduzida	Não
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coeficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	2952000.00
Tipo de módulo de elasticidade usado	Secante+10%
Correção no γ_z para transferência de esforços	0.95
Norma para cálculo de imperfeições globais	NBR-6118:2014
1/Ângulo mínimo p/desaprumo preponderante	300.00
Número de prumadas p/cálculo de Teta1	1
Considerar deslocamento horiz das cargas verticais	Sim
Fator de redução dos desloc horiz por peso próprio	0.50
Fator de redução dos desloc horiz por carga perm	0.75
Coeficiente p/classificar estrutura deslocável	FAVt
Valor de referência de estrutura deslocável	1.10

Valor de referência de α	0.60
Número mínimo de pisos no edifício p/aplicar γ_z	4
Cota final	13.05
Cota inicial	0.00
Tipo de edificação	D - Edifícios de múltiplos andares com 5 ou mais pavimentos

2 - ELU - Estabilidade Global

a) Descrição dos casos/combinações

Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
5	VENT1	Vento (1) 90°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

Combinções de ELU - vigas e lajes

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1

41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
44	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
45	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
46	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
47	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

> ^ **Combinações de ELU - pilares e fundações**

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
44	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
45	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
46	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
47	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

b) Casos simples de vento

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para o carregamento simples de vento									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.0	462.9	1.2	5.3	42.1	9.6	1.038	0.406	
6	270.0	462.9	1.2	5.3	42.1	9.6	1.038	0.406	
7	0.0	462.9	1.5	5.3	42.3	9.6	1.049	0.461	
8	180.0	462.9	1.5	5.3	42.3	9.6	1.049	0.461	

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

Mig - Momento de desaprumo por imperfeições globais [tfm] - característico.

γ_z - Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. $(1/(1-M2/M1*\gamma_f/\gamma_f3))$.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

> ^ Parâmetro α

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

C) Combinações ELU - vigas e lajes

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - vigas e lajes									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	462.9	1.1	3.2	25.3	1.000	1.057	0.526	

15	270.0	462.9	0.4	3.2	25.3	1.000	1.038	0.229	D
16	0.0	462.9	1.6	3.2	25.4	1.000	1.089	0.667	B
17	180.0	462.9	0.2	3.2	25.4	1.000	1.049	0.142	D
18	90.0	462.9	1.5	5.3	42.1	1.000	1.049	0.481	
19	270.0	462.9	0.9	5.3	42.1	1.000	1.038	0.313	D
20	0.0	462.9	2.3	5.3	42.3	1.000	1.073	0.593	
21	180.0	462.9	0.8	5.3	42.3	1.000	1.049	0.270	D
40	90.0	462.9	1.1	3.2	25.3	1.000	1.057	0.526	
41	270.0	462.9	0.4	3.2	25.3	1.000	1.038	0.229	D
42	0.0	462.9	1.6	3.2	25.4	1.000	1.089	0.667	B
43	180.0	462.9	0.2	3.2	25.4	1.000	1.049	0.142	D
44	90.0	462.9	1.5	5.3	42.1	1.000	1.049	0.481	
45	270.0	462.9	0.9	5.3	42.1	1.000	1.038	0.313	D
46	0.0	462.9	2.3	5.3	42.3	1.000	1.073	0.593	
47	180.0	462.9	0.8	5.3	42.3	1.000	1.049	0.270	D

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH - Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs - Observações (A/B/C...). Quando definidas, ver significado a seguir.

RM2M1 - Relação $1 + (M2/M1 * \gamma_f / \gamma_{f3})$ p/cálculo por P- Δ .

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Combinações ELU - pilares e fundações

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - pilares e fundações									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	462.9	1.1	3.2	25.3	1.000	1.057	0.526	
15	270.0	462.9	0.4	3.2	25.3	1.000	1.038	0.229	D
16	0.0	462.9	1.6	3.2	25.4	1.000	1.089	0.667	B
17	180.0	462.9	0.2	3.2	25.4	1.000	1.049	0.142	D
18	90.0	462.9	1.5	5.3	42.1	1.000	1.049	0.481	
19	270.0	462.9	0.9	5.3	42.1	1.000	1.038	0.313	D
20	0.0	462.9	2.3	5.3	42.3	1.000	1.073	0.593	
21	180.0	462.9	0.8	5.3	42.3	1.000	1.049	0.270	D
40	90.0	462.9	1.1	3.2	25.3	1.000	1.057	0.526	
41	270.0	462.9	0.4	3.2	25.3	1.000	1.038	0.229	D
42	0.0	462.9	1.6	3.2	25.4	1.000	1.089	0.667	B
43	180.0	462.9	0.2	3.2	25.4	1.000	1.049	0.142	D
44	90.0	462.9	1.5	5.3	42.1	1.000	1.049	0.481	
45	270.0	462.9	0.9	5.3	42.1	1.000	1.038	0.313	D
46	0.0	462.9	2.3	5.3	42.3	1.000	1.073	0.593	
47	180.0	462.9	0.8	5.3	42.3	1.000	1.049	0.270	D

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas

verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH - Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

RM2M1 - Relação $1 + (M2/M1 * \gamma_f / \gamma_{f3})$ p/cálculo por P- Δ .

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELU - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="B":

O parâmetro α deste edifício indica que a estrutura é de nós móveis.

Observações para os casos com Obs="D":

O deslocamento horizontal das cargas verticais age de modo favorável diminuindo o γ_z neste caso. O programa modificou o γ_z pelo valor obtido no caso de vento simples nesta direção.

Para efeito de verificação da capacidade de rotação dos elementos estruturais, este edifício será considerado indeslocável.

Notas

=====

Embora o sistema permita controlar a transferência ou não de esforços e o uso ou não dos parâmetros de estabilidade para majorar os esforços horizontais, recomendamos que os esforços solicitantes com vento sejam sempre transferidos para dimensionamento e detalhamento, majorados se necessário conforme o cálculo dos parâmetros de estabilidade ou por processo P- Δ .

Sugerimos a majoração automática dos esforços horizontais pelo γ_z para valores de γ_z entre 1.1 e 1.3, e somente para edificações com 4 pisos ou mais. Edificações com menos de 4 pisos podem ser analisadas pelo parâmetro α , desde que sejam simétricas. Em qualquer outro caso os parâmetros mostrados aqui não tem precisão e os efeitos de segunda ordem deverão ser analisados por um processo mais refinado, como P- Δ .

O carregamento vertical usado para cálculo de momentos de segunda ordem é composto de todas as cargas verticais permanentes e acidentais, possivelmente com redução de sobrecargas. Isto vale tanto para os casos simples quanto para as combinações.

Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira

desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

3 - ELS - Deslocamentos laterais

a) Descrição dos casos

> ^ Tabela detalhada

Casos de carregamento	
Caso	Título
5	.30VENT1
6	.30VENT2
7	.30VENT3
8	.30VENT4

b) Valores máximos permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1200.00
Altura do edifício	H= 13.05
Horizontal entre pavimentos	Hi/ 750.00

c) Deslocamentos máximos

> ^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos				
Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	0.09	H/14923.8	
6	270.00	0.09	H/14923.8	
7	0.00	0.10	H/13227.5	D
8	180.00	0.10	H/13227.5	

Caso - Caso de carregamento de ELS

DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm) Relat1 -

Valor relativo à altura total do edifício

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Deslocamentos máximos entre pisos

>  Tabela detalhada

Deslocamentos máximos entre pisos						
Caso	Ang	Piso	DeslHp	Relat3	Obs	
5	90.00	2	0.03	Hi/ 9726.6		
6	270.00	2	0.03	Hi/ 9726.6		
7	0.00	2	0.03	Hi/ 8633.4	DE	
8	180.00	2	0.03	Hi/ 8633.4		

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)Relat3 -

Valor relativo ao pé-direito do pavimento

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELS - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="D": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento absoluto máximo.

Observações para os casos com Obs="E": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.

APÊNDICE C – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL/PRÉ MOLDADO (APOIOS TOTALMENTE ENGASTADOS)



Estabilidade global / Deslocamentos laterais

04/05/21 10:16:52

Estudo de Caso - Pre
moldado TCC

Projeto: tcc2 Pre moldado

AVENIDA PROFESSOR MORAES REGO, 1235

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga accidental reduzida	Não
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coeficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	2952000.00
Tipo de módulo de elasticidade usado	Secante+10%
Correção no γ_z para transferência de esforços	0.95
Norma para cálculo de imperfeições globais	NBR-6118:2014
1/Ângulo mínimo p/desaprumo preponderante	300.00
Número de prumadas p/cálculo de Teta1	1
Considerar deslocamento horiz das cargas verticais	Sim
Fator de redução dos desloc horiz por peso próprio	0.50
Fator de redução dos desloc horiz por carga perm	0.75
Coeficiente p/classificar estrutura deslocável	FAVt
Valor de referência de estrutura deslocável	1.10

Valor de referência de α	0.60
Número mínimo de pisos no edifício p/aplicar γ_z	4
Cota final	13.05
Cota inicial	0.00
Tipo de edificação	D - Edifícios de múltiplos andares com 5 ou mais pavimentos

2 - ELU - Estabilidade Global

a) Descrição dos casos/combinações

Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
5	VENT1	Vento (1) 90°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

Combinações de ELU - vigas e lajes

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1

41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
44	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
45	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
46	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
47	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

> ^ **Combinações de ELU - pilares e fundações**

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
44	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
45	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
46	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
47	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

b) Casos simples de vento

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para oscarregamentos simples de vento									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.0	463.0	0.7	5.3	42.1	9.6	1.023	0.316	
6	270.0	463.0	0.7	5.3	42.1	9.6	1.023	0.316	
7	0.0	463.0	0.9	5.3	42.3	9.6	1.027	0.344	
8	180.0	463.0	0.9	5.3	42.3	9.6	1.027	0.344	

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

Mig - Momento de desaprumo por imperfeições globais [tfm] - característico.

γ_z - Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. $(1/(1-M2/M1*\gamma_f/\gamma_f3))$.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significação a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

> ^ Parâmetro α

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

C) Combinações ELU - vigas e lajes

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - vigas e lajes									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	463.0	0.8	3.2	25.3	1.000	1.041	0.460	

15	270.0	463.0	0.1	3.2	25.3	1.000	1.023	0.108	D
16	0.0	463.0	1.2	3.2	25.4	1.000	1.065	0.586	
17	180.0	463.0	-0.2	3.2	25.4	1.000	1.027	0.326	D
18	90.0	463.0	1.1	5.3	42.1	1.000	1.034	0.408	
19	270.0	463.0	0.4	5.3	42.1	1.000	1.023	0.183	D
20	0.0	463.0	1.6	5.3	42.3	1.000	1.049	0.503	
21	180.0	463.0	0.2	5.3	42.3	1.000	1.027	0.128	D
40	90.0	463.0	0.8	3.2	25.3	1.000	1.041	0.460	
41	270.0	463.0	0.1	3.2	25.3	1.000	1.023	0.108	D
42	0.0	463.0	1.2	3.2	25.4	1.000	1.065	0.586	
43	180.0	463.0	-0.2	3.2	25.4	1.000	1.027	0.326	D
44	90.0	463.0	1.1	5.3	42.1	1.000	1.034	0.408	
45	270.0	463.0	0.4	5.3	42.1	1.000	1.023	0.183	D
46	0.0	463.0	1.6	5.3	42.3	1.000	1.049	0.503	
47	180.0	463.0	0.2	5.3	42.3	1.000	1.027	0.128	D

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH - Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs - Observações (A/B/C...). Quando definidas, ver significado a seguir.

RM2M1 - Relação $1 + (M2/M1 * \gamma_f / \gamma_{f3})$ p/cálculo por P- Δ .

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Combinações ELU - pilares e fundações

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - pilares e fundações									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	463.0	0.8	3.2	25.3	1.000	1.041	0.460	
15	270.0	463.0	0.1	3.2	25.3	1.000	1.023	0.108	D
16	0.0	463.0	1.2	3.2	25.4	1.000	1.065	0.586	
17	180.0	463.0	-0.2	3.2	25.4	1.000	1.027	0.326	D
18	90.0	463.0	1.1	5.3	42.1	1.000	1.034	0.408	
19	270.0	463.0	0.4	5.3	42.1	1.000	1.023	0.183	D
20	0.0	463.0	1.6	5.3	42.3	1.000	1.049	0.503	
21	180.0	463.0	0.2	5.3	42.3	1.000	1.027	0.128	D
40	90.0	463.0	0.8	3.2	25.3	1.000	1.041	0.460	
41	270.0	463.0	0.1	3.2	25.3	1.000	1.023	0.108	D
42	0.0	463.0	1.2	3.2	25.4	1.000	1.065	0.586	
43	180.0	463.0	-0.2	3.2	25.4	1.000	1.027	0.326	D
44	90.0	463.0	1.1	5.3	42.1	1.000	1.034	0.408	
45	270.0	463.0	0.4	5.3	42.1	1.000	1.023	0.183	D
46	0.0	463.0	1.6	5.3	42.3	1.000	1.049	0.503	
47	180.0	463.0	0.2	5.3	42.3	1.000	1.027	0.128	D

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas

verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH - Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs -Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

RM2M1 -Relação $1+(M2/M1*\gamma_f/\gamma_{f3})$ p/cálculo por P- Δ .

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELU - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="D":

O deslocamento horizontal das cargas verticais age de modo favorável diminuindo o γ_z neste caso. O programa modificou o γ_z pelo valor obtido no caso de vento simples nesta direção.

Para efeito de verificação da capacidade de rotação dos elementos estruturais, este edifício será considerado indeslocável.

Notas

=====

Embora o sistema permita controlar a transferência ou não de esforços e o uso ou não dos parâmetros de estabilidade para majorar os esforços horizontais, recomendamos que os esforços solicitantes com vento sejam sempre transferidos para dimensionamento e detalhamento, majorados se necessário conforme o cálculo dos parâmetros de estabilidade ou por processo P- Δ .

Sugerimos a majoração automática dos esforços horizontais pelo γ_z para valores de γ_z entre 1.1 e 1.3, e somente para edificações com 4 pisos ou mais. Edificações com menos de 4 pisos podem ser analisadas pelo parâmetro α , desde que sejam simétricas. Em qualquer outro caso os parâmetros mostrados aqui não tem precisão e os efeitos de segunda ordem deverão ser analisados por um processo mais refinado, como P- Δ .

O carregamento vertical usado para cálculo de momentos de segunda ordem é composto de todas as cargas verticais permanentes e acidentais, possivelmente com redução de sobrecargas. Isto vale tanto para os casos simples quanto para as combinações.

Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

3 - ELS - Deslocamentos laterais

a) Descrição dos casos

> ^ Tabela detalhada

Casos de carregamento	
Caso	Título
5	.30VENT1
6	.30VENT2
7	.30VENT3
8	.30VENT4

b) Valores máximos permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1200.00
Altura do edifício	H= 13.05
Horizontal entre pavimentos	Hi/ 750.00

c) Deslocamentos máximos

> ^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos				
Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	0.06	H/22166.2	
6	270.00	0.06	H/22166.2	
7	0.00	0.06	H/21964.2	D
8	180.00	0.06	H/21964.2	

Caso - Caso de carregamento de ELS

DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Deslocamentos máximos entre pisos

> ^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos entre pisos						
Caso	Ang	Piso	DeslHp	Relat3	Obs	
5	90.00	2	0.02	Hi/14289.0		
6	270.00	2	0.02	Hi/14289.0		
7	0.00	2	0.02	Hi/14266.4	DE	
8	180.00	2	0.02	Hi/14266.4		

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)

Relat3 - Valor relativo ao pé-direito do pavimento

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELS - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="D": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento absoluto máximo.

Observações para os casos com Obs="E": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.

APÊNDICE D – RELATÓRIO DE ESTABILIDADE GLOBAL/MOLDADO IN LOCO (APOIOS TOTALMENTE ENGASTADOS)

Estabilidade global / Deslocamentos laterais

04/05/21 02:23:29

Estudo

de Caso

TCC

Projeto: tcc2 01

AVENIDA PROFESSOR MORAES REGO, 1235

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga accidental reduzida	Não
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coeficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	2952000.00
Tipo de módulo de elasticidade usado	Secante+10%
Correção no γ_z para transferência de esforços	0.95
Norma para cálculo de imperfeições globais	NBR-6118:2014
1/Ângulo mínimo p/desaprumo preponderante	300.00
Número de prumadas p/cálculo de Teta1	1
Considerar deslocamento horiz das cargas verticais	Sim
Fator de redução dos desloc horiz por peso próprio	0.50
Fator de redução dos desloc horiz por carga perm	0.75
Coeficiente p/classificar estrutura deslocável	FAVt
Valor de referência de estrutura deslocável	1.10
Valor de referência de α	0.60
Número mínimo de pisos no edifício p/aplicar γ_z	4
Cota final	13.05
Cota inicial	0.00

2 - ELU - Estabilidade Global

a) Descrição dos casos/combinações



Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
------	---------	--------

5	VENT1	Vento (1) 90°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

> ^ **Combinações de ELU - vigas e lajes**

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
25	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
26	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
27	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
28	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
29	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
30	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
31	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
32	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

> ^ **Combinações de ELU - pilares e fundações**

Caso	Título
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
25	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
26	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
27	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
28	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
29	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1

30	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
31	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
32	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

b) Casos simples de vento

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para oscarregamentos simples de vento									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.0	485.9	2.4	5.2	41.5	10.1	1.079	0.578	
6	270.0	485.9	2.4	5.2	41.5	10.1	1.079	0.578	
7	0.0	485.9	3.3	5.6	44.9	10.1	1.104	0.658	B
8	180.0	485.9	3.3	5.6	44.9	10.1	1.104	0.658	B

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

Mig - Momento de desaprumo por imperfeições globais [tfm] - característico.

γ_z - Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. $(1/(1-M2/M1*\gamma_f/\gamma_f3))$.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. Obs -

Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

> ^ Parâmetro α

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

c) Combinações ELU - vigas e lajes

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - vigas e lajes									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	485.9	1.7	3.1	24.9	1.000	1.097	0.649	B
15	270.0	485.9	1.1	3.1	24.9	1.000	1.079	0.498	D
16	0.0	485.9	1.7	3.4	26.9	1.049	1.104	0.607	B D
17	180.0	485.9	2.2	3.4	26.9	1.063	1.119	0.705	B

18	90.0	485.9	2.7	5.2	41.5	1.000	1.089	0.620	B
19	270.0	485.9	2.1	5.2	41.5	1.000	1.079	0.533	D
20	0.0	485.9	3.1	5.6	44.9	1.049	1.104	0.629	B D
21	180.0	485.9	3.6	5.6	44.9	1.057	1.112	0.686	B
25	90.0	485.9	1.8	3.1	24.9	1.000	1.099	0.655	B
26	270.0	485.9	1.1	3.1	24.9	1.000	1.079	0.489	D
27	0.0	485.9	1.7	3.4	26.9	1.049	1.104	0.604	B D
28	180.0	485.9	2.3	3.4	26.9	1.063	1.119	0.708	B
29	90.0	485.9	2.7	5.2	41.5	1.000	1.090	0.624	B
30	270.0	485.9	2.1	5.2	41.5	1.000	1.079	0.529	D
31	0.0	485.9	3.1	5.6	44.9	1.049	1.104	0.627	B D
32	180.0	485.9	3.6	5.6	44.9	1.057	1.113	0.687	B

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH -

Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs - Observações (A/B/C...). Quando definidas, ver significado a seguir.

RM2M1 - Relação $1 + (M2/M1 * \gamma_f / \gamma_{f3})$ p/cálculo por P- Δ .

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Combinações ELU - pilares e fundações

> ^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (FAVt) para combinações de ELU - pilares e fundações									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	FAVt	α	Obs
14	90.0	485.9	1.7	3.1	24.9	1.000	1.097	0.649	B
15	270.0	485.9	1.1	3.1	24.9	1.000	1.079	0.498	D
16	0.0	485.9	1.7	3.4	26.9	1.049	1.104	0.607	B D
17	180.0	485.9	2.2	3.4	26.9	1.063	1.119	0.705	B
18	90.0	485.9	2.7	5.2	41.5	1.000	1.089	0.620	B
19	270.0	485.9	2.1	5.2	41.5	1.000	1.079	0.533	D
20	0.0	485.9	3.1	5.6	44.9	1.049	1.104	0.629	B D

21	180.0	485.9	3.6	5.6	44.9	1.057	1.112	0.686	B
25	90.0	485.9	1.8	3.1	24.9	1.000	1.099	0.655	B
26	270.0	485.9	1.1	3.1	24.9	1.000	1.079	0.489	D
27	0.0	485.9	1.7	3.4	26.9	1.049	1.104	0.604	B D
28	180.0	485.9	2.3	3.4	26.9	1.063	1.119	0.708	B
29	90.0	485.9	2.7	5.2	41.5	1.000	1.090	0.624	B
30	270.0	485.9	2.1	5.2	41.5	1.000	1.079	0.529	D
31	0.0	485.9	3.1	5.6	44.9	1.049	1.104	0.627	B D
32	180.0	485.9	3.6	5.6	44.9	1.057	1.113	0.687	B

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico. M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem.

Calcula como γ_z , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica. MultH - Multiplicador de esforços horizontais, derivado de FAVt.

Obs - Observações (A/B/C...). Quando definidas, ver significado a seguir.

RM2M1 - Relação $1 + (M2/M1 * \gamma_f / \gamma_{f3})$ p/cálculo por P- Δ .

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELU - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="B":

O parâmetro α deste edifício indica que a estrutura é de nós móveis.

Observações para os casos com Obs="D":

O deslocamento horizontal das cargas verticais age de modo favorável diminuindo o γ_z neste caso. O programa modificou o γ_z pelo valor obtido no caso de vento simples nesta direção.

Para efeito de verificação da capacidade de rotação dos elementos estruturais, este edifício será considerado deslocável.

Notas

=====

Embora o sistema permita controlar a transferência ou não de esforços e o uso ou não dos parâmetros de estabilidade para majorar os esforços horizontais, recomendamos que os esforços solicitantes com vento sejam sempre transferidos para dimensionamento e

detalhamento, majorados se necessário conforme o cálculo dos parâmetros de estabilidade ou por processo P- Δ .

Sugerimos a majoração automática dos esforços horizontais pelo γ_z para valores de γ_z entre 1.1 e 1.3, e somente para edificações com 4 pisos ou mais. Edificações com menos de 4 pisos podem ser analisada pelo parâmetro α , desde que sejam simétricas. Em qualquer outro caso os parâmetros mostrados aqui não tem precisão e os efeitos de segunda ordem deverão ser analisados por um processo mais refinado, como P- Δ .

O carregamento vertical usado para cálculo de momentos de segunda ordem é composto de todas as cargas verticais permanentes e acidentais, possivelmente com redução de sobrecargas. Isto vale tanto para os casos simples quanto para as combinações.

Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

3 - ELS - Deslocamentos laterais

a) Descrição dos casos

> ^ Tabela detalhada

Casos de carregamento	
Caso	Título
5	.30VENT1
6	.30VENT2
7	.30VENT3
8	.30VENT4

b) Valores máximos permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1700.00
Altura do edifício	H= 13.05
Horizontal entre pavimentos	Hi/ 850.00

c) Deslocamentos máximos

> ^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos				
Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	0.19	H/ 6958.6	
6	270.00	0.19	H/ 6958.6	
7	0.00	0.25	H/ 5181.5	D

8	180.00	0.25	H/ 5181.5	
---	--------	------	-----------	--

Caso - Caso de carregamento de ELS

DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)Relat1 -

Valor relativo à altura total do edifício

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

d) Deslocamentos máximos entre pisos

> ^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos entre pisos						
Caso	Ang	Piso	DeslHp	Relat3	Obs	
5	90.00	2	0.06	Hi/ 4477.1		
6	270.00	2	0.06	Hi/ 4477.1		
7	0.00	2	0.08	Hi/ 3343.5	DE	
8	180.00	2	0.08	Hi/ 3343.5		

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)Relat3 -

Valor relativo ao pé-direito do pavimento

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.

Por favor, atualize seu browser para exibir o desenho.

e) ELS - Observações IMPORTANTES

Observações para os casos com Obs="D": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento absoluto máximo.

Observações para os casos com Obs="E": Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável. Os γ_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.