

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MODULAÇÕES DE LAJES
ALVEOLARES E DO TIPO PI NA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS
GARAGEM DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**

Bruna Barros Conti

São Carlos – SP
2025

Bruna Barros Conti

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MODULAÇÕES DE LAJES
ALVEOLARES E DO TIPO PI NA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS
GARAGEM DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

São Carlos – SP

2025

Dedico esse trabalho a meus pais,
Guilherme Luís Conti e Eleandra de
Oliveira Barros Conti, e as minhas
irmãs, Eduarda Barros Conti e
Giovanna Barros Conti.

AGRADECIMENTO

Á Deus, por ter-me aberto essa porta, por ter-me guiado e abençoado em cada passo de minha vida, e por se fazer presente em todos os momentos.

Á minha família, principalmente aos meus pais e minhas irmãs, pelo amor, por me permitirem realizar esse sonho, por me concederem todo o suporte, conselhos e apoio necessário. Serei eternamente grata a tudo que fizeram por mim.

A todos os meus amigos, pelas amizades construídas, pelas risadas, pelos conselhos e crescimento nos estudos.

Ao meu orientador Professor Fernando, pela orientação, respeito, paciência, dedicação, ensinamentos e conhecimento passados nas diversas disciplinas.

Ao corpo docente da UFSCar, principalmente aos do departamento de Engenharia Civil, pelos ensinamentos e aprendizados.

Á Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, pela oportunidade de estudo e estrutura.

RESUMO

O crescimento desordenado dos grandes centros urbanos ocasionou diversos problemas, dentre os quais pode-se citar a diminuição da oferta de vagas de estacionamento. Assim, somado a isso, tem-se o avanço da industrialização da construção civil, o qual prioriza a execução de estruturas mais verticais e compactas, como edifícios garagem de múltiplos pavimentos, os quais necessitam da aplicação de modulações que proporcionem otimização do espaço. Desta forma, torna-se preciso selecionar um sistema construtivo que abranja as necessidades do ambiente, principalmente com relação ao custo e a ordenação dos elementos estruturais. Assim, no que tange a esses elementos, há-se o emprego de lajes pré-moldadas, com destaque para a utilização de painéis alveolares e do tipo pi, os quais possuem como característica o potencial de vencer grandes vãos. Entretanto, para aplicar esse sistema é necessário garantir a estabilidade global do edifício. Deste modo, esse estudo analisou a estabilidade global de 4 edifícios garagens de múltiplos pavimentos a partir de um projeto idealizado, sendo dois edifícios com laje alveolar de 3 e 5 pavimentos e dois edifícios com laje do tipo pi de 3 e 5 pavimentos. A partir disso, modulou-se esses edifícios no *software* TQS® PREO, e então, após o processamento global da estrutura determinou-se que os edifícios de 3 e 5 pavimentos com laje alveolar comportam-se melhor em relação a estabilidade global, entretanto, ao considerar o consumo de concreto e a carga média desses edifícios, os com laje do tipo pi de 3 e 5 pavimentos apresentam maior vantagem.

Palavras-chave: Edifícios garagem. Concreto pré-moldado. Lajes alveolares e do tipo Pi. Estabilidade global.

ABSTRACT

The unplanned growth of large urban centers has caused various problems, among which is the decrease in the availability of parking spaces. In addition to this, there has been an advancement in the industrialization of the construction sector, which prioritizes the execution of more vertical and compact structures, such as multi-story parking buildings that require the application of modulations to optimize space. Thus, it becomes necessary to select a construction system that meets the needs of the environment, especially regarding cost and the arrangement of structural elements. In this context, the use of precast slabs is employed, with a focus on the use of hollow-core panels and T-beams, which have the characteristic of being able to span large distances. However, to apply this system, it is essential to ensure the global stability of the building. Therefore, this study analyzed the global stability of four multi-story parking buildings based on an idealized project, consisting of two buildings with hollow-core slabs of 3 and 5 stories and two buildings with T-beam slabs of 3 and 5 stories. These buildings were modeled in the TQS® PREO software, and after the global processing of the structure, it was determined that the 3 and 5-story buildings with hollow-core slabs perform better in terms of global stability. However, when considering the concrete consumption and the average load of these buildings, those with T-beam slabs of 3 and 5 stories present a greater advantage.

Keywords: Garage buildings. Precast concrete. Hollow core and Pi slabs. Global stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício garagem de múltiplo pavimentos – Aeroporto de Guarulhos Terminal 3	6
Figura 2 - Layouts de acesso à edifícios garagens	8
Figura 3 - Layouts de acesso à edifícios garagens	9
Figura 4 - Painel alveolar e do tipo pi	10
Figura 5 - Seção transversal de um painel alveolar.....	13
Figura 6 - Laje alveolar.....	16
Figura 7 - Seções de laje alveolar por extrusão e por fôrma deslizante	16
Figura 8 - Abertura em elementos de laje alveolar	16
Figura 9 - Junta longitudinal entre painéis alveolares.....	17
Figura 10 - Seção transversal de uma laje duplo T	18
Figura 11 - Obra com aplicação de painéis duplos tê.....	19
Figura 12 - Dente de painéis duplos tê.....	20
Figura 13 - Mapa de isopletras	22
Figura 14 - Fator topográfico para taludes e morros	23
Figura 15 - Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência.	29
Figura 16 - Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência.....	30
Figura 17 - Notação para aplicação do fator de vizinhança.....	32
Figura 18 - Imperfeições geométricas globais.	33
Figura 19 - Aplicação de ações horizontais e verticais na barra engastada	35
Figura 20 - Processo P-Delta	39
Figura 21 - Planta arquitetônica base do pavimento tipo.....	42
Figura 22 - Planta base do plano de lajes.	43
Figura 23 - Plano de lajes alveolar.	44
Figura 24 - Plano de lajes do tipo PI ou duplo Tê.....	44
Figura 25 - Disposição dos pilares considerando a laje alveolar	46
Figura 26 – Dados do consolo.....	47
Figura 27 - Dados da viga	47
Figura 28 - Modelagem do edifício com laje alveolar de 3 pavimentos	49
Figura 29 - Modelagem do edifício com laje alveolar de 5 pavimentos	49

Figura 30 - Modelagem do edifício com laje tipo pi de 3 pavimentos	50
Figura 31 - Modelagem do edifício com laje do tipo pi de 5 pavimentos	50
Figura 32 – Comparação entre os coeficientes γ_z	52
Figura 33 - Comparação entre os parâmetros α	53
Figura 34 - Deslocamento horizontal corrigido	57
Figura 35 - Deslocamento horizontal entre pisos corrigido.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos	25
Tabela 2 - Fator de rajada.....	25
Tabela 3 - Fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação	26
Tabela 4 - Valores mínimos do fator estatístico	27
Tabela 5 - Casos de estudo	43
Tabela 6 - Dados iniciais da modelagem	45
Tabela 7 – Solidarização da estrutura e definição dos materiais	45
Tabela 8 - Vento	46
Tabela 9 - Propriedades do painel alveolar e do tipo pi	48
Tabela 10 - Carga distribuída por área	48
Tabela 11 - Parâmetro de estabilidade para casos simples de vento.....	51
Tabela 12 - Resumo do comportamento da estrutura perante o coeficiente γ_z e o parâmetro α para o caso de vento simples	53
Tabela 13 - Combinações ELU para os casos de vento	54
Tabela 14 - Parâmetro RM2M1 para a combinação de Estado Limite Último de vigas e lajes.....	54
Tabela 15 - Valores máximos de deslocamento permitido pela ABNT NBR 9062:2017	56
Tabela 16 - Máximos deslocamentos horizontais absolutos (δH) e deslocamentos horizontais corrigidos (δH_c).....	56
Tabela 17 - Máximo deslocamento horizontal absoluto para cada pavimento dos edifícios com laje alveolar em cm.....	57
Tabela 18 - Máximo deslocamento horizontal absoluto para cada pavimento dos edifícios com laje do tipo pi em cm.....	58
Tabela 19 - Deslocamentos máximos entre pisos em cm.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVO	6
3	JUSTIFICATIVA	7
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1	EDIFÍCIO GARAGEM.....	8
4.2	CONCRETO PRÉ-MOLDADO	9
4.3	CONCRETO PROTENDIDO	11
4.4	LAJE EM CONCRETO PROTENDIDO	12
4.4.1	Laje alveolar	12
4.4.1.1	Processo de produção de lajes alveolares	14
4.4.1.2	Vantagens e desvantagens	17
4.4.2	Laje duplo tê ou tipo pi	17
4.4.2.1	Processo de produção de lajes duplo T.....	19
4.4.2.2	Vantagens e Desvantagens.....	20
4.5	LEVANTAMENTO DE AÇÕES VERTICAIS	20
4.6	LEVANTAMENTO DE AÇÕES HORIZONTAIS	21
4.6.1	Ação do vento nas edificações	21
4.6.1.1	Determinação da velocidade característica do vento	21
4.6.1.2	Força de arrasto e coeficiente de arrasto	27
4.6.2	Ações devidas às imperfeições geométricas globais	33
4.7	ESTABILIDADE GLOBAL.....	34
4.7.1	Não-linearidade geométrica	34
4.7.2	Não-linearidade física	35
4.7.3	Efeitos de 2ª ordem e estabilidade global	36
4.7.3.1	Parâmetro de instabilidade α	36
4.7.3.2	Coeficiente γz	37
4.7.3.3	Processo P-Delta.....	39
5	METODOLOGIA	41
5.1	PLANTA ARQUITETÔNICA	41

5.2	PLANTA BASE DO PLANO DE LAJES E CASOS DE ESTUDOS.....	42
5.3	MODELAGEM NO TQS® PREO	45
6	ANÁLISE AOS RESULTADOS.....	51
6.1	ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ESTABILIDADE GLOBAL.....	51
6.1.1	Casos simples de vento.....	51
6.1.2	Combinações ELU para vigas e lajes	54
6.2	ESTADO LIMITE DE SERVIÇO – DESLOCAMENTOS LATERAIS.....	56
7	CONCLUSÃO.....	60
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
	ANEXO A.....	67

1 INTRODUÇÃO

A expansão dos grandes centros urbanos em conjunto com o modal rodoviário tornou-se um problema na sociedade moderna, especialmente porque de acordo com Roberto Andrés criou-se uma ilusão em relação a utilização dos automóveis e a melhora da qualidade dos deslocamentos (apud Rodrigues, 2020, p.10). Deste modo, há-se que o sistema viário dispõe de vias com baixa oferta de espaços de estacionamento, principalmente em regiões denominadas como polos geradores de viagens, o que faz com que haja a formação de congestionamentos (Rezende; Gouveia, 2006) (Teixeira, 2020).

Assim, como forma de amenizar tais transtornos tem-se a implementação de edifícios garagem de múltiplos pavimentos, os quais proporcionam uma relevante quantidade de vagas de estacionamento, o que por consequência atenua o trânsito do entorno, já que, uma parte considerável do tempo é destinada a procura de vagas e na realização de manobras para estacionar (Rezende; Gouveia, 2006) (Teixeira, 2020).

Ademais, no que se refere aos edifícios garagem de múltiplos pavimentos, há-se que os mesmos surgiram em 1925, em Berlim na Alemanha, sendo que, o primeiro construído no Brasil foi o Edifício Garagem América, em 1954 na cidade de São Paulo, com capacidade de 500 automóveis, dispostos em 15 andares (Bevilaqua, 2021).

Além disso, como características desses edifícios tem-se que os mesmos possuem uma estrutura modular na qual aplica-se uniformização em relação a disposição de lajes, vigas e pilares, sendo que, geralmente são construídas com elementos que dispõem de um elevado índice padronização, como as peças de concreto pré-moldado (Rezende; Gouveia, 2006) (Teixeira, 2020). Assim, no que tange aos pré-moldados de concreto, há-se a aplicação de elementos bidimensionais, como as lajes alveolares e do tipo pi (Rezende; Gouveia, 2006) (Teixeira, 2020).

No que se diz respeito as lajes alveolares, tem-se que as mesmas dispõem de vazios contínuos, nominados como alvéolos, enquanto as lajes do tipo pi possuem nervuras longitudinais. Ademais, como propriedades apresentadas conjuntamente a esses painéis é possível destacar o baixo peso próprio, menor consumo de materiais, elevada capacidade de vencimento de grandes vãos e de sustentação de cargas, o

que permite a análise de diferentes modulações (Pinheiro; Carvalho; Almeida Filho, 2017) (Teixeira, 2020).

Desta forma, levando isso em conta e considerando que os edifícios garagem de múltiplos pavimentos dispõem de alturas consideráveis, tem-se então a necessidade de analisar a influência de ações horizontais (vento) na estabilidade global em relação aos edifícios garagem de múltiplos pavimentos com lajes alveolares e do tipo pi. A seguir, está a Figura 1 com um exemplo de edifício garagem de múltiplos pavimentos com capacidade de 2644 veículos (Stankuns, 2014).

Figura 1 - Edifício garagem de múltiplo pavimentos – Aeroporto de Guarulhos Terminal 3



Fonte - Stankuns, 2014.

2 OBJETIVO

O objetivo geral da realização desse trabalho é analisar e comparar, a partir da realização de um projeto estrutural idealizado de edifícios garagem de múltiplos pavimentos, a aplicação de modulação de laje alveolar e do tipo pi.

Já no que toca ao objetivo específico, estes buscam analisar o comportamento da estrutura com relação a estabilidade global de edifícios garagem de múltiplos pavimentos.

3 JUSTIFICATIVA

Os grandes centros urbanos apresentam diversos problemas relacionados a mobilidade urbana, dentre os quais destaca-se à baixa oferta de vagas de estacionamento, já que de acordo com Belvilaqua (2021) os indivíduos gastam em média 3 horas em deslocamentos e que a ocorrência da obsolescência da infraestrutura viária se dá de modo rápido.

Deste modo, faz-se necessário estudar edifícios garagem de múltiplos pavimentos, os quais disponibilizam uma quantidade significativa de espaços de estacionamento ao aplicar elementos pré-moldados como as lajes alveolar e do tipo pi, visto que, ambas permitem o vencimento de grandes vãos.

Entretanto, devido a utilização desses elementos e da disponibilidade de espaços físicos reduzidos, faz com que essas estruturas apresentem uma maior esbeltez, de modo que é necessário a análise da estabilidade global do edifício para avaliação do comportamento perante a ação do vento.

Além disso, é preciso destacar que uma forte motivação desse trabalho decorre da existência de poucos trabalhos relacionados a esse assunto, além de que segundo Souza (2006), o uso de pré-fabricados de concreto está em crescimento no país, o que torna relevante a realização de pesquisas sobre isso.

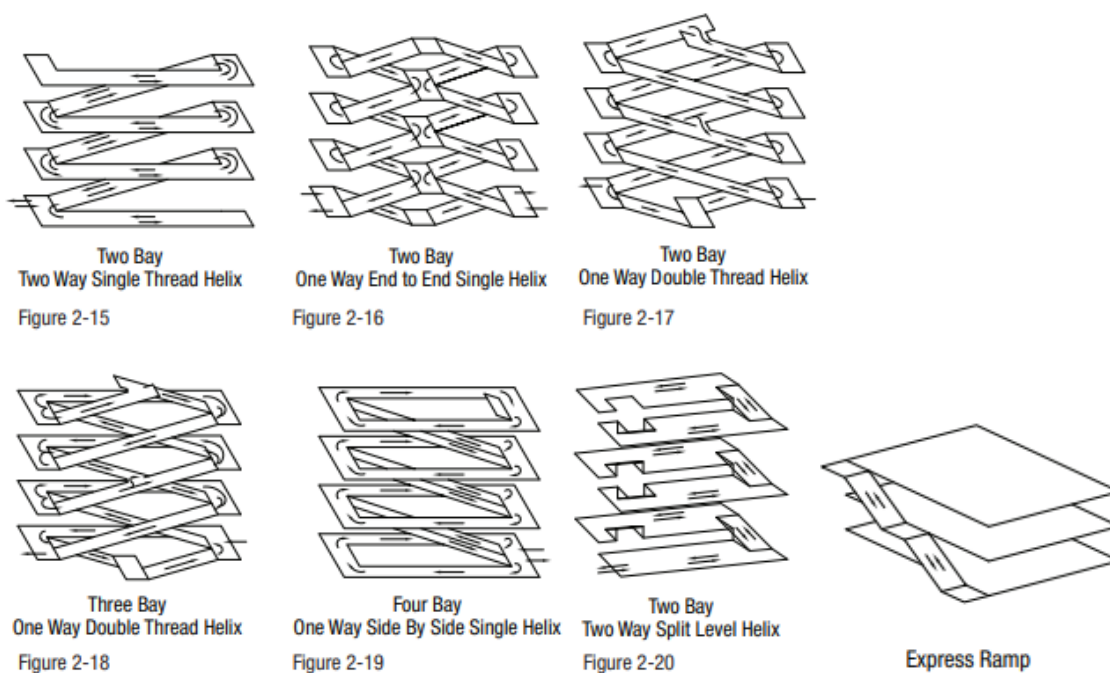
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 EDIFÍCIO GARAGEM

A quantidade de vagas disponíveis nos grandes centros urbanos torna-se mais necessária na medida em que ocorre a expansão da frota de automóveis em associação ao aumento de viagens realizadas, o que devido ao mesmo permanecerem a maior parte do tempo parado e também a transportarem um pequeno número de passageiros, tem-se então como cenário atual uma disponibilidade limitada de vagas de estacionamento (Brinco, 2016).

Desta forma, há o surgimento de edifícios garagem, entretanto, somente após um tempo essas edificações passaram a dispor de mais de um pavimento. Além disso, no que se refere a esses edifícios tem-se que os mesmos podem-se dividir em dois grupos, sendo estes, edifícios garagem em rampas, onde a movimentação dos veículos é dada pelas rampas de acesso retas ou helicoidais, e edifícios garagem automatizados, os quais utilizam sistemas elétricos e hidráulicos (elevadores) para deslocar os automóveis (Rezende; Gouveia, 2006) (Bevilaqua, 2021). A seguir está a Figura 2 com diferentes modos de acesso a edifícios garagens.

Figura 2 - Layouts de acesso à edifícios garagens

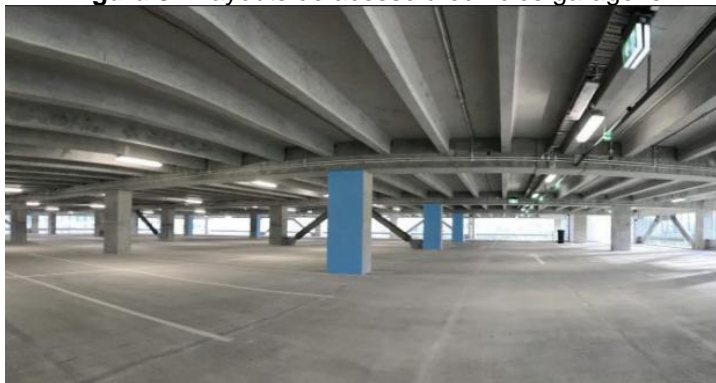


Fonte – Adaptado de Instituto de concreto protendido, 2015.

Ademais, os edifícios garagens apresentam volumetria básica com modulações planejadas, as quais recebem influência direta da industrialização da construção civil. Desta forma, no que tange a industrialização da construção civil, esta encontra-se atrasada no momento, no entanto, a mesma tem como propósito executar procedimentos fabris que propiciem uma melhor operação dentro do canteiro de obras. Por isso, edifícios garagens aplicam peças de pré-fabricados de concreto (Ribeiro, 2002) (Rezende; Gouveia, 2006) (Bevilaqua, 2021).

Ademais, em relação aos edifícios garagens tem-se como exigências de projeto a presença de extensos vãos abertos com poucos pilares internos, o que faz com que o mesmo se enquadre em um sistema esqueleto. Além disso, os edifícios garagens devem cumprir os requisitos relacionados a estabilidade global, a qual é resguardada segundo Van Acker (2002) como: *“pela ação dos pilares engastados na base em conjunto com a ação enrijecedora dos núcleos de contraventamento formado pelas caixas de escada e elevadores”*. Desta forma, segundo Van Acker (2002) os vãos nesses edifícios ficam limitados entre 12 e 16 m, sendo aplicados maiormente lajes de painéis alveolares e duplo tê. A seguir está a Figura 3 com um edifício garagem que utilizou-se laje composta por painel duplo tê.

Figura 3 - Layouts de acesso à edifícios garagens



Fonte - Adaptado de Concreto de Engenharia Avançada, 2023.

4.2 CONCRETO PRÉ-MOLDADO

O concreto pré-moldado, CPM, pode ser aplicado em diferentes formas, as quais dividem-se quanto ao local de produção das peças (pré-moldado de fábrica ou pré-moldado de canteiro), quanto a incorporação de CML (concreto moldado in loco) para ampliar a seção resistente no local de utilização definitivo (pré-moldado de seção

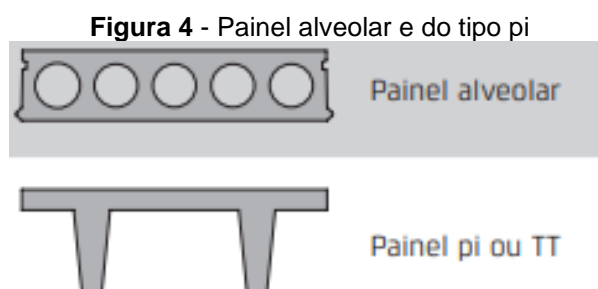
completa ou pré-moldado de seção parcial), quanto ao peso das peças (pré-moldado pesado ou pré-moldado leve), e quanto ao papel desempenhado pela aparência (pré-moldado normal ou pré-moldado arquitetônico) (El Debs, 2017).

Assim, como objeto de estudo é o concreto pré-moldado de fábrica, este é definido como aquele que é produzido fora do canteiro de obras, o que possibilita um maior controle de qualidade do elemento produzido, entretanto, demanda de um deslocamento entre a fábrica e a obra, o qual é necessário detalhar o modo do içamento do elemento (El Debs, 2017).

Desta forma, El Debs (2007) destaca que para a produção do concreto pré-moldado de fábrica é necessário realizar: a preparação dos materiais, a qual engloba o armazenamento das matérias-primas necessárias para a dosagem e mistura do concreto, o preparo da armadura (corte e dobra) e sua montagem, a limpeza das fôrmas, a deposição do desmoldante e da armadura já montada, a colocação de peças complementares e aplicação da pré-tração na armadura se preciso.

Vale salientar que os pré-moldados estão voltados para a industrialização e racionalização construtiva, onde, segundo Van Acker (2002), essa rede busca atender as demandas da sociedade, como a economia, sustentabilidade, segurança, eficiência estrutural (permite maiores vãos), eficiência construtiva (emprega-se mais tempo no processo de concepção do que no de construção), desempenho técnico e condições favoráveis de trabalho (El Debs, 2017).

No que tange aos componentes desenvolvidos em concreto pré-fabricado, tem-se os pilares, os quais dispõem de seção transversal mínima de 300 mm, as lajes, as quais podem ser unidirecionais ou bidirecionais, compostas por painéis alveolares ou então duplo T. A seguir está a Figura 4 com a representação de painéis alveolares e duplo T (El Debs, 2017).



Fonte - El Debs, 2017.

Cabe destacar que os pré-moldados apresentam como vantagens uma elevada padronização e produção, menor consumo de concreto, cimbramento, formas e armadura (El Debs, 2017). Ademais, é preciso destacar que os pré-moldados são utilizados maiormente em países desenvolvidos visto que os mesmos dispõem de mão de obra qualificada e de equipamentos de maior qualidade, por isso, no Brasil este processo é cada vez mais usual (Iglesia, 2006). Assim, no que toca aos edifícios garagem estes aplicam conceitos como modulação, funcionalidade, diminuição de prazo de execução e de sustentabilidade (Prestressed Concrete Institute, 2015) (El Debs, 2017) (Iglesia, 2006) (Polat, 2010).

As estruturas de concreto pré-moldado dispõem de algumas normas, as quais ressaltam-se a ABNT NBR 6118:2023 (Projeto de Estruturas de Concreto) e ABNT NBR 9062:2017 (Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado), a qual estabelece que o comportamento efetivo das ligações decorre devido aos graus de liberdade, sendo que, em trechos denominados como singulares, isto é calculado para montagem e estabilidade da estrutura (ABNT, 2017) (ABNT, 2023).

Por fim, a ABNT NBR 9062:2017 estabelece que o projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado deve atender todas as fases de associação, sendo estas: o transporte, manuseio e montagem de elementos, sendo que, uma obra que aplica o pré-moldado é dada como finalizada a partir do momento em que é feita a junção das peças, e conseqüentemente da estrutura como um todo. Ademais, tem-se que os pré-moldados apresentam coeficientes de 1,4 (γ_c) para o concreto e 1,15 (γ_s) para o aço (ABNT, 2017).

4.3 CONCRETO PROTENDIDO

A protensão é o processo pelo qual fios ou cordoalhas de aço especial são estirados, com as extremidades presas em blocos, então, há a concretagem do elemento pré-moldado, e assim, após o ganho de resistência do concreto as fôrmas são retiradas e os fios ou cordoalhas de aço especial são liberados, aderindo ao concreto apenas por atrito (Veríssimo; César Junior, 1998).

A aplicação da pré-tensão proporciona algumas vantagens, as quais destacam-se: que a ao dispor a pré-tensão em peças fletidas, há a compressão da seção da peça, o que faz com que haja um melhor aproveitamento da capacidade resistente do elemento de concreto armado, o que associado a possuir um f_{ck} elevado, faz com

que se produza peças mais esbeltas, mais leves e com capacidade de vencer grandes vãos (Veríssimo; César Junior, 1998).

Ademais, outro ponto positivo com relação a protensão refere-se ao fato de que um concreto com f_{ck} alto permite que a aplicação da pré-tensão ocorra de forma mais rápida, o que possibilita a fabricação de mais peças de concreto protendido (Veríssimo; César Junior, 1998). Além disso, vale-se destacar que a correlação entre a força de protensão e um concreto com f_{ck} elevado acarretam menos fissuração, devido proporcionar menor retração e deformação (Veríssimo; César Junior, 1998).

Já no que toca as desvantagens do concreto protendido pode-se citar a necessidade de um maior controle tecnológico e de execução do elemento de concreto, além de que, aplica-se aços de alta resistência (sem patamar de escoamento), os quais delimitam de um maior controle quanto ao armazenamento para evitar a ocorrência da corrosão, a qual pode ocasionar picos de tensão em aços tensionados devido a formação de mossas, a qual são pequenas depressões nos fios ou cordoalhas de aço (Veríssimo; César Junior, 1998).

Além disso, outro ponto negativo é em relação a disposição dos cabos de protensão, os quais necessitam estar posicionados no local exato ao projetado, visto que, uma colocação incorreta pode ocasionar esforços não previstos, o que por consequência acarretam comportamento inadequado na peça e até mesmo a ruptura (Veríssimo; César Junior, 1998).

4.4 LAJE EM CONCRETO PROTENDIDO

A aplicação do concreto protendido em lajes está se tornando mais frequente à medida que a sociedade se desenvolve em busca de um futuro mais eficiente, econômico, seguro e que racional. Assim, empregam-se lajes em piso de concreto pré-moldado, as quais podem ser compostas por vigotas pré-moldadas, painéis alveolares e duplo tê, sendo estes dois últimos o objeto de estudo (Van Acker, 2002).

4.4.1 Laje alveolar

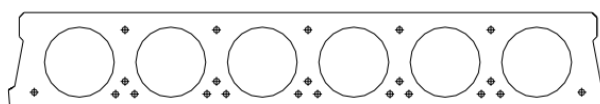
De acordo com El Debs (2017), os painéis alveolares surgiram na Alemanha, o que fez com que a Europa Ocidental e a América do Norte empregassem-no em maior escala. Essa utilização deu-se justamente no período após a Segunda Guerra Mundial, onde houve-se a necessidade de reconstruir cidades de forma mais rápida.

Já no Brasil, a aplicação de painéis alveolares deu-se a partir da década de 50, sendo empregada maiormente após a década de 80 (Urbinatti, 2018, apud Costa, 2009).

Os painéis alveolares dispõem de vazios longitudinais denominados de alvéolos, os quais possibilitam a redução do peso próprio, visto que o volume de vazios varia de 30% a 50% (relação entre o volume de vazios e volume total de uma peça maciça de mesma espessura), o que permite que os mesmos possam ser aplicados em locais com a necessidade de se vencer grandes vãos, como edifícios garagem (Van Acker, 2002). Além disso, com relação aplicação desses painéis em lajes, tem-se que este pode ser empregado em conjunto com o concreto armado ou com o concreto protendido, sendo que este último apresenta maior vantagem quanto a abrangência de grandes vãos (Van Acker, 2002).

De acordo com Petrucelli (2009), os esforços aplicados nas lajes alveolares são resistidos pela armação do aço protendido disposto paralelo aos alvéolos, no sentido longitudinal da peça, e pelo concreto no sentido transversal, o qual possibilita resistir à tração, visto que não há disposição da armadura nesta seção. A seguir está a Figura 5 com o exemplo de uma seção transversal de um painel alveolar.

Figura 5 - Seção transversal de um painel alveolar



Fonte - Petrucelli, 2009.

Ademais, segundo El Debs (2017) os painéis alveolares apresentam algumas características, das quais pode-se citar que: vencem um vão máximo de 20 m, sendo maiormente utilizado no Brasil para vãos entre 6 e 12m; possui uma altura entre 120 e 500 mm; largura entre 600 e 2400 mm, sendo a mais usual a de 1200 mm; e um peso por unidade de área variando entre 2,2 e 5,2 kN/m². Além desses aspectos, há-se que se pode dispor sobre a laje alveolar uma capa de concreto com aproximadamente 0,05 m de espessura, a qual assegura o nivelamento da superfície, proporcionando um melhor acabamento e possibilitando absorção dos efeitos ocasionados pelo vento na edificação (Petrucelli, 2009).

4.4.1.1 Processo de produção de lajes alveolares

Segundo Petrucelli (2009), a fabricação de lajes alveolares decorre de um processo linear, no qual o produto é feito de forma contínua, sendo que, suas dimensões, grau de protensão, tipos de cordoalhas, são definidas no projeto, o qual também delimita o gabarito de corte durante a concretagem da peça, então, após a cura do concreto o elemento é cortado e armazenado em local pré-determinado até ser transportado até a obra.

Ademais, quanto ao processo de produção de lajes alveolares, este pode ocorrer por meio do processo de extrusão ou então deslizamento de fôrmas, sendo que, em ambos os casos há primeiramente a preparação da pista, a qual pode chegar até 150 m de comprimento e na qual há a realização de limpeza e aplicação de desmoldante nas fôrmas metálicas, seja este espalhado com pulverizador, rodos de espuma ou enceradeiras (Petrucelli, 2009) (Urbinatti, 2018). Além disso, vale ressaltar que o desmoldante deve permitir que a face inferior do painel esteja lisa ao desenformá-la, para que a mesma possa ser empregada sem a necessidade de se dispor forros (Petrucelli, 2009) (Urbinatti, 2018).

Em seguida, posiciona-se os fios de protensão na pista, fixando as extremidades através de cunhas, sendo uma delas denominada de “cunhas passivas” e outra de “cunhas ativas”, a qual aplica a protensão (Petrucelli, 2009). Ademais, é válido destacar que a protensão precisa ser aplicada em todas as cordoalhas de uma vez só, para que não ocorra deformações na cabeceira da pista, o que acarretaria uma diferença de alongamento dentre um fio e outro (Petrucelli, 2009).

Logo após, concreta-se a laje alveolar, sendo que, no sistema de extrusão o concreto apresenta um baixo *slump test*, sendo o mesmo lançado em uma única camada pela máquina produtora (Petrucelli, 2009). Já no que tange ao processo de deslizamento de fôrmas, este ocorre através da máquina produtora, a qual aplica o concreto em mais de uma camada, e então, o mesmo é compactado com o auxílio de vibradores (Petrucelli, 2009) (Urbinatti, 2018).

Além disso, é necessário ressaltar que no processo de extrusão a relação água/cimento varia de 0,30 a 0,40, o que permite que o concreto atinja uma resistência a compressão entre 50 MPa e 75 MPa, a qual é considerada alta, e uma resistência a tração entre 4 MPa e 7 Mpa (Petrucelli, 2009). Já, no que toca ao sistema de deslizamento de fôrmas, este utiliza uma associação água/cimento mais elevada, o que faz com que a resistência a compressão do concreto seja menor, entretanto

proporciona maior aderência entre a capa estrutural e a laje (Petrucci, 2009) (Urbinatti, 2018).

Então, após a concretagem delimita-se as áreas de corte e espera-se a ocorrência da cura do concreto, a qual pode ser simples (uso de lona plástica), térmica ou a vapor (Petrucci, 2009). Assim, após essas etapas é feita a liberação da protensão desde que o concreto tenha atingido a resistência necessária de projeto, então, em seguida são realizados os cortes dos elementos (Petrucci, 2009). Em seguida, é feito o içamento da peça e disposição da mesma na área de armazenagem como auxílio de calços, sendo respeitado as normativas quanto a quantidade máxima de lajes empilhadas (Petrucci, 2009).

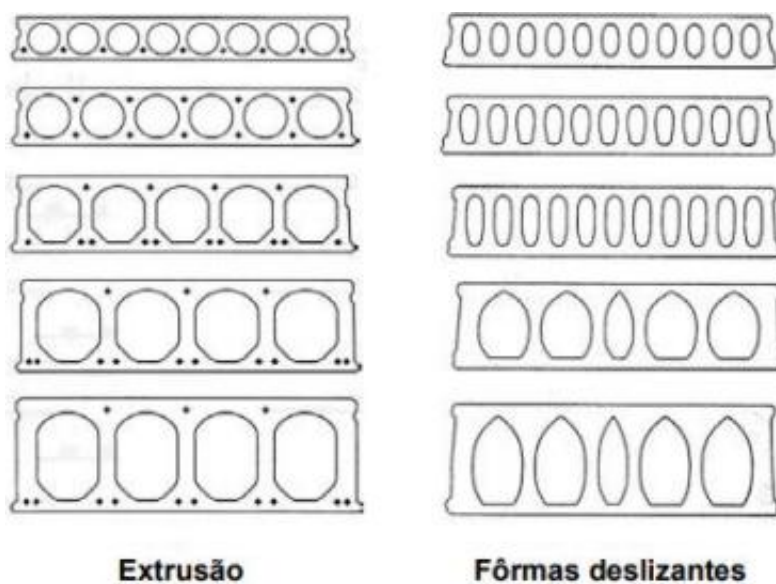
Após isso, caso preciso são executados *shafts* e furos nas lajes alveolares para permitir a passagem de dutos elétricos e hidráulicos, sendo que, os mesmos apresentam limitações de dimensão e quantidade em razão do tamanho dos alvéolos (Petrucci, 2009) (Melo, 2004). Desta forma, tem-se que na seção transversal é recomendável dispor da menor quantidade possível de furos, e que o seu limite depende da quantidade de alvéolos, entretanto, o mesmo é limitado em 2 furos por seção. Além disso, em relação a seção longitudinal, há-se a disposição a cada 120 cm de uma linha de furos (Petrucci, 2009) (Melo, 2004).

No que tange aos *shafts*, este deve possuir a largura de um painel, podendo ter o comprimento variável (Petrucci, 2009) (Melo, 2004). Além disso, é necessário que essa abertura ocupe apenas um elemento, sendo alternado a cada duas lajes, a fim de que um único painel alveolar não sustente dois suportes metálicos (Petrucci, 2009) (Melo, 2004).

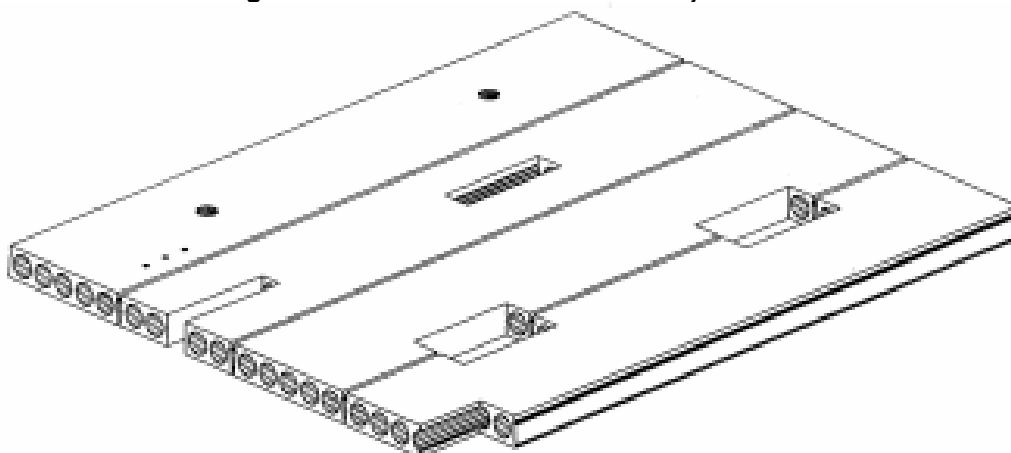
Então, para finalizar esse processo são realizados acabamentos nas peças principalmente nas áreas de recortes de pilares, e então é feito o transporte da mesma até a obra. A seguir estão as Figuras 6, 7 e 8 de uma laje alveolar, de diferentes seções de lajes alveolares por extrusão e por fôrma deslizante, e de aberturas nos elementos de laje alveolar.

Figura 6 - Laje alveolar

Fonte - Magalhães, 2022.

Figura 7 - Seções de laje alveolar por extrusão e por fôrma deslizante

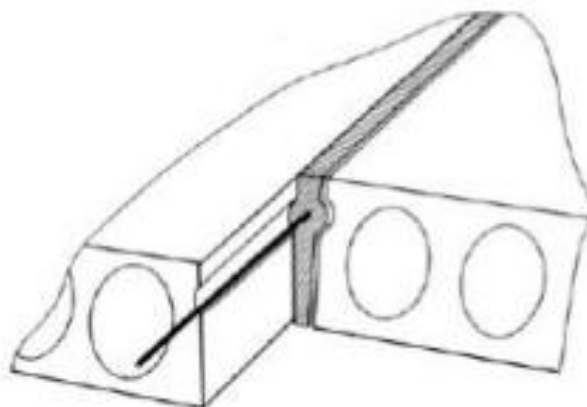
Fonte - Costa, 2009.

Figura 8 - Abertura em elementos de laje alveolar

Fonte - Van Acker, 2002.

Além disso, vale destacar que as ligações entre os painéis alveolares se dão por meio de juntas longitudinais, as quais compõem uma chave de cisalhamento ao serem preenchidas e armadas, o que acarreta a constituição de um diafragma (Urbinatti, 2018). Ademais, esses painéis também podem ser associados pela seção transversal desde que se coloque armadura passiva nos alvéolos e preencha-os (Urbinatti, 2018). A seguir está a Figura 9 demonstrando a ligação entre esses painéis.

Figura 9 - Junta longitudinal entre painéis alveolares



Fonte - Petrucelli, 2009.

4.4.1.2 Vantagens e desvantagens

Dentre as vantagens apresentadas pela aplicação de lajes alveolares pode-se citar: o menor peso próprio, principalmente devido a disposição de alvéolos, a não necessidade de se utilizar formas e escoras (estrutura autoportante), superfície inferior bem-acabada, além de proporcionar um bom isolamento térmico e acústico, menor custo de produção, possibilidade de se atingir grandes vãos, economia de mão-de-obra para a execução (Petrucelli, 2009) (Tatu Pré-Moldados).

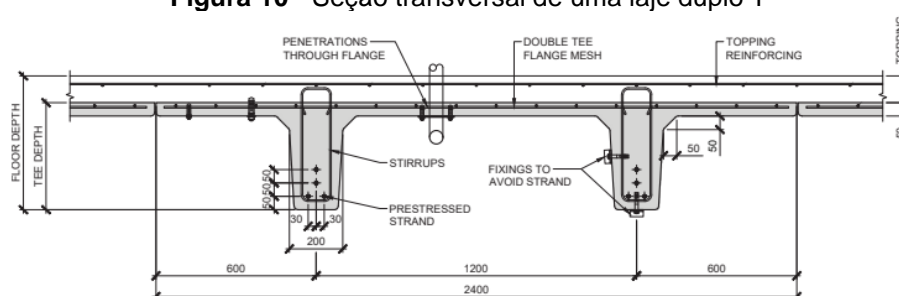
Já com relação as desvantagens devido a utilização de lajes alveolares têm-se: é um material que não se comporta bem em contato com o fogo, a resistência a flexão é limitada, dispõe de baixa flexibilidade arquitetônica (Petrucelli, 2009).

4.4.2 Laje duplo tê ou tipo pi

O desenvolvimento de painéis duplo tê deu-se a partir de 1950 por meio de duas vertentes, sendo uma criada por Harry Edwards e Paul Zia, na Flórida (EUA), e outra por “*Prestressed Concrete*” no Colorado (EUA). Assim, as primeiras edificações que utilizaram lajes constituídas de painéis duplo tê foram edifícios garagem

(Accelerator, 2023). A sua denominação deve-se a justamente a sua forma, a qual é a junção de duas letras “T” maiúsculas ou então a letra grega “pi”. Assim, a seção é composta pela alma (parte vertical da estrutura), e pela mesa (seção horizontal) (Urbiniatti, 2018). A seguir está Figura 10 com a seção de um painel duplo tê.

Figura 10 - Seção transversal de uma laje duplo T



Fonte – Adaptado de Concreto de Engenharia Avançada, 2023.

De acordo com El Debs (2017), os painéis duplos tê, TT ou pi abrangem um vão de aproximadamente 30 m, sendo que, sua altura varia entre 200 e 800 mm, sua largura é de 2400 mm e o seu peso próprio por unidade de área entre 2,0 e 5,0 kN/m² (Prestressed Concrete Institute, 2015) (Carvalho, 2017) (Sousa, 2014). Além disso, os painéis dispõem um menor peso próprio, de alta inércia devido à disposição das nervuras, possibilita a aplicação de diferentes escalas de protensão, e também são conjecturados como vigas em lajes acopladas (Prestressed Concrete Institute, 2015) (Carvalho, 2017) (Sousa, 2014).

Ademais, segundo Hanson e Gurley (2014), os painéis pi ou duplo tê também aplicam o sistema de pré-tração, o qual aplica a protensão em fios ou cordoalhas de aço, o que por consequência permite o vencimento de grandes vãos, o que auxilia no quesito de gerar uma maior quantidade de vagas de estacionamento no caso de edifícios garagem. Além disso, de acordo com Hanson e Gurley (2014) após a execução de painéis duplo tê é realizado uma capa de concreto, a qual contém armadura passiva de reforço, a qual promove a resistência aos esforços de tração, auxiliando também quanto à fissuração e a flexão de cargas fora do plano do elemento.

4.4.2.1 Processo de produção de lajes duplo T

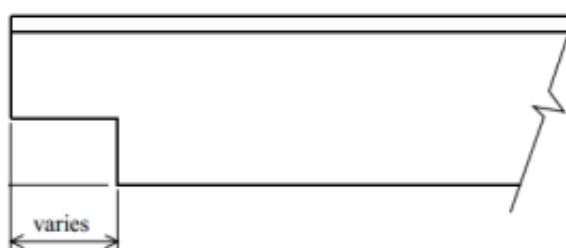
O processo de produção de lajes de painéis pi ou duplo tê é semelhante ao de lajes de painéis alveolares em relação a utilizar-se pistas de protensão longas, as quais segundo Hanson e Gurley (2014) pode dispor de 60 a 150 m de comprimento. Além disso, esses painéis aplicam o sistema de pré-tração, no qual após o concreto atingir a resistência determinada pelo projeto, os fios ou cordoalhas de aço são soltos fazendo com que o elemento obtenha uma contraflecha, ao aderir-se a armadura com o concreto (Hanson; Gurley, 2014). Além do mais, é necessário ressaltar que a fabricação de painéis duplo tê possui maiores obstáculos principalmente devido a geometria da peça, a qual exige um sistema de formas mais preciso (Hanson; Gurley, 2014). A seguir está a Figura 11 apresentando uma obra com lajes de painéis π .

Figura 11 - Obra com aplicação de painéis duplos tê



Fonte – Adaptado de Concreto de Engenharia Avançada, 2023.

Além disso, no que tange ao painel duplo tê geralmente este é disposto como biapoiado, sendo que, as ligações entre esses painéis dão-se de diversas formas como por exemplo por meio de juntas de grauteadas, conectores mecânicos, capa reforçada, chaves de cisalhamento, ligações de aço, aplicação de “dentes” no painel, sendo que este possibilita o apoio na viga a partir de um comprimento mínimo necessário (Khare, 2011, p.272-284 apud Urbinatti, 2018, p. 33). A seguir está a Figura 12 com a visualização desse dente.

Figura 12 - Dente de painéis duplos tê

Fonte - Gold, 2000, p.1-9 apud Urbinatti, 2018, p. 33

Além do mais, é preciso ressaltar que a mesa da seção precisa atender ao Estado Limite de Serviço (ELS) e ao Estado Limite Último (ELU) (Silva, 2018) (Ultimate Engineered Concrete, 2023).

4.4.2.2 Vantagens e Desvantagens

As vantagens da utilização de lajes com painéis duplos tê, tem-se as relacionadas a racionalização construtiva e industrialização já citadas anteriormente em associação as lajes com painéis alveolares (Hanson; Gurley, 2014). Assim, além desses pontos positivos pode-se citar a flexibilização do espaço devido a modulação, diminuição da quantidade de pilares, em função de um maior vencimento de um vão, bom desempenho acústico, possibilidade de abertura para a passagem de dutos elétricos e hidráulicos, menor custo inicial de projeto, fabricação rápida dos elementos e baixos custos de manutenção com os mesmos (Hanson; Gurley, 2014).

Com relação as desvantagens, há-se o acabamento na parte inferior do elemento, o qual pode necessitar da aplicação de forros (Urbinatti, 2018). Além disso, principalmente em comparação com a utilização de lajes alveolares o painel pi não é tão empregado (Urbinatti, 2018).

4.5 LEVANTAMENTO DE AÇÕES VERTICAIS

De acordo com a ABNT NBR 6120:2019, as ações verticais são especificadas em ações permanentes e ações variáveis. As cargas permanentes são ações que dispõe de um valor aproximadamente constante, como o peso próprio de elementos estruturais (lajes, vigas, pilares), além de revestimentos (ABNT, 2019). Já no que toca as ações variáveis, estas possuem valores inconstantes, como as decorrentes do uso da edificação, da presença de pessoas, veículos (ABNT, 2019). Entretanto, a ABNT

NBR 6120:2019 estabelece valores mínimos uniformemente distribuídos a serem considerados para cada carga variável considerada.

4.6 LEVANTAMENTO DE AÇÕES HORIZONTAIS

Segundo Santos (2015) as ações horizontais são provenientes do vento e do desaprumo.

4.6.1 Ação do vento nas edificações

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, esta estabelece os esforços provenientes da ação do vento nas edificações.

4.6.1.1 Determinação da velocidade característica do vento

A velocidade característica do vento é determinada pela Equação 1, a qual associa a velocidade básica do vento, o fator topográfico, o fator de rugosidade do terreno e o fator de estatístico (ABNT, 2023).

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (1)$$

Onde:

V_k – Velocidade característica do vento (m/s);

V_0 – Velocidade básica do vento (m/s);

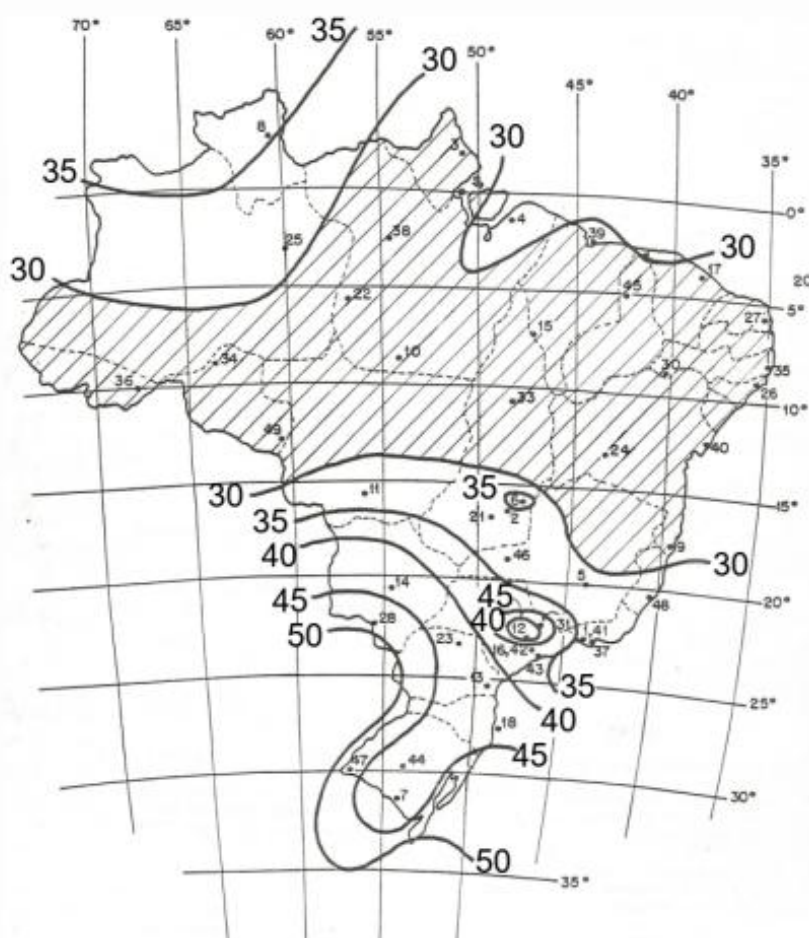
S_1 – Fator topográfico;

S_2 – Fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação;

S_3 – Fator estatístico.

Desta forma, a velocidade básica do vento (V_0) é obtida a partir da consulta ao mapa de isopletas, o qual delimita a velocidade básica do vento para cada região/localidade do Brasil (ABNT, 2023). Ademais, é válido destacar que o mapa de isopletas é construído considerando: uma altura de 10 m, um terreno plano de campo aberto (baixa turbulência), uma velocidade máxima média para uma rajada de 3 segundos e com a probabilidade ser excedida de pelo menos uma vez dentro de 50 anos (ABNT, 2023). A seguir está Figura 13 com o mapa de isopletas.

Figura 13 - Mapa de isopletas



Fonte - ABNT, 2023.

Sobre o fator topográfico (S_1), este refere-se as variações de topografia do terreno, sendo assim, para terrenos planos ou levemente acidentados o fator topográfico $S_1 = 1,00$. Já para talude e morros, o fator topográfico é de 1,00 caso o edifício esteja situado no ponto A ou C para taludes e no ponto A para morros, entretanto, caso esteja localizado no ponto B, é necessário interpolar linearmente para $3^\circ < \theta_t < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta_t < 45^\circ$. Assim, no ponto B aplica-se as Equações 2, 3 e 4.

$$\theta_t \leq 3^\circ \rightarrow S_1 = 1,00 \quad (2)$$

$$6^\circ \leq \theta_t \leq 17^\circ \rightarrow S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d_t}\right) * \text{tg}(\theta_t - 3^\circ) \geq 1 \quad (3)$$

$$\theta_t \geq 45^\circ \rightarrow S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d_t}\right) * 0,31 \geq 1 \quad (4)$$

Onde:

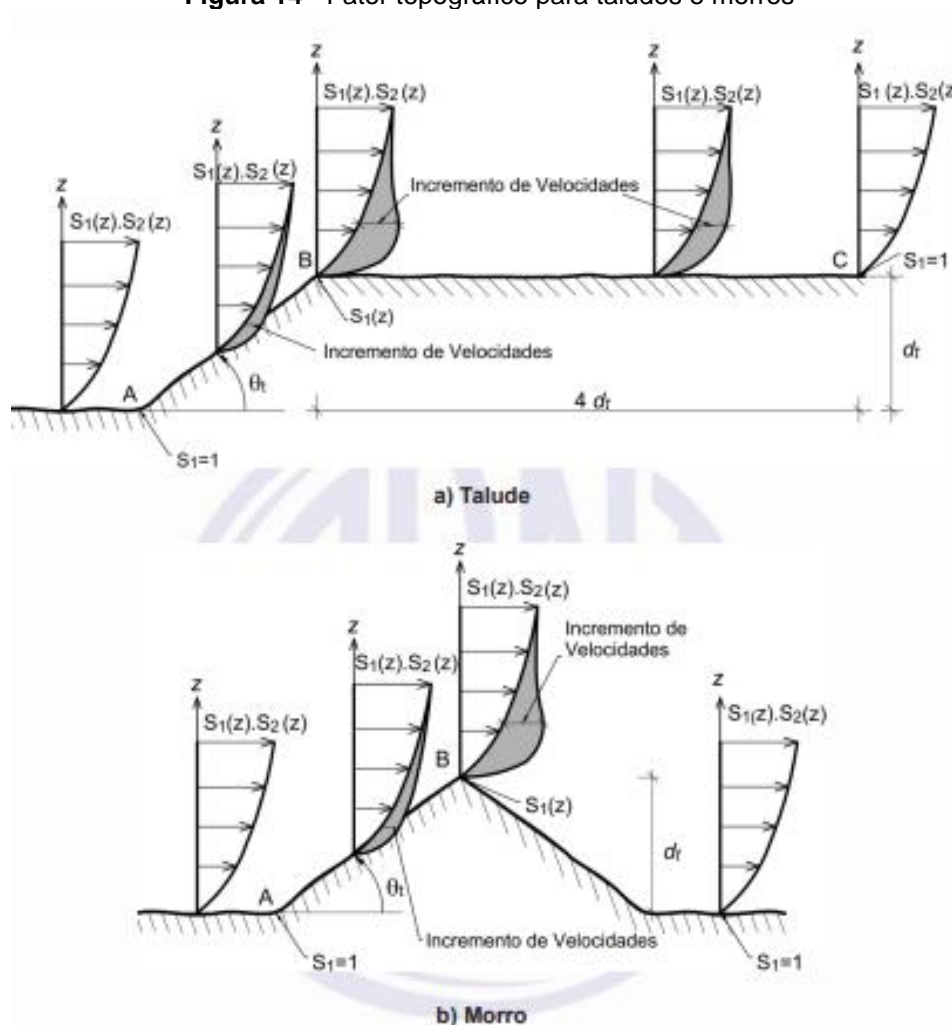
z – é a altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado;

d_t – é a diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro;

θ_t – é a inclinação média do talude ou encosta do morro.

Ademais, para vales profundo o fator topográfico é de 0,90. Na Figura 14 está disposta a visualização da encosta e muro para o cálculo desse fator no ponto B.

Figura 14 - Fator topográfico para taludes e morros



Fonte - ABNT, 2023.

No que se refere ao fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação (S_2), este combina a variação do vento perante o terreno e as dimensões das edificações (ABNT, 2023). Deste modo, a ABNT NBR 6123:2023 classifica cinco categorias relacionadas a rugosidade do terreno, sendo estas:

- **Categoria I:** superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção do vento incidente;
- **Categoria II:** terrenos abertos, em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é \leq a 1,0 m;
- **Categoria III:** terrenos planos ou ondulados com obstáculos, como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada de 3,0 m;
- **Categoria IV:** terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10,0 m;
- **Categoria V:** terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e poucos espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada \geq 25,0 m.

Já no que toca às dimensões das edificações, de acordo com a ABNT NBR 6123:2023 estas podem ser classificadas em três classes, para intervalos de tempo no cálculo da velocidade média de 3s, 5s e 10s. A seguir estão apresentadas essas classes.

- **Classe A:** toda edificação, estrutura, parte de edificação ou de estrutura, unidades e sistemas de vedação e seus elementos de fixação, cuja maior dimensão vertical ou horizontal não exceda 20 m;
- **Classe B:** toda edificação, estrutura, ou parte de edificação e estrutura, cuja maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal seja maior do que 20 m e menor ou igual a 50 m;
- **Classe C:** toda edificação, estrutura ou parte de edificação e estrutura, cuja maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Assim, a partir dessas informações e a consulta às Tabelas 1 e 2, é possível calcular o fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação, ao aplicar a Equação 5.

$$S_2 = b_m * F_r * \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (5)$$

Onde:

S_2 – é o fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação;

b_m e p – são fatores meteorológicos;

F_r – é o fator de rajada, o qual sempre corresponde à Categoria II;

z – é a altura da edificação.

Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos

Categoria	Zg (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	bm	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	bm	1,00	1,00	1,00
		p	0,09	0,09	0,10
III	350	bm	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	bm	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	bm	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte - ABNT, 2023.

Tabela 2 - Fator de rajada

Fr	Classes		
	A	B	C
	1,00	0,98	0,95

Fonte - ABNT, 2023.

Ademais, o fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação também pode ser obtido ao consultar a Tabela 3.

Tabela 3 - Fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,07	1,04	1,02	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,25	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,30	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,31	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,33	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300				1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350							1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400										1,34	1,32	1,31	1,29	1,29	1,29
420										1,35	1,33	1,32	1,30	1,30	1,30
450													1,31	1,32	1,31
500													1,33	1,34	1,34

Fonte - ABNT, 2023.

Já no que tange ao fator estatístico S_3 considera o grau de segurança necessário e a vida útil da edificação. Assim, S_3 é obtido ao consultar a Tabela 4, na qual T_p é o tempo de recorrência médio.

Tabela 4 - Valores mínimos do fator estatístico

Grupo	Descrição	S3	Tp (anos)
1	Estruturas cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, edifícios de centrais de controle, etc).	1,11	100
	Pontes rodoviárias e ferroviárias.		
	Estruturas que abrigam substâncias inflamáveis, tóxicas e/ou explosivas.		
	Vedações das edificações do grupo 1 (telhas, vidros, painéis de vedação).		
2	Estruturas cuja ruína represente substancial risco à vida humana, particularmente a pessoas em aglomerações, crianças e jovens, incluindo, mas não limitado a:	1,06	75
	edificações com capacidade de aglomerações de mais de 300 pessoas em um mesmo ambiente, como centros de convenções, ginásios, estádios, etc;		
	creches com capacidade maior do que 150 pessoas;		
	escolas com capacidade maior do que 200 pessoas;		
	Vedações das edificações do grupo 2 (telhas, vidros, painéis de vedação).		
3	Edificações para residências, hotéis, comércio, indústrias.	1,00	50
	Estruturas ou elementos estruturais desmontáveis com vistas a reutilização.		
	Vedações das edificações do grupo 3 (telhas, vidros, painéis de vedação).		
4	Edificações não destinadas à ocupação humana (depósitos, silos) e sem circulação de pessoas no entorno.	0,95	37
	Vedações das edificações do grupo 4 (telhas, vidros, painéis de vedação).		
5	Edificações temporárias não reutilizáveis.	0,83	15
	Estruturas dos Grupos 1 a 4 durante a construção (fator aplicável em um prazo máximo de 2 anos).		
	Vedações das edificações do grupo 5 (telhas, vidros, painéis de vedação).		

Fonte - ABNT, 2023.

4.6.1.2 Força de arrasto e coeficiente de arrasto

De acordo com a ABNT NBR 6123:2023, a força de arrasto corresponde a componente de direção do vento da força global, sendo expressa pela Equação 6.

$$F_a = q * C_a * A_e * f_v \quad (6)$$

Onde:

F_a – é a força de arrasto;

q – é a pressão dinâmica do vento;

C_a – é o coeficiente de arrasto;

A_e – é a área frontal efetiva, ou seja, a área correspondente de projeção ortogonal da edificação, estrutura, elemento estrutural ou componente sobre um plano perpendicular à direção do vento (“área de sombra”);

f_v – é o fator de vizinhança.

Ademais, é válido destacar que a pressão dinâmica do vento é dada pela Equação 7 (ABNT, 2023).

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (7)$$

Onde:

q – é a pressão dinâmica do vento (N/m²);

V_k – é a velocidade característica do vento (m/s).

Além disso, de acordo com a ABNT NBR 6123:2023 o coeficiente de arrasto aplicado em edificações retangulares considera a ação de vento de alta e baixa turbulência. Deste modo, os ventos de baixa turbulência são caracterizados por ocorrerem em locais onde não há obstrução da passagem do vento, como em campos abertos (ABNT, 2023). Na Figura 15 está apresentada o gráfico utilizado para a obtenção do coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência (ABNT, 2023).

Já no que se refere ao vento de alta turbulência, este acontece em locais onde há obstrução da passagem do vento, como devido a presença de edificações (ABNT, 2023). Assim, a ABNT NBR 6123:2023 estabelece que para edificações com até 80 m de altura, a mesma é considerada com vento de alta turbulência caso:

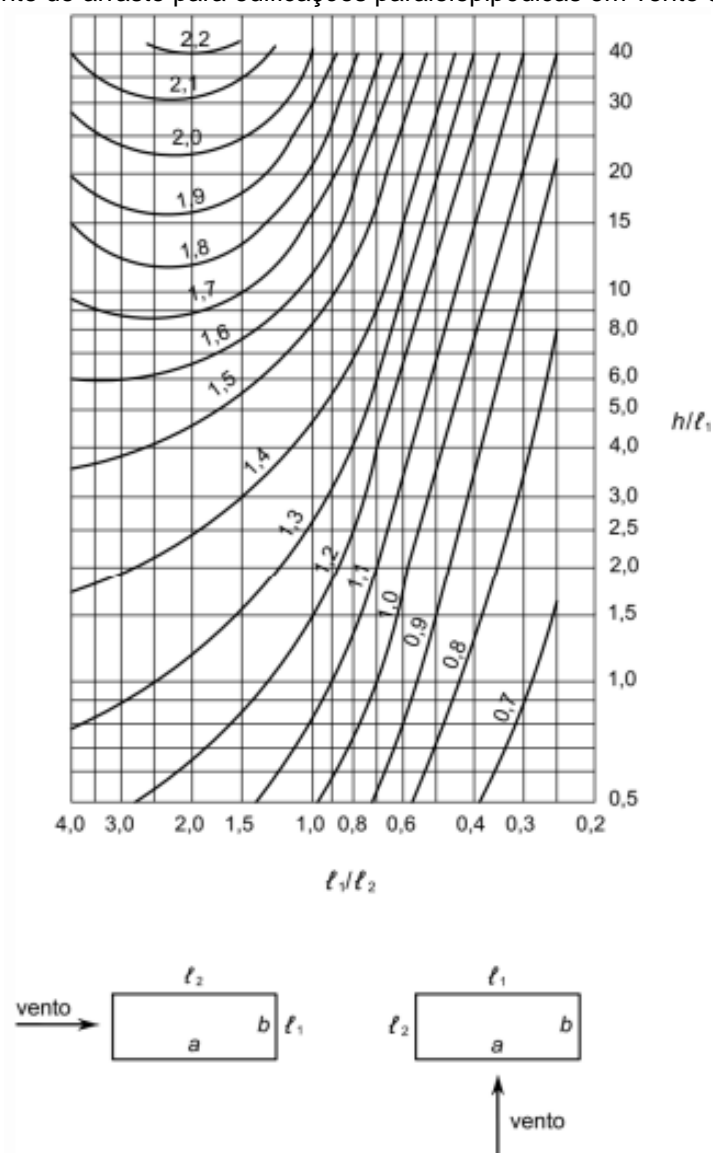
a) sua relação profundidade/largura for maior do que 1/3;

b) sua altura não excede duas vezes a altura média das edificações nas vizinhanças, estendendo-se estas a barlavento (na direção e sentido do vento incidente), a uma distância mínima de:

- 500 m para uma edificação de até 40 m de altura;
- 1 000 m para uma edificação de até 55 m de altura;
- 2 000 m para uma edificação de até 70 m de altura;
- 3 000 m para uma edificação de até 80 m de altura.

Assim, na Figura 16 está apresentada o gráfico do coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência.

Figura 15 - Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência.



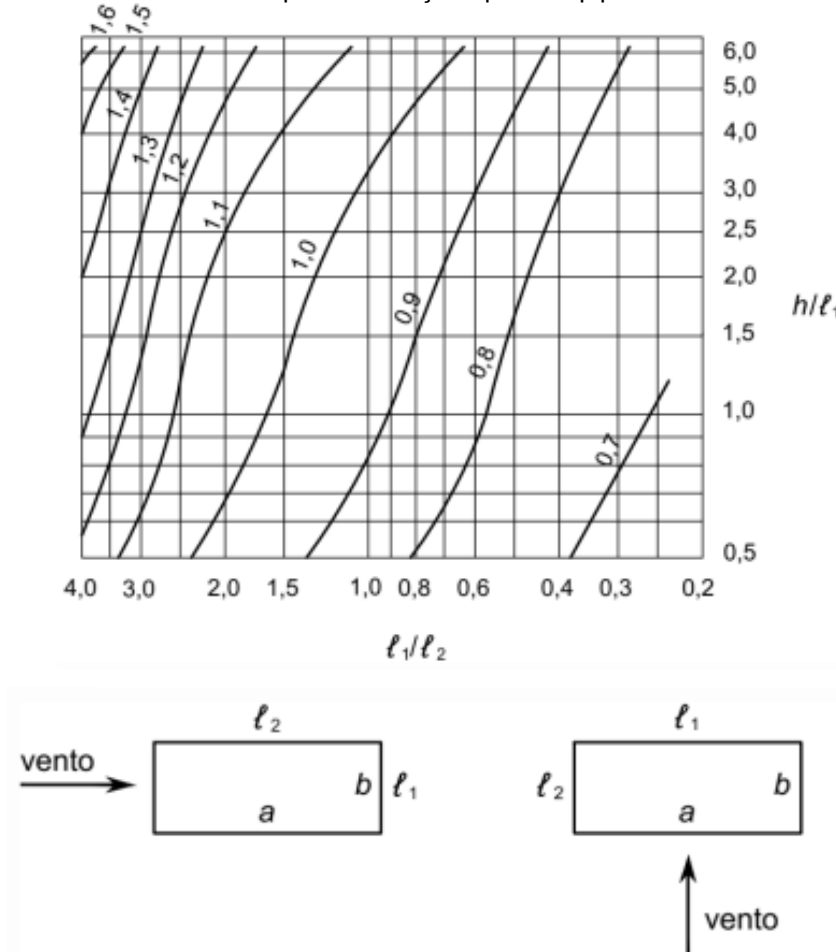
Fonte - ABNT, 2023.

Onde:

h - é a altura da edificação acima do terreno, medida até o topo da platibanda ou nível do beiral;

l_1 – é a largura da edificação (direção perpendicular a incidência do vento);
 l_2 – é a profundidade da edificação (mesma direção do vento).

Figura 16 - Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência.



Fonte - ABNT, 2023.

Onde:

h - é a altura da edificação acima do terreno, medida até o topo da platibanda ou nível do beiral;

l_1 – é a largura da edificação (direção perpendicular a incidência do vento);

l_2 – é a profundidade da edificação (mesma direção do vento).

Além disso, tem-se o fator de vizinhança (f_v), o qual analisa a influência de outras edificações sobre o vento (ABNT, 2023). Assim, o fator de vizinhança pode ser calculado pela Equação 8.

$$f_v = \frac{C \text{ na edificação com vizinhança}}{C \text{ na edificação isolada}} \quad (8)$$

Onde:

C – é o coeficiente aerodinâmico de estudo ($C_e, C_{pe \text{ médio}}, C_a$).

Assim, para $C_e, C_{pe \text{ médio}}$ e C_a em paredes confrontantes (faces paralelas ao vento), o valor do fator de vizinhança é dado pelas Equações 9 e 10.

$$\frac{s}{d^*} \leq 1,0 \rightarrow f_v = 1,30 \quad (9)$$

$$\frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow f_v = 1,00 \quad (10)$$

s – é o afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo $a \times b$ as dimensões em planta das edificações;

d^* - é a menor valor entre o lado menor b e a semidiagonal $\frac{1}{2} * \sqrt{a^2 + b^2}$.

Já, para o coeficiente de forma, C_e , e para o valor médio do coeficiente de pressão, $C_{pe \text{ médio}}$, na cobertura aplica-se as Equações 11 e 12.

$$\frac{s}{d^*} \leq 0,5 \rightarrow f_v = 1,30 \quad (11)$$

$$\frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow f_v = 1,00 \quad (12)$$

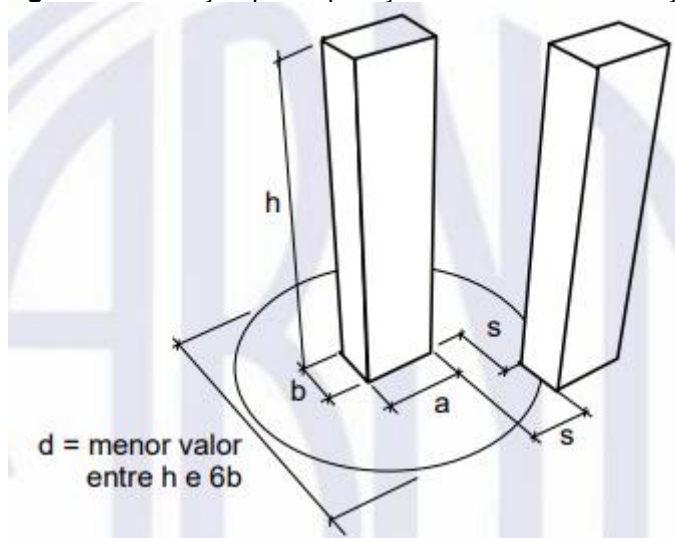
Onde:

s – é o afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo $a \times b$ as dimensões em planta das edificações;

d^* - é a menor valor entre o lado menor b e a semidiagonal $\frac{1}{2} * \sqrt{a^2 + b^2}$.

Assim, para a visualização do fator de vizinhança, tem-se a Figura 17 (ABNT, 2023). Ademais, é válido destacar que para valores intermediários é necessário realizar a interpolação (ABNT, 2023).

Figura 17 - Notação para aplicação do fator de vizinhança



Fonte - ABNT, 2023.

Além do que foi citado acima, a ABNT NBR 6123:2023 diz para considerar a excentricidade decorrente da aplicação da força de arrasto. Assim, as mesmas são divididas em relação a edificações sem efeitos de vizinhança e com efeito de vizinhança, expressas nas Equações 13, 14, 15 e 16.

- Edificações sem efeitos de vizinhança:

$$e_a = 0,075 * a \quad (13)$$

$$e_b = 0,075 * b \quad (14)$$

- Edificações com efeitos de vizinhança;

$$e_a = 0,15 * a \quad (15)$$

$$e_b = 0,15 * b \quad (16)$$

Onde:

e_a - é medido na direção da maior dimensão em planta da edificação, a ;
 e_b - é medido na direção da menor dimensão em planta da edificação, b .

4.6.2 Ações devidas às imperfeições geométricas globais

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, na análise global das estruturas é necessário verificar o desaprumo dos elementos verticais devido a presença de imperfeições geométricas globais. Deste modo, a ABNT NBR 6118:2023 delimita que o desaprumo é dado por θ_a , o qual é calculado pelas Equações 17 e 18, sendo que a Figura 18 mostra a presença do desaprumo.

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} \quad (17)$$

Onde:

$\theta_{1 \text{ mín}}$ – é 1/300 para estruturas reticuladas e imperfeições locais;

$\theta_{1 \text{ máx}}$ – é 1/200;

H – é altura total da edificação, em metros (m).

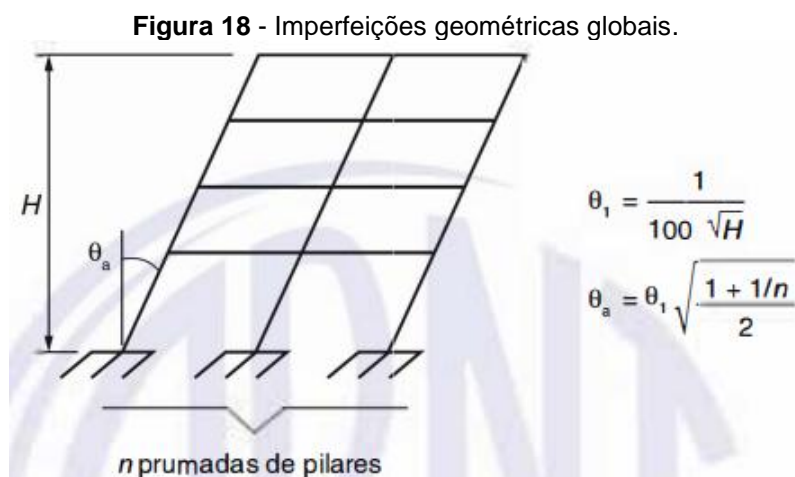
$$\theta_a = \theta_1 * \sqrt{\frac{1+1/n}{2}} \quad (18)$$

Onde:

$\theta_{1 \text{ mín}}$ – é 1/300 para estruturas reticuladas e imperfeições locais;

$\theta_{1 \text{ máx}}$ – é 1/200;

n – é o número de pilares que contribuem para o efeito do desaprumo global e associados à altura H adotada.



Fonte - ABNT, 2023.

Para lajes lisas ou cogumelos, $\theta_a = \theta_1$ (ABNT, 2023). Além disso, a ABNT NBR 6118:2023 destaca que quando o vento for inferior a 30% da ação do desaprumo, então, considera-se somente a ação do desaprumo desde que se respeite a consideração de $\theta_{1\text{mín}}$. Já quando 30% da ação do vento for superior a do desaprumo, então, considera-se somente a ação do vento (ABNT, 2023). Assim, para os demais casos, é preciso combinar a ação do vento e a do desaprumo, a partir do estabelecimento de uma resultante que atua na mesma direção e sentido de uma ação do vento (ABNT, 2023).

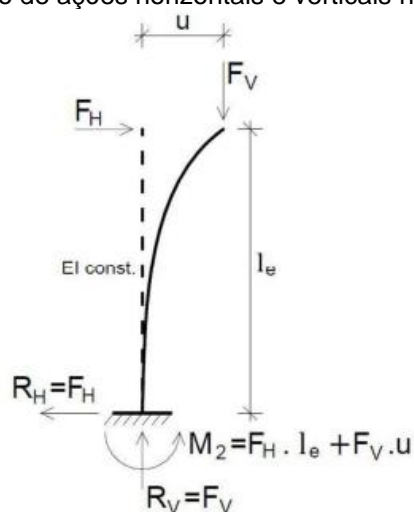
4.7 ESTABILIDADE GLOBAL

A estabilidade global engloba as ações gravitacionais e as ações laterais ocasionadas primordialmente pela ação do vento, as quais podem causar instabilidades nos edifícios (Santos, 2015). Assim, Carvalho e Pinheiro destacam a necessidade de se considerar a ação do vento nos edifícios, mesmo que se possa desprezar o efeito de 2ª ordem global devido apresentarem suficiente rigidez, a qual é obtida pelo cálculo do gama z (γ_z).

Ademais, segundo Carvalho e Pinheiro os efeitos de 1ª ordem referem-se aos esforços iniciais calculados na estrutura, enquanto o efeito de 2ª ordem considera-se a ocorrência de deformação da estrutura. Essa deformação acarreta uma não-linearidade entre as ações e as deformações, denominadas de não linearidade geométrica (Santos, 2015). Além disso, é válido destacar que a fluência do concreto também acarreta o efeito de 2ª ordem, as quais são designadas de não-linearidade física (Santos, 2015).

4.7.1 Não-linearidade geométrica

A não-linearidade geométrica de acordo com Pinto (1997) refere-se a mudança da posição da estrutura (posição deformada). Já Moncayo (2011) descreve que a não-linearidade geométrica pode ser representada por uma barra vertical com apoio engastado e com a outra extremidade livre, onde aplica-se uma ação horizontal além da ação vertical (Figura 19).

Figura 19 - Aplicação de ações horizontais e verticais na barra engastada

Fonte - Moncayo, 2011.

Assim, tem-se que o efeito de 1ª ordem é dado quando se aplica somente a carga horizontal, enquanto os efeitos de 2ª ordem consideram a aplicação conjunta das ações horizontais e verticais, sendo assim representado pelo momento M_2 (Santos, 2015).

4.7.2 Não-linearidade física

No que tange a não-linearidade física do concreto, tem-se que de acordo com Wordell (2003) que o concreto dispõe de uma curva tensão-deformação não linear, o que faz com que o módulo de elasticidade do mesmo não permaneça constante. Ademais, no que toca a fissuração do concreto, há-se que a ocorrência da mesma acarreta um aumento de tensões, o qual altera o momento de inércia e consequentemente o valor da rigidez da estrutura.

Segundo a ABNT NBR 9062:2017, a não-linearidade física pode ser calculada como uma aproximação ao alterar o valor da rigidez utilizando as Equações 19, 20, 21, 22 e 23, onde I_c é o momento de inércia da seção bruta do concreto.

Lajes:

$$(EI)_{sec} = 0,25 * E_{ci} * I_c \quad (19)$$

Vigas em concreto armado:

$$(EI)_{sec} = 0,5 * E_{ci} * I_c \quad (20)$$

Vigas em concreto protendido, considerando toda a seção composta:

$$(EI)_{sec} = 0,8 * E_{ci} * I_c \quad (21)$$

Pilares:

$$(EI)_{sec} = 0,55 * E_{ci} * I_c \text{ (liagação semirrígida com até 4 pavimentos)} \quad (22)$$

$$(EI)_{sec} = 0,70 * E_{ci} * I_c \text{ (liagação semirrígida com 5 ou mais pavimentos)} \quad (23)$$

Onde:

E_{ci} – é o módulo de deformação do concreto;

I_c – é o momento de inércia da seção bruta de concreto.

4.7.3 Efeitos de 2ª ordem e estabilidade global

A ABNT NBR 9062:2017 estabelece que os efeitos de 2ª ordem globais são aqueles nos quais ao aplicar ações verticais e horizontais os nós presentes na estrutura deslocam-se horizontalmente. Assim, os nós da estrutura podem ser classificados como fixos, onde a estrutura apresenta deslocabilidade reduzida (os efeitos globais de 2ª ordem são inferiores a 10% dos efeitos globais de 1ª ordem), ou então de nós móveis, no qual as estruturas com deslocabilidade moderada, no qual os efeitos globais de 2ª ordem estão entre 10% e 30% dos efeitos globais de 1ª ordem) consideram os efeitos globais de 2ª ordem (ABNT, 2017). Além disso, as estruturas podem ser denominadas com deslocabilidade acentuada, onde os efeitos globais de 2ª ordem são superiores a 30% dos efeitos globais de 1ª ordem (ABNT, 2017).

Deste modo, para classificar o modo como a estrutura se comporta pode-se aplicar o processo P-Delta, o qual retorna o coeficiente RM2M1, além do parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γ_z .

4.7.3.1 Parâmetro de instabilidade α

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023 o parâmetro de instabilidade α determina se a estrutura é de nós fixos ao comparar com os valores de α_1 , assim se $\alpha \leq \alpha_1$, essa estrutura é denominada de nós fixos. A seguir está apresentada a Equação 24, 25 e 26 com o cálculo do parâmetro de instabilidade α e α_1 .

$$\alpha = H_{tot} * \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs} * I_c}} \quad (24)$$

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1 * n \quad \text{se } n \leq 3 \quad (25)$$

$$\alpha_1 = 0,6 \quad \text{se } n \geq 4 \quad (26)$$

Onde:

n – é a quantidade de andares acima da fundação;

H_{tot} – é a altura total do edifício;

N_k – é o somatório de cargas verticais atuantes em conjunto com o seu valor característico;

$E_{cs} * I_c$ – é o somatório das resultantes de rigidez de todos os pilares na direção considerada (0° ou 90°).

Além disso, é importante destacar que segundo a ABNT NBR 6118:2023 para o cálculo de E_{cs} aplica-se as Equações 27, 28 e 29 e 30.

$$E_{ci} = \alpha_e * 5600 * fck^{\frac{1}{2}} \quad \text{para } fck \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ MPa} \quad (27)$$

$$E_{ci} = 21,5 * 10^3 * \alpha_e * 5600 * \left(\frac{fck}{10} + 1,25\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{para } fck \text{ de } 50 \text{ MPa a } 90 \text{ MPa} \quad (28)$$

Onde:

α_e – é de 1,2 para basalto e diabásio, 1,0 para granito e gnaisse, 0,9 para calcário e de 0,7 para arenito.

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 * \frac{fck}{80} \leq 1,0 \quad (29)$$

$$E_{cs} = \alpha_i * E_{ci} \quad (30)$$

Ademais, é válido ressaltar que E_{cs} e fck são dados em MPa.

4.7.3.2 Coeficiente γ_z

Segundo a ABNT NBR 9062:2017, o coeficiente γ_z pode ser aplicado para

análise de estruturas pré-moldadas com menos de quatro andares desde que a estrutura apresente regularidade. Ademais, a ABNT NBR 9062:2017 apresenta que para $\gamma_z \leq 1,10$, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis, e que para o intervalo de $1,10 < \gamma_z < 1,30$, a estrutura é considerada de com deslocabilidade moderada, na qual é preciso considerar os efeitos globais de 2ª ordem (estrutura de nós móveis).

Além disso, para o intervalo de $1,10 < \gamma_z < 1,20$ utiliza-se o fator de majoração reduzido $0,95 * \gamma_z$, enquanto para o intervalo de $1,20 \leq \gamma_z < 1,30$ aplica-se o valor integral de γ_z . Para valores de γ_z acima de 1,30, é preciso realizar um cálculo rigoroso considerando a não linearidade física e geométrica. Assim, esse coeficiente é dado pela Equação 31.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M1_{tot,d}}} \quad (31)$$

Onde:

$\Delta M_{tot,d}$ – é a somatória do produto de todas as cargas verticais com os seus respectivos coeficientes e deslocamentos horizontais em cada ponto de aplicação/pavimento da edificação;

$M1_{tot,d}$ – é a somatória do produto das forças horizontais pela sua respectiva altura.

Assim, por simplificação a relação $\frac{\Delta M_{tot,d}}{M1_{tot,d}}$ pode ser explicitada pela Equação 32.

$$\frac{\Delta M_{tot,d}}{M1_{tot,d}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_f * P_{gi} + \gamma_f * P_{q1i} + \Psi_0 * \gamma_f * P_{q2i}) * \Psi_0 * \gamma_f * \delta_{hki}}{\sum_i^n H_{vi} * h_i * \Psi_0 * \gamma_f} \quad (32)$$

Onde:

i representa altura da estrutura;

n a quantidade de pavimentos;

P_{gi} a resultante de carregamento vertical na altura i ;

P_{q1i} é a resultante da ação principal vertical no pavimento i ;

P_{q2i} é a resultante secundária vertical do pavimento i ;

Ψ_0 é o fator de redução para a combinação de ações variáveis secundárias

ELU;

γ_f é o coeficiente de majoração de cargas no ELU;

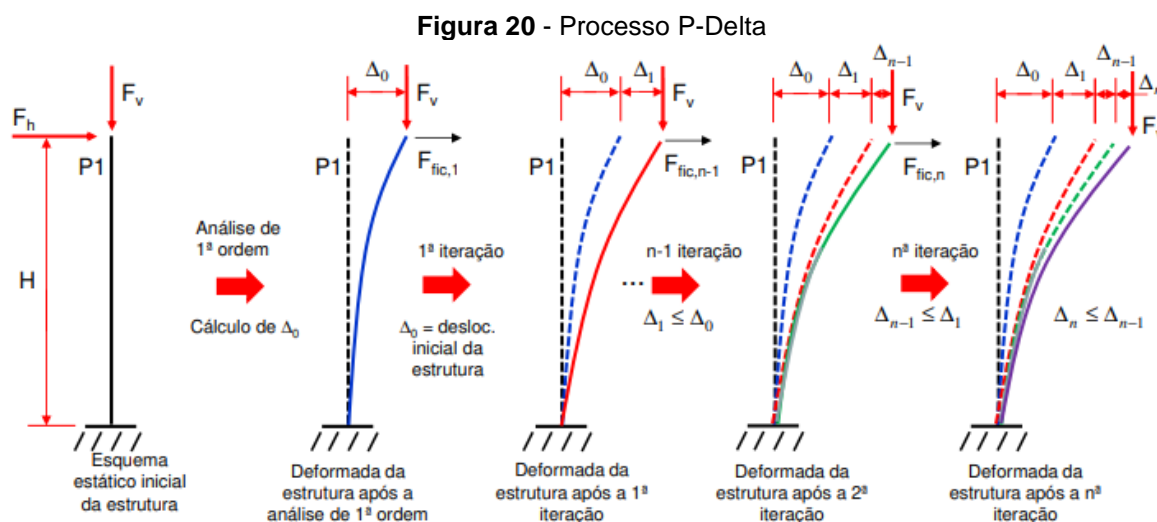
δ_{hki} é o deslocamento horizontal obtido em cada pavimento;

H_{vi} é a ação resultante do vento no andar i , h_i é a distância/altura até o pavimento i .

4.7.3.3 Processo P-Delta

O processo P-Delta consiste em uma análise não-linear geométrica, no qual os efeitos de 2ª ordem são calculados de modo detalhado, sendo assim, aplica-se um processo numérico buscando-se de forma iterativa a posição final de equilíbrio da estrutura, a partir da realização de correções na matriz de rigidez (TQS Docs).

Deste modo, o processo P-Delta analisa o equilíbrio da estrutura conforme há a aplicação do deslocamento inicial lateral em conjunto com o carregamento vertical, sendo que, é necessário haver convergência dos valores de deslocamentos laterais entre as iterações, as quais podem ser finalizadas quando a diferença entre a iteração “n-1” e a iteração “n” for menor do que a 0,1%. Na Figura 20 é possível visualizar a ocorrência desse processo (Almeida Filho, 2022).



Fonte – Almeida Filho, 2022.

Além disso, no *software* TQS® PREO o processo P-Delta decorre de um processo de dois passos, onde o primeiro passo há somente a aplicação das ações verticais, realizando-se então uma análise linear da estrutura, em que a área dos pilares é aumentada para absorver todos os esforços (TQS Docs). Em seguida, no

segundo passo são dispostas apenas as ações horizontais, aplicando-se uma análise não linear da estrutura, a qual mantém a área dos pilares (TQS Docs). Assim, após isso são feitas iterações, corrigindo-se a matriz de rigidez da estrutura do primeiro passo a partir do acréscimo de esforços normais derivados das ações horizontais (TQS Docs). Essa correção é realizada até que haja o equilíbrio final da estrutura, sendo que esta é composta pela somatória dos resultados de ambos os passos (TQS Docs).

Ademais, como a resultante do processo P-Delta não permite avaliar a estabilidade da estrutura, tem-se então a aplicação do coeficiente $RM2M1$, o qual é obtido por meio da Equação 33 (TQS Docs).

$$RM2M1 = 1 + \frac{M_2}{M_1} \quad (33)$$

Onde:

M_1 – É o momento das forças horizontais em associação à base do edifício;

M_2 – É a somatória das forças verticais multiplicadas pelo deslocamento dos nós da estrutura sob ação das forças horizontais, decorridas do processo P-Delta em uma combinação não-linear.

5 METODOLOGIA

O estudo consiste em comparar a influência na estabilidade global devido aplicação de diferentes modulações de lajes alveolares e do tipo pi na formação dos pavimentos de edifícios garagem de múltiplos pavimento. Deste modo, há-se que neste trabalho modelou-se 4 edifícios garagens em concreto pré-moldado no *software* TQS® PREO, sendo dois edifícios com 3 pavimentos e dois edifícios com 5 pavimentos, utilizando-se de um vão de 8,00 m para os de lajes alveolares e de 12,50 m para os de lajes do tipo pi.

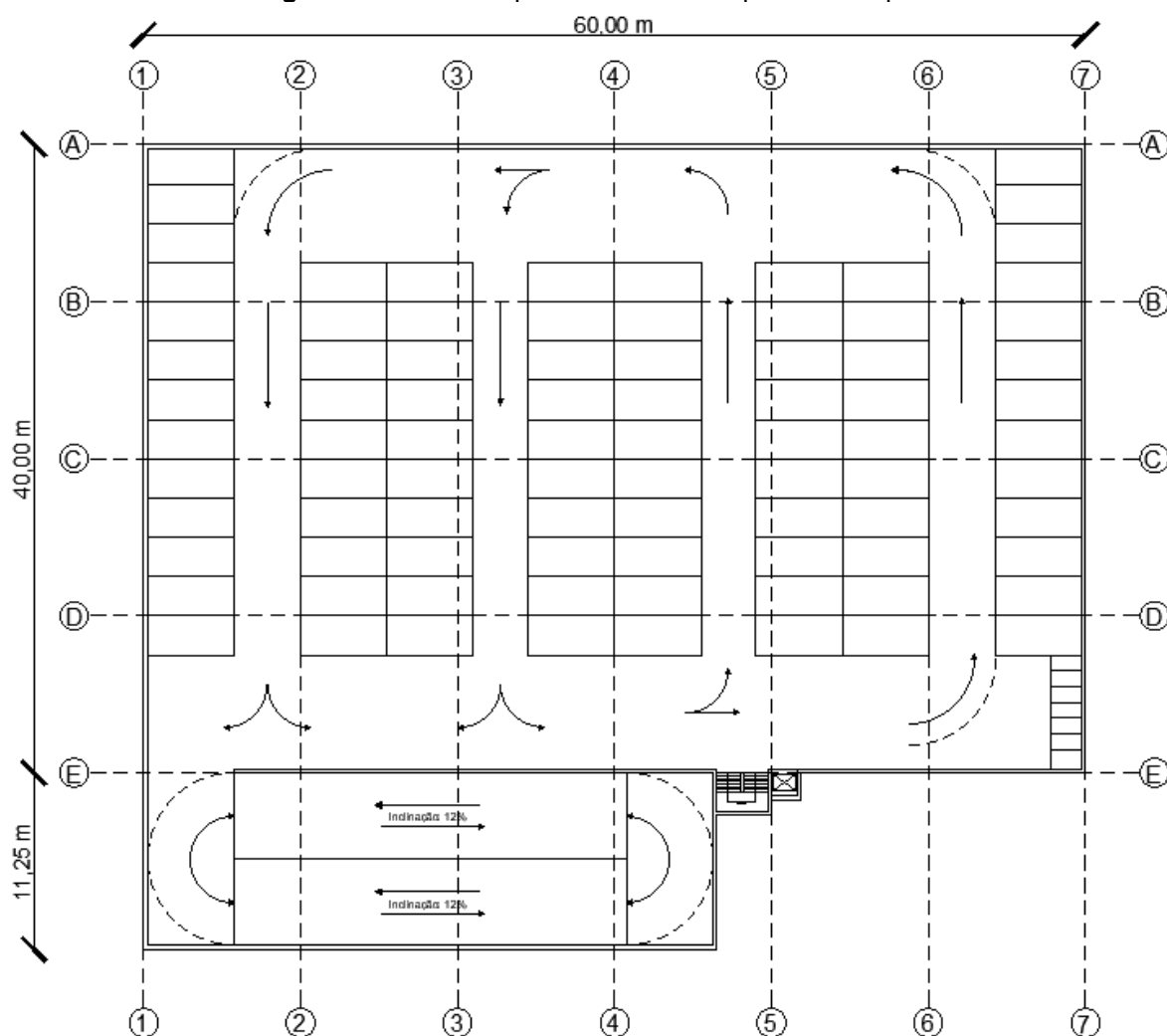
5.1 PLANTA ARQUITETÔNICA

A planta base arquitetônica do pavimento tipo possui dimensões de 40,0 m x 60,0 m apresentado pela Figura 21, e que para a simplificação dos cálculos e da análise desconsiderou-se a rampa de garagem e a caixa de escada/elevador.

Além disso, é válido destacar que para o desenvolvimento da planta considerou-se um raio de giro de 5,5 m para possibilitar a realização de manobras, de vagas com dimensões de 2,5 x 5,5 m para automóveis, e de 1,0 x 2,0 m para motocicletas. Ademais, efetuou-se uma escada composta por um espelho de 17,64 cm, piso de 28 cm e 17 degraus, o que permite conforto ao usuário, visto que, a relação entre duas vezes o espelho mais o piso resulta em 63,28 cm, o que está dentro do intervalo recomendado (61 a 64 cm) (Neufert,1976). Além do mais, é válido salientar, que a escolha do tamanho das vagas deve-se também ao fato da largura dos painéis alveolares e do tipo pi serem múltiplos de 1,25 e 2,5 m, respectivamente.

Além disto, há-se que se dispôs de um elevador com dimensões de 1,1 x 1,4 m (capacidade de 6 pessoas), e da rampa de garagem a qual é bidirecional com largura de 5,5 m, comprimento de 25 m e uma inclinação de 12% (Neufert,1976). Ademais, no que se refere aos pilares, estes a princípio possuem seção de 0,40 x 0,40 m, as vigas dispõem de uma largura de 0,40 m e o consolo de 0,40 m.

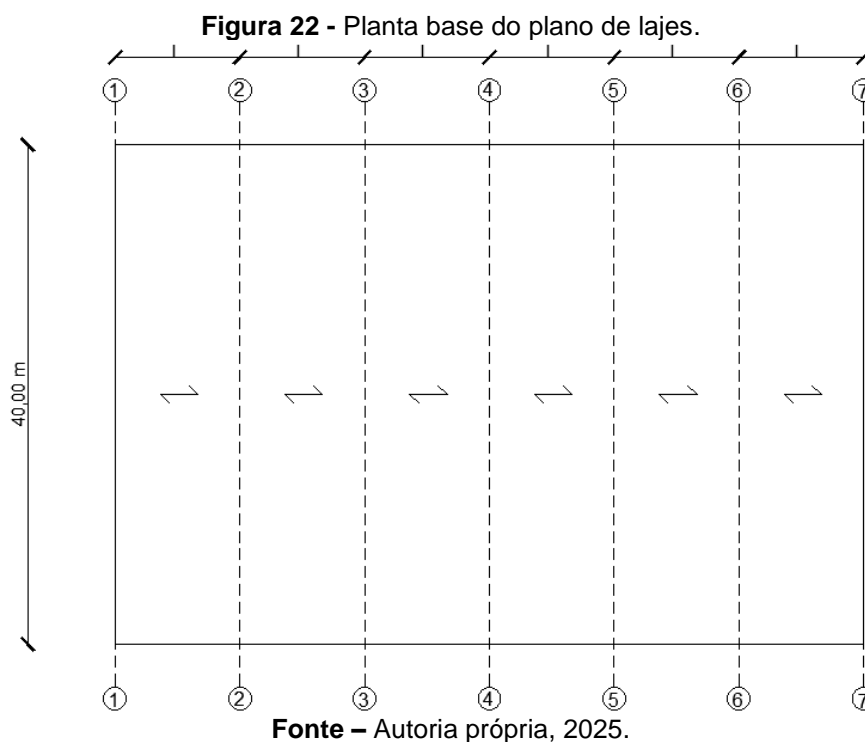
Figura 21 - Planta arquitetônica base do pavimento tipo.



Fonte – Autoria própria, 2025.

5.2 PLANTA BASE DO PLANO DE LAJES E CASOS DE ESTUDOS

No que toca ao plano de bases, este é apresentado pela Figura 22, onde tem-se que a largura “L” varia dependendo da modulação aplicada. Ademais, é importante destacar que essas modulações foram escolhidas a partir do desenvolvimento da Iniciação Científica “Edifícios garagens de múltiplos pavimentos com diferentes modulações de lajes com painéis alveolares e do tipo pi”. Nesta iniciação, avaliou-se a aplicação de painéis alveolares e do tipo pi, provenientes da consulta ao livro *Prestressed Concrete Institute* (2010), com relação ao vencimento de grandes vãos, sendo estes de 8,00 m, 10,00 m e 12,50 m, e então após o dimensionamento e realização de análises, resultou-se que a melhor modulação para a laje alveolar é com relação ao vão de 8,00 m e para a laje do tipo pi o vão de 12,50 m.



Ademais, é necessário ressaltar que 4 edifícios garagem serão estudados, sendo dois edifícios compostos por lajes alveolares e dois por lajes do tipo pi, desta forma, o que se altera entre esses edifícios é quantidade de pavimentos, sendo que, cada edifício possui um pé esquerdo de 3,00 m. Assim, foram analisados edifícios garagem de 3 pavimentos (térreo, pavimento 1 e pavimento 2), e de 5 pavimentos (térreo, pavimento 1, pavimento 2, pavimento 3, pavimento 4). Os casos estudados estão dispostos na Tabela 5.

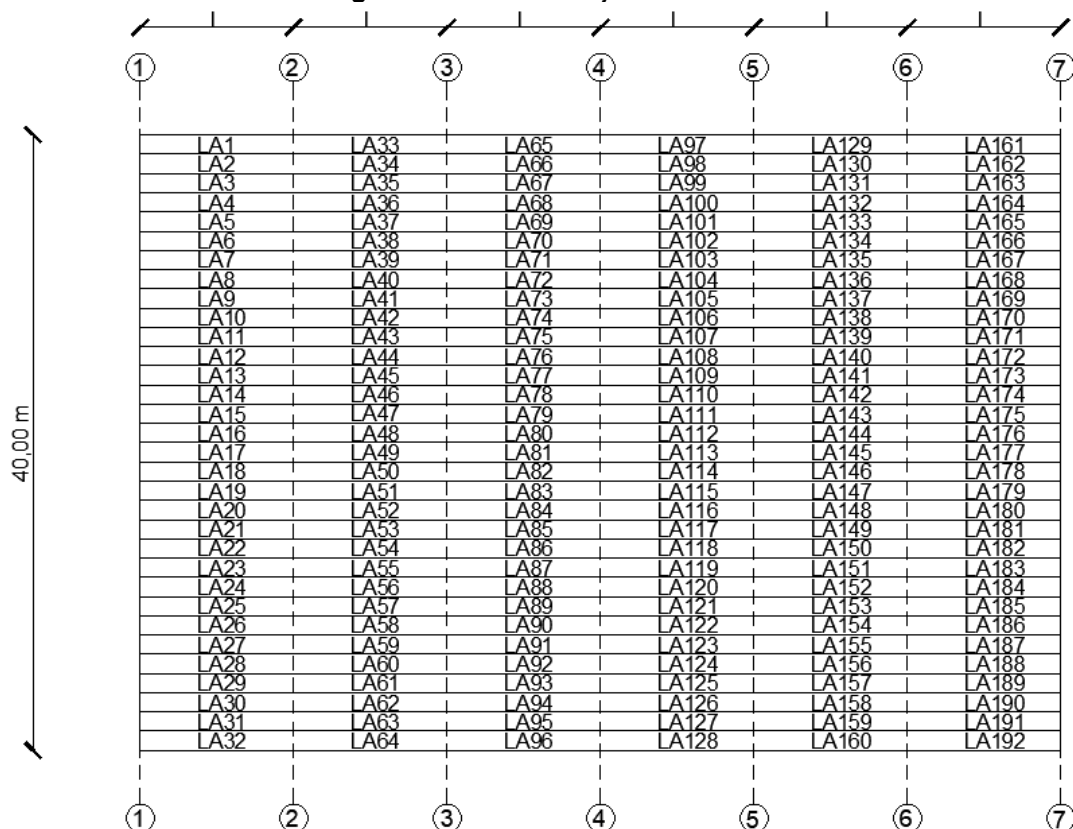
Tabela 5 - Casos de estudo

Tipo de Laje	Situação	Vão L (m)	Altura do edifício - Pé esquerdo (m)
Alveolar	A1	8,0	6,00
	A2	8,0	12,00
Tipo PI	P1	12,5	6,00
	P2	12,5	12,00

Fonte - Autoria própria, 2025.

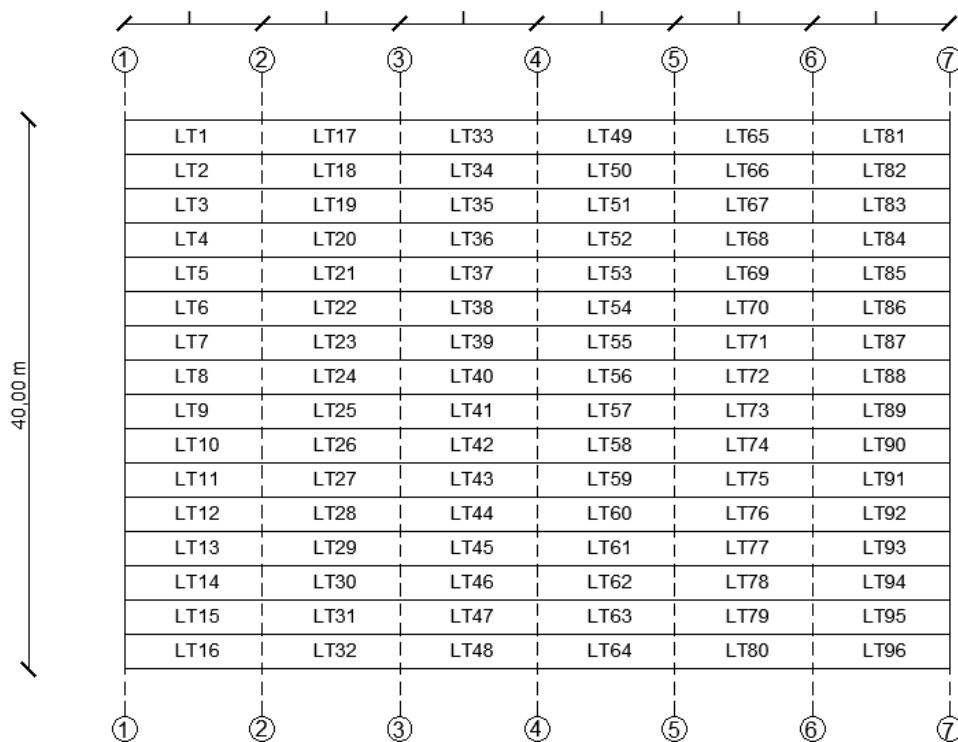
Ademais, no que toca as modulações utilizadas tem-se as seguintes disposições de painéis alveolares e do tipo pi dispostos respectivamente nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Plano de lajes alveolar.



Fonte – Autoria própria, 2025.

Figura 24 - Plano de lajes do tipo PI ou duplo Tê.



Fonte - Autoria própria, 2025.

5.3 MODELAGEM NO TQS® PREO

O TQS® PREO é um *software* especializado em cálculo estrutural, o qual realiza a análise de estabilidade global, sendo assim, para a realização de sua modelagem a princípio criou-se um modelo onde inseriu-se os dados iniciais do projeto. Na Tabela 6 estão apresentados os dados dispostos nesta etapa, sendo que, na Tabela 7 apresenta-se a quantidade de etapas e regiões construtivas a qual cada edifício dispõem, e qual representa o processo de solidarização da estrutura.

Tabela 6 - Dados iniciais da modelagem

Concreto	Pré-moldado
Classe de agressividade ambiental	II – Ambiente urbano – Agressividade moderada
Endereço da obra	Rodovia Engenho Thales de Lorena Peixoto Júnior 20153 (40 m/s de ação de vento)
Modelo estrutural do edifício	VI - Modelo de vigas, pilares e lajes, flexibilizado conforme critérios
Modelos independentes	A estrutura se comporta como corpo único, sem junta ou torres separadas
Processo de análise	P-delta

Fonte - Autoria própria, 2025.

Tabela 7 – Solidarização da estrutura e definição dos materiais

Edifícios com laje alveolar	1 Etapa e 1 Região construtiva	
Edifícios com laje do tipo pi	1 Etapa e 1 Região construtiva	
Vigas, pilares e lajes	Concreto com fck de 50 MPa	
Fundação e capa da laje	Concreto com fck de 30 MPa	
	Lajes	2,5 cm
Cobrimentos	Vigas	3,0 cm
	Pilares	3,0 cm

Fonte - Autoria própria, 2025.

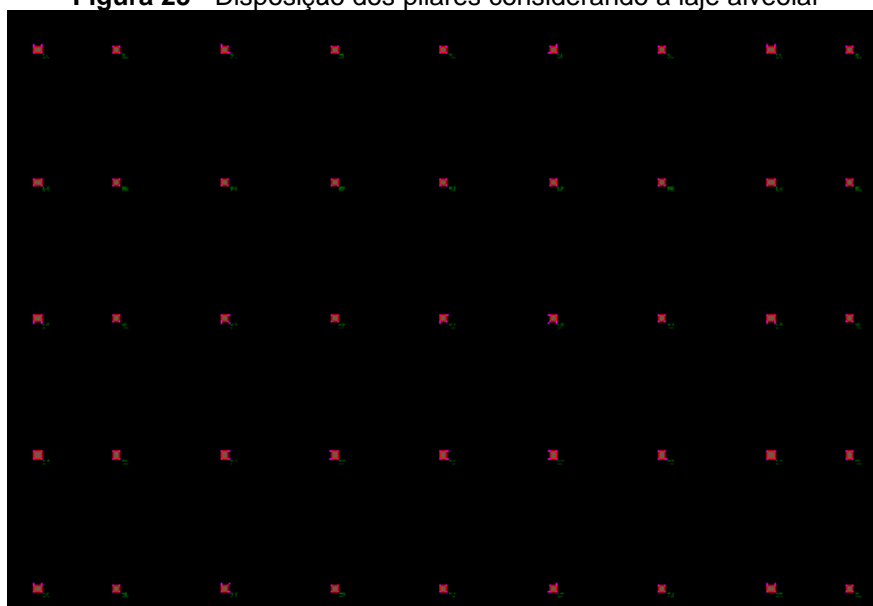
Após isso, define-se a carga proveniente do vento, sendo esta apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Vento

V0 – Velocidade básica	40 m/s		
S1 – Fator do topográfico	1,00		
S2 – Categoria de rugosidade	IV		
S2 – Classe de edificação	C		
S3 – Fator estatístico	1,00		
	Baixa Turbulência		
Coeficiente de arrasto	90°	0,95 (h = 6 m)	1,00 (h = 12 m)
	270°	0,95 (h = 6 m)	1,00 (h = 12 m)
	0°	0,75 (h = 6 m)	0,80 (h = 12 m)
	180°	0,75 (h = 6 m)	0,80 (h = 12 m)
Razão do desaprumo	1:300		

Fonte - Autoria própria, 2025.

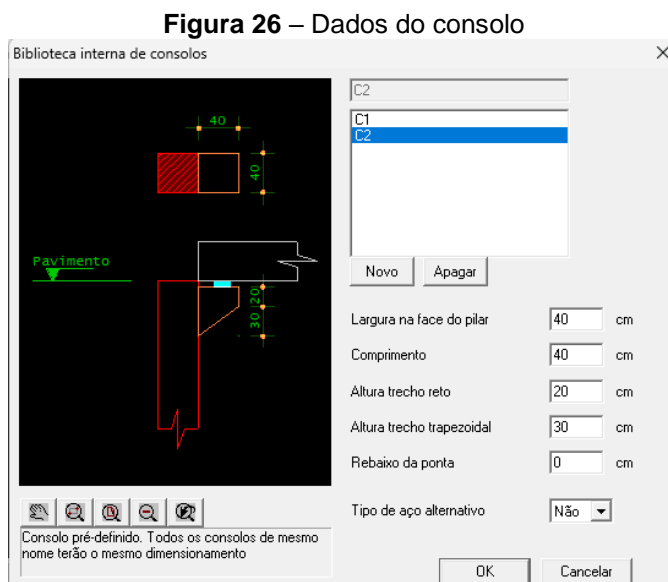
Assim, a partir desses dados iniciou-se a modelagem da estrutura, dispondose primeiramente os pilares, seguido dos consolos, das vigas e posteriormente das lajes. Na Figura 25 está apresenta a disposição dos pilares considerando a aplicação da laje alveolar, sendo que os mesmos são quadrados com dimensão de 0,40 m x 0,40 m. Ademais, os pilares aplicados ao edifício com laje do tipo pi também dispõe da mesma seção.

Figura 25 - Disposição dos pilares considerando a laje alveolar

Fonte - Autoria própria, 2025.

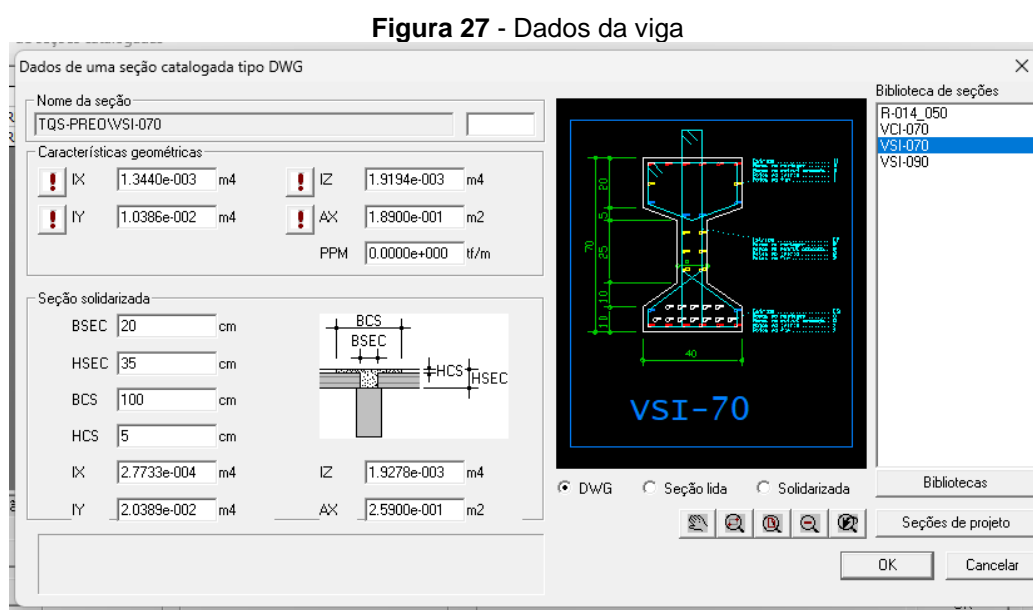
Então com isso, distribuiu-se os consolos, os quais foram locados em cada face

do pilar, sendo que os mesmos apresentam a mesma seção em todos os edifícios. Na Figura 26 está apresentada os dados do consolo.



Fonte - Autoria própria, 2025.

Com isso, foram dispostas as vigas as quais apresentam as seguintes configurações apresentadas na Figura 27. Ademais, é válido destacar que se aplicou a mesma seção em todos os edifícios modelados.



Fonte - Autoria própria, 2025.

Deste modo, a partir disso modelou-se as lajes, as quais foram escolhidas no catálogo fornecido pelo TQS® PREO, sendo a laje LM200 (Munte) um modelo de laje alveolar e a DT60 de laje do tipo pi. Além disso, é importante destacar que na Tabela 9 está apresentada algumas propriedades das lajes, e que buscou-se utilizar lajes com propriedades semelhantes as aplicadas na Iniciação científica “Edifícios garagens de múltiplos pavimentos com diferentes modulações de lajes com painéis alveolares e do tipo pi”.

Tabela 9 - Propriedades do painel alveolar e do tipo pi

Propriedades	Laje alveolar Munte	Laje do tipo pi
	LM200	DT60
bw (m)	1,20	2,50
h capa (m)	0,05	0,05
h laje + capa (m)	0,25	0,65
h laje (m)	0,20	0,60
Área (m ²)	0,12249	0,2405
Área da seção solidarizada (m ²)	0,1875	0,3655

Fonte - Autoria própria, 2025.

Assim, a partir da escolha da laje é determinou-se os carregamentos a qual a mesma está sujeita, sendo estes o peso próprio da laje (g_1), a capa de 5 cm (g_2), a camada de impermeabilização (g_3), e a ação acidental para garagem (q) considerando um veículo com peso bruto total menor ou igual a 30 kN (ABNT, 2019). Desta forma na Tabela 10 estão apresentados esses dados. Além disso, é relevante ressaltar que a densidade do concreto é de 25 kN/m³, e que o TQS® PREO considera de forma automática o peso próprio da laje, não havendo necessidade assim de inseri-lo no item “carga distribuída por área”.

Tabela 10 - Carga distribuída por área

Ações	Laje alveolar Munte	Laje do tipo pi
	LM200	DT60
Peso próprio (g_1) - (kN/m ²)	$1,20 \cdot 25 = 30$	$2,50 \cdot 25 = 62,5$
Capa (g_2) - (kN/m ²)	$0,05 \cdot 25 = 1,25$	$0,05 \cdot 25 = 1,25$
Impermeabilização (g_3) - (kN/m ²)	0,11	0,11
Garagem (q) - (kN/m ²)	3,00	3,00
Permanente - (kN/m ²)	1,36	1,36
Acidental - (kN/m ²)	3,00	3,00
Permanente - (tf/m ²)	0,136	0,136
Acidental - (tf/m ²)	0,30	0,30

Fonte - Autoria própria, 2025.

Ademais, na Figura 28 e 29 é possível visualizar a estrutura final com relação aos edifícios de 3 e 5 pavimentos com laje alveolar, na Figura 30 e 31 em associação aos edifícios de 3 e 5 pavimentos com laje do tipo pi, respectivamente.

Figura 28 - Modelagem do edifício com laje alveolar de 3 pavimentos



Fonte - Autoria própria, 2025.

Figura 29 - Modelagem do edifício com laje alveolar de 5 pavimentos



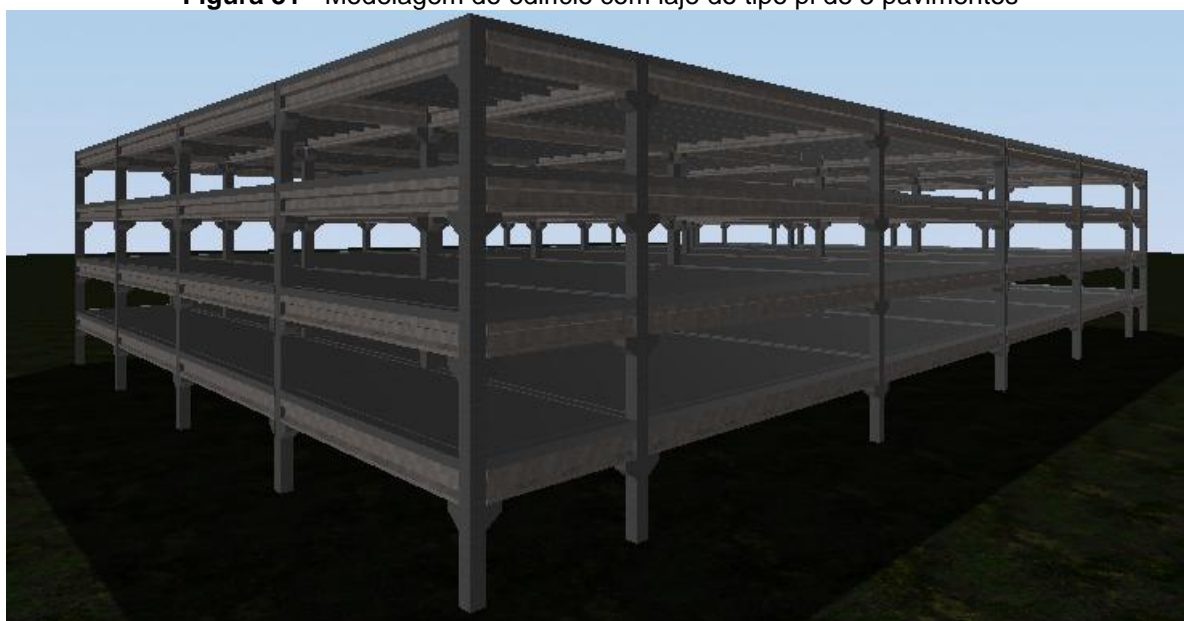
Fonte - Autoria própria, 2025.

Figura 30 - Modelagem do edifício com laje tipo pi de 3 pavimentos



Fonte - Autoria própria, 2025.

Figura 31 - Modelagem do edifício com laje do tipo pi de 5 pavimentos



Fonte - Autoria própria, 2025.

Após isso, definiu-se o engastamento padrão de vigas e o engastamento lateral padrão de vigas, sendo este, o parâmetro α_R (fator de restrição a rotação) da ABNT NBR 9062:2017. Deste modo, a ABNT NBR 9062:2017 recomenda que para a análise da estabilidade deve-se considerar um comportamento prejudicial efetivo das ligações, sendo que, um α_R menor do 0,15 indica uma ligação flexível (rotulada), entre 0,15 e 0,85 uma ligação semi-rígida, e acima de 0,85 uma ligação rígida. Assim, adotou-se um fator de restrição a rotação de 0,50, o que implica em uma ligação semi-rígida.

6 ANÁLISE AOS RESULTADOS

Deste modo, realizou-se o processamento global da estrutura no *software* TQS® PREO, o qual analisou a estabilidade global do edifício por meio do processo P-Delta. Assim, tem-se como resultante a análise de casos simples de vento, de combinação do Estado Limite Último de vigas e lajes, deslocamentos máximos e deslocamentos máximos entre pisos. Ademais, é importante ressaltar que os relatórios de estabilidade global obtidos após o processamento no TQS® PREO estão dispostos no Anexo A.

6.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ESTABILIDADE GLOBAL

A análise do Estado Limite Último engloba os casos simples de vento e as combinações ELU para vigas e lajes.

6.1.1 Casos simples de vento

Deste modo, no que toca aos casos simples de vento, os quais não consideram os deslocamentos horizontais devido as cargas verticais, estes apresentam como resultados o coeficiente γ_z e o parâmetro α , os quais são estimados devido ao método de processo escolhido para a análise da estabilidade global (P-Delta). Desta forma, na Tabela 11 estão apresentados esses resultados.

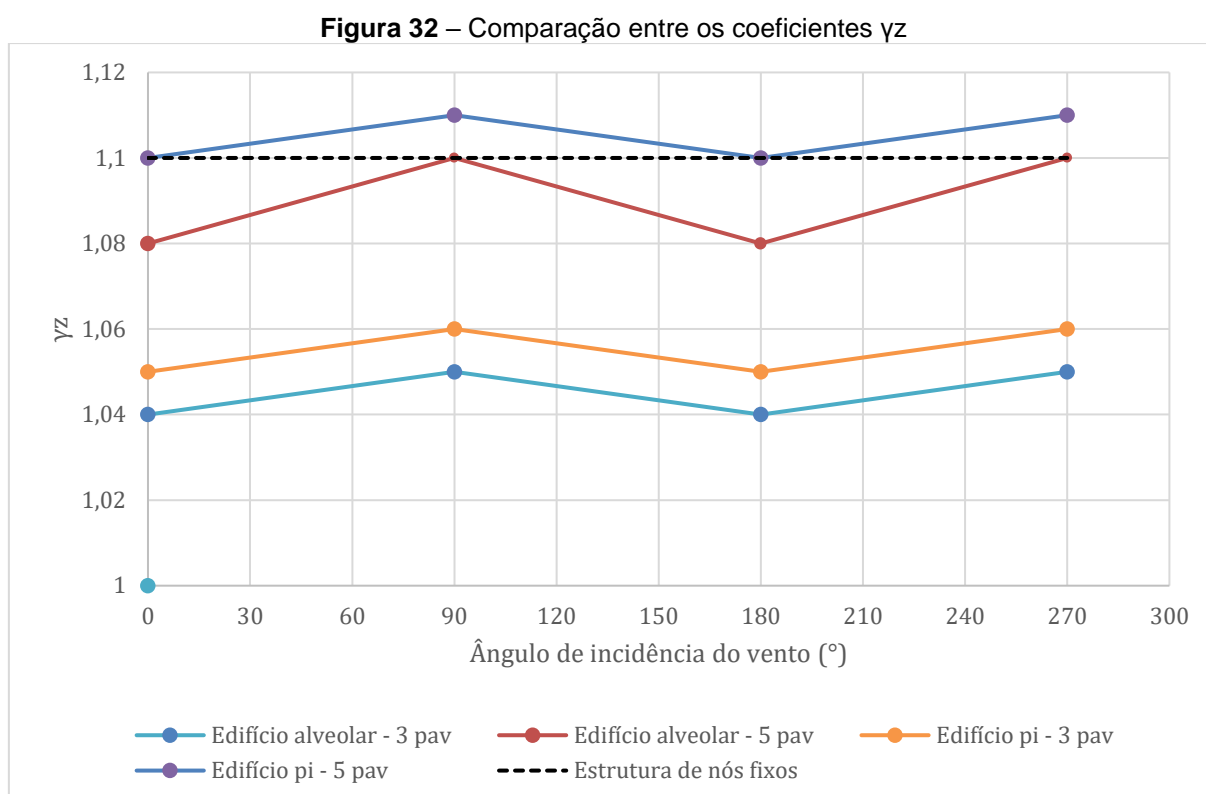
Tabela 11 - Parâmetro de estabilidade para casos simples de vento

Ângulo (°)	Edifício alveolar - 3 pavimentos		Edifício alveolar - 5 pavimentos		Edifício pi - 3 pavimentos		Edifício pi - 5 pavimentos	
	γ_z	α	γ_z	α	γ_z	α	γ_z	α
90	1,05	0,392	1,10	0,590	1,06	0,420	1,11	0,629
270	1,05	0,392	1,10	0,590	1,06	0,420	1,11	0,629
0	1,04	0,365	1,08	0,530	1,05	0,410	1,10	0,595
180	1,04	0,365	1,08	0,530	1,05	0,410	1,10	0,595

Fonte - Autoria própria, 2025.

Assim, com relação aos resultados apresentados na Tabela 11 é possível observar que o coeficiente γ_z encontra-se acima 1,10 somente no edifício com laje do tipo pi de 5 pavimentos, sendo assim, este apresenta deslocabilidade moderada e se comporta como uma estrutura de nós móveis, na qual é preciso majorar os esforços para suportar a ação do vento, considerando assim o efeito global de 2ª ordem com o fator de majoração reduzido.

Além disso, no que tange a ambos os edifícios com 3 pavimentos e ao edifício com laje alveolar de 5 pavimentos, estes apresentam um coeficiente γ_z com valor abaixo ou igual a 1,10, o que representa que as estruturas se comportam como nós fixos, não havendo necessidade de considerar os efeitos globais de 2ª ordem. Na Figura 32 está apresentada uma comparação entre os resultados desse coeficiente de forma gráfica.

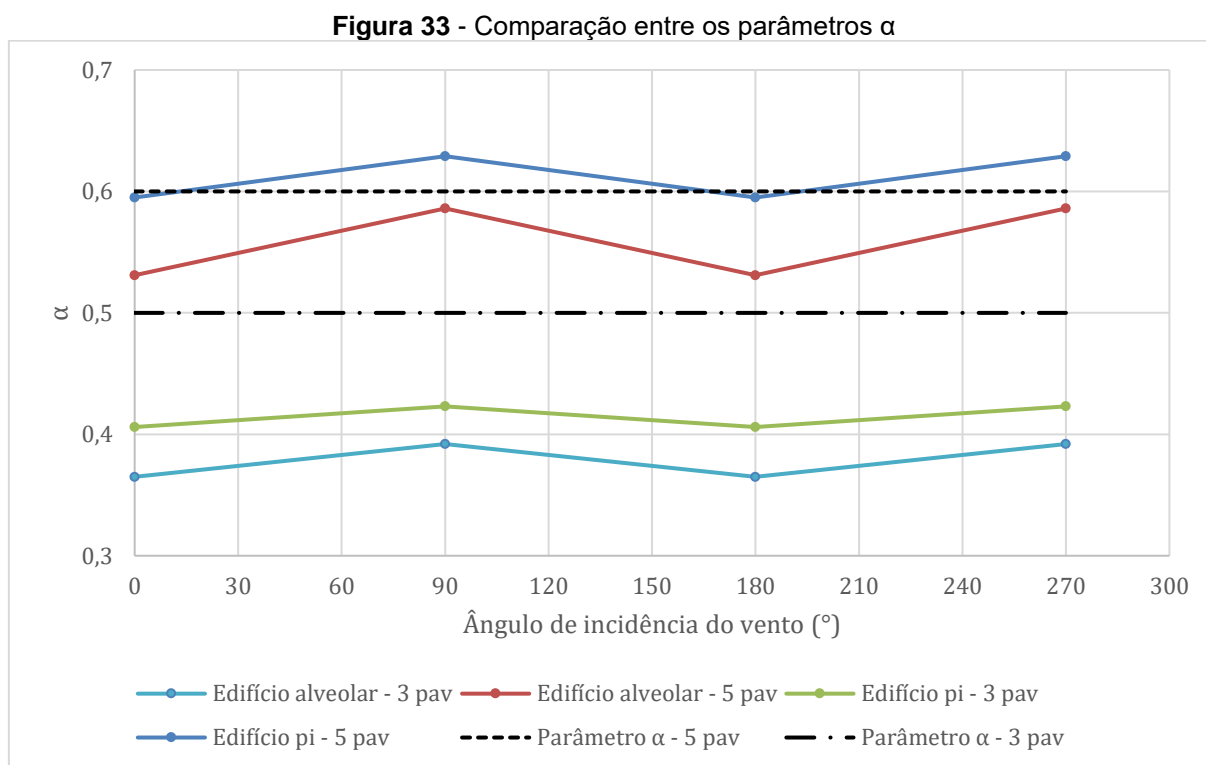


Fonte - Autoria própria, 2025.

Além disso, a partir do que foi apresentado na Figura 32 e na Tabela 11, tem-se que os edifícios com laje alveolar apresentam um coeficiente γ_z menor do que quando comparado aos edifícios com laje do tipo pi, assim, isso deve-se ao tipo de laje, onde a do tipo pi apresenta maior espessura contribuindo no aumento da rigidez transversal a flexão, e também devido à disposição dessas lajes, as quais influem nos tamanhos dos vãos e conseqüentemente no comportamento sob ação do vento. Além do mais, os ventos incidentes a 90° e 270° acarretam um maior valor desse coeficiente.

Ademais no que tange ao parâmetro α , tem-se que seu valor de referência é de 0,6 (α_1) para os edifícios com 5 pavimentos, e de 0,5 (α_1) para edifícios com 3

pavimentos, sendo assim, há-se que a estrutura do edifício de 5 pavimentos com laje do tipo pi é de nós móveis, e que ambos os edifícios de 3 pavimentos e o de 5 pavimentos com laje alveolar dispõem de uma estrutura de nós fixos. Deste modo, na Figura 33 é possível visualizar a comparação entre os parâmetros α .



Fonte - Autoria própria, 2025.

Além disso, a partir do que foi disposto pela Tabela 11 e na Figura 33, é importante ressaltar que os ventos 90° e 270° originam maiores valores do parâmetro α em todos os edifícios analisados. Deste modo, a seguir está apresentada a Tabela 12 com um resumo do comportamento da estrutura perante o coeficiente γ_z e o parâmetro α .

Tabela 12 - Resumo do comportamento da estrutura perante o coeficiente γ_z e o parâmetro α para o caso de vento simples

Edifício	Coeficiente γ_z	Parâmetro α
Alveolar – 3 pav	Nós fixos	Nós fixos
Alveolar – 5 pav	Nós fixos	Nós fixos
Pi – 3 pav	Nós fixos	Nós fixos
Pi – 5 pav	Nós móveis	Nós móveis

Fonte - Autoria própria, 2025.

6.1.2 Combinações ELU para vigas e lajes

Assim, no que tange a análise de combinação de Estado Limite Último de vigas e lajes há o parâmetro RM2M1, proveniente diretamente do processo P-Delta, sendo assim, o mesmo considera os deslocamentos horizontais ocasionados pelas cargas verticais. Assim, na Tabela 9 há as combinações aplicadas pelo *software* TQS® PREO e na Tabela 13 estão apresentados os resultados obtidos após o processamento de cada combinação, na qual, os casos de 15 a 18 considera-se a ação acidental como variável principal e nos casos de 19 a 22 considera a ação do vento como variável principal. Ademais, é válido destacar que “VENT1” refere-se à direção 90°, “VENT2” a de 270°, “VENT3” a de 0° e “VENT4” a de 180°.

Tabela 13 - Combinações ELU para os casos de vento

Caso	Título
15	PP + PERM + ACID + 0,6 * VENT1
16	PP + PERM + ACID + 0,6 * VENT2
17	PP + PERM + ACID + 0,6 * VENT3
18	PP + PERM + ACID + 0,6 * VENT4
19	PP + PERM + 0,8 * ACID + VENT1
20	PP + PERM + 0,8 * ACID + VENT2
21	PP + PERM + 0,8 * ACID + VENT3
22	PP + PERM + 0,8 * ACID + VENT4

Fonte - Autoria própria, 2025.

Tabela 14 - Parâmetro RM2M1 para a combinação de Estado Limite Último de vigas e lajes

Caso	Ângulo (°)	Edifício alveolar - 3 pavimentos		Edifício alveolar - 5 pavimentos		Edifício pi - 3 pavimentos		Edifício pi - 5 pavimentos	
		RM2RM1	α	RM2RM1	α	RM2RM1	α	RM2RM1	α
15	90	1,028	0,256	1,059	0,388	1,056	0,419	1,113	0,649
16	270	1,067	0,506	1,136	0,778	1,059	0,452	1,119	0,684
17	0	1,052	0,429	1,098	0,638	1,044	0,372	1,087	0,547
18	180	1,031	0,303	1,063	0,451	1,061	0,455	1,119	0,695
19	90	1,035	0,323	1,073	0,490	1,056	0,425	1,113	0,653
20	270	1,059	0,465	1,120	0,715	1,058	0,444	1,117	0,674
21	0	1,048	0,407	1,090	0,604	1,047	0,390	1,093	0,578
22	180	1,035	0,333	1,069	0,493	1,057	0,440	1,112	0,667

Fonte - Autoria própria, 2025.

Desta forma, com relação ao parâmetro RM2M1 apresentado acima, tem-se que o mesmo dispõe de valores próximos ao obtido pelo coeficiente γ_z , dispondo de uma média de 1,044 em associação ao edifício com laje alveolar de 3 pavimentos,

1,089 para o edifício com laje alveolar de 5 pavimentos, 1,055 para o edifício com laje do tipo pi de 3 pavimentos, e de 1,109 para o edifício com laje do tipo pi de 5 pavimentos.

Ademais, é importante ressaltar que do mesmo modo que o edifício com laje do tipo pi de 5 pavimentos ultrapassou o valor de 1,10 em relação ao coeficiente γ_z , o mesmo ocorre em associação ao parâmetro RM2M1, o que denota que o mesmo se comporta como uma estrutura de nós móveis que utiliza o fator de majoração reduzido.

Além do mais, em relação aos casos com a ação accidental como variável principal, tem-se que os edifícios com 5 pavimentos dispõem de uma estrutura de nós móveis a qual utiliza o fator de majoração reduzido, e em relação aos edifícios de 3 pavimentos estes comportam-se como estrutura de nós fixos. Ademais, no que toca aos casos de vento como ação principal, estes comportam-se do mesmo modo em relação a ação accidental como variável principal.

Além disso, o parâmetro RM2M1 é superior a 1,10 para os casos alocados na direção do vento de 270° do edifício com laje alveolar de 5 pavimentos, sendo assim, o mesmo também se comporta como uma estrutura de nós móveis. Além do mais, os edifícios com 3 pavimentos apresentam valores menores do que 1,10 para em todas as combinações, assim, os mesmos são classificados como estruturas de nós fixos. Deste modo, tem-se que o parâmetro RM2M1 demonstra a magnitude dos efeitos globais de 2ª ordem sobre os efeitos globais de 1ª ordem.

Além disso, no que se refere ao parâmetro α , tem-se ao analisar as combinações realizadas que apenas o edifício com laje do tipo pi de 3 pavimento dispõe para todos os casos um α menor do que 0,5 (limitante), sendo assim, este comporta-se como uma estrutura de nós fixos. Em associação ao edifício alveolar de 3 pavimentos, este ultrapassa o parâmetro α apenas para o vento de 270°, e como esse valor é pequeno (0,506 contra 0,500), pode-se considerar essa estrutura com de nós fixos, enquanto os edifícios de 5 pavimentos comportam-se como estruturas de nós móveis.

Ademais, é relevante destacar que a ação do desaprumo é maior em 30% do que a ação dos ventos, sendo assim, considera-se então a combinação de ambas as ações durante esta análise, sendo que, isto é empregado para os quatro edifícios.

6.2 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO – DESLOCAMENTOS LATERAIS

Sobre os deslocamentos laterais é importante destacar que a ABNT NBR 9062:2017 determina pelo caso D da tabela de limites de deslocamentos horizontais globais que o deslocamento horizontal absoluto é $H/1200$, e que o deslocamento relativo entre pisos é de $H/750$. Na Tabela 15, estão dispostos os resultados máximos aceitáveis pela norma, e na Tabela 16 estão apresentados os resultados para cada direção de vento com relação ao máximo deslocamento horizontal absoluto (δH) e ao deslocamento horizontal corrigido pela relação entre o módulo de elasticidade usado e o permitido pela norma (δH_c). Ademais, é importante ressaltar que essa correlação entre os módulos de elasticidade é de 0,91.

Tabela 15 - Valores máximos de deslocamento permitido pela ABNT NBR 9062:2017

Edifício	Deslocamento máximo absoluto	
	H/1200 (cm)	Deslocamento máximo entre pisos H/750 (cm)
3 pav (6,00 m)	0,50	0,80
5 pav (12,00 m)	1,00	1,60

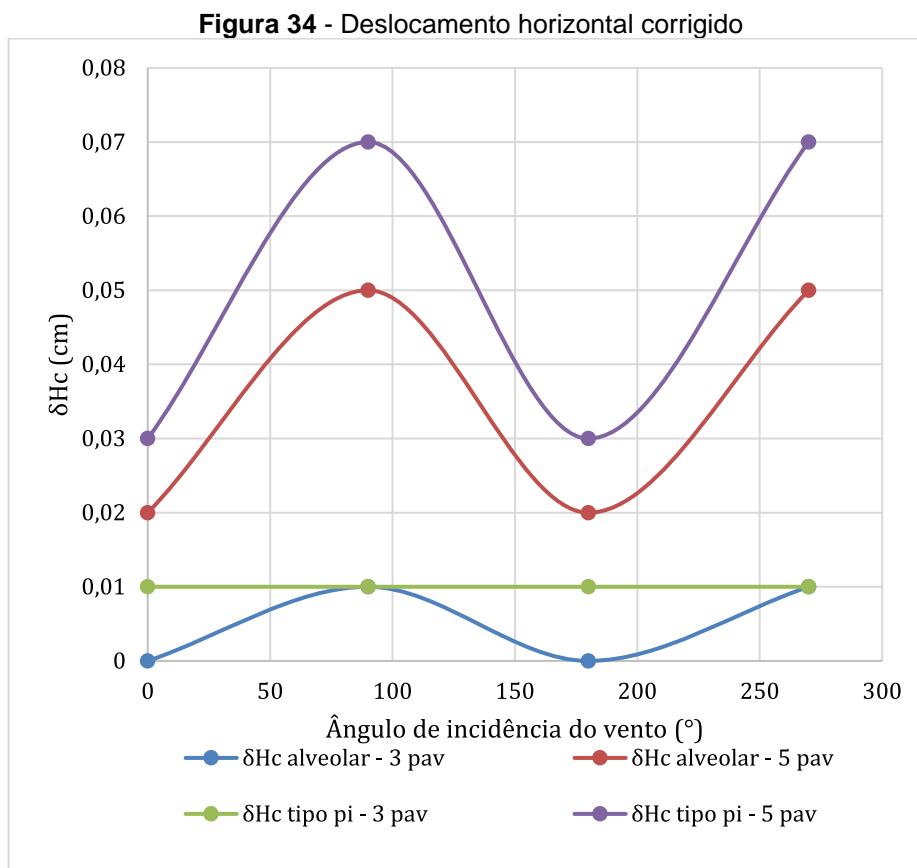
Fonte - Autoria própria, 2025.

Tabela 16 - Máximos deslocamentos horizontais absolutos (δH) e deslocamentos horizontais corrigidos (δH_c)

Ângulo (°)	Edifício alveolar - 3 pavimentos		Edifício alveolar - 5 pavimentos		Edifício pi - 3 pavimentos		Edifício pi - 5 pavimentos	
	δH (cm)	δH_c (cm)	δH (cm)	δH_c (cm)	δH (cm)	δH_c (cm)	δH (cm)	δH_c (cm)
	90	0,01	0,01	0,06	0,05	0,01	0,01	0,07
270	0,01	0,01	0,06	0,05	0,01	0,01	0,07	0,07
0	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03
180	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03

Fonte - Autoria própria, 2025.

Assim, pela Tabela 16 é importante destacar que o vento à 90° e a 270° incidentes nas edificações provocam maiores deslocamentos horizontais absolutos e corrigidos, sendo que, o edifício com laje do tipo pi de 5 pavimentos apresenta o maior deslocamento, sendo este de 0,07 cm, seguido do edifício com laje alveolar de 5 pavimentos, o qual apresenta 0,05 cm. Ademais, é relevante ressaltar que os deslocamentos obtidos são menores do que o máximo permitido, sendo este de 0,50 cm para edifícios de 3 pavimentos e de 1,00 cm para edifícios de 5 pavimentos. Na Figura 34 é possível visualizar os deslocamentos horizontais corrigidos.



Fonte - Autoria própria, 2025.

Além do mais, o TQS® PREO também fornece o máximo deslocamento horizontal absoluto que ocorre em cada pavimento, assim, esses resultados estão dispostos na Tabela 17 e 18, em associação aos edifícios com lajes alveolares e do tipo pi. Ademais, é importante destacar que o caso 5 refere-se ao vento à 90°, caso 6 ao 270°, caso 7 ao 0° e 8 ao 180°.

Tabela 17 - Máximo deslocamento horizontal absoluto para cada pavimento dos edifícios com laje alveolar em cm

Pavimento	Edifício alveolar - 3 pavimentos				Edifício alveolar - 5 pavimentos			
	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
5	-	-	-	-	0,2	0,2	0,09	0,09
4	-	-	-	-	0,18	0,14	0,08	0,08
3	0,04	0,04	0,02	0,02	0,14	0,14	0,07	0,07
2	0,03	0,03	0,01	0,01	0,09	0,09	0,04	0,04
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

Fonte - Autoria própria, 2025.

Tabela 18 - Máximo deslocamento horizontal absoluto para cada pavimento dos edifícios com laje do tipo pi em cm

Pavimento	Edifício pi - 3 pavimentos				Edifício pi - 5 pavimentos			
	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
5	-	-	-	-	0,24	0,24	0,12	0,12
4	-	-	-	-	0,22	0,22	0,11	0,11
3	0,05	0,05	0,02	0,02	0,18	0,18	0,09	0,09
2	0,04	0,04	0,02	0,02	0,11	0,11	0,05	0,05
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

Fonte - Autoria própria, 2025.

Desta forma, a partir dos resultados expressos nas Tabelas 17 e 18 é perceptível que há uma relação diretamente proporcional entre a altura do edifício e a resultante do deslocamento, e que essa resultante não ultrapassa o valor limite obtido pela ABNT NBR 9062:2017. Além disso, no que tange aos deslocamentos máximos entre pisos, há-se os resultados expressos na Tabela 19, referente ao piso 2, o qual é o piso de deslocamento máximo relativo em todos os edifícios. Ademais, tem-se que δH_p é máximo deslocamento horizontal entre pisos e δH_c é o deslocamento horizontal entre pisos corrigidos pela relação do módulo de elasticidade utilizado e o permitido pela norma.

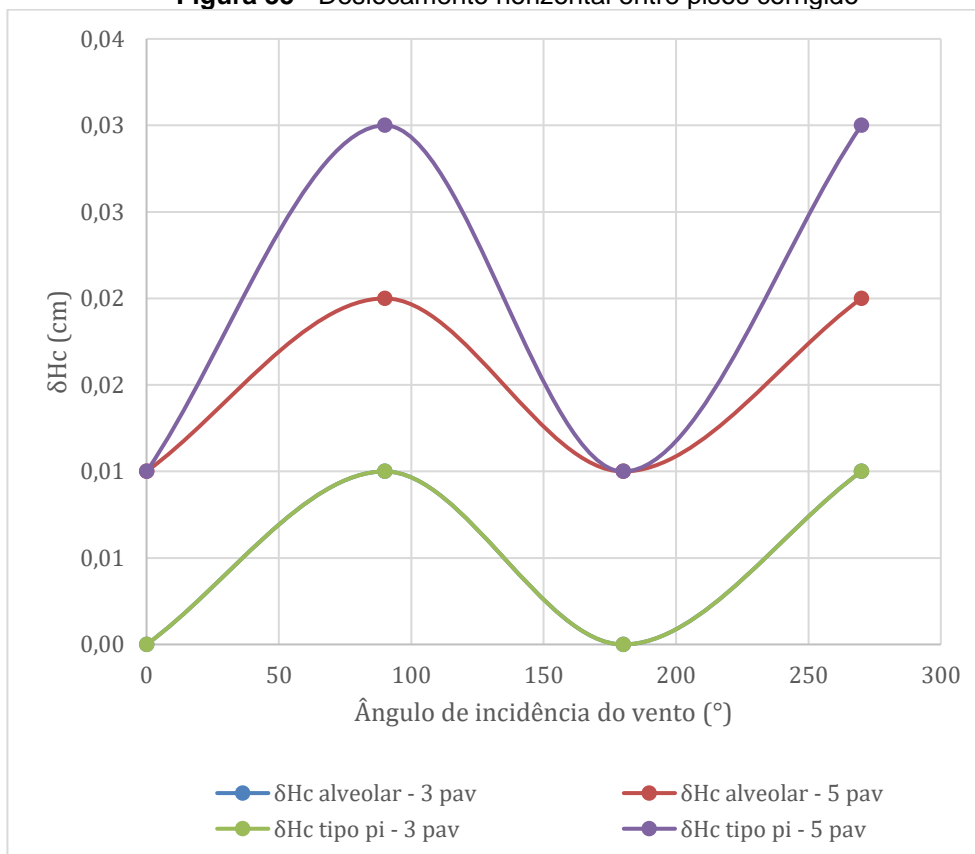
Tabela 19 - Deslocamentos máximos entre pisos em cm

Ângulo (°)	Edifício alveolar - 3 pavimentos		Edifício alveolar - 5 pavimentos		Edifício pi - 3 pavimentos		Edifício pi - 5 pavimentos	
	δH_p (cm)	δH_c (cm)	δH_p (cm)	δH_c (cm)	δH_p (cm)	δH_c (cm)	δH_p (cm)	δH_c (cm)
90	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03
270	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03
0	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
180	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01

Fonte - Autoria própria, 2025.

Deste modo, pela Tabela 19 tem-se que o vento de 90° e 270° acarretam o deslocamento máximo entre pisos para os edifícios com 3 e 5 pavimentos, entretanto como esses valores são menores que máximo permitido, sendo este de 0,80 para edifícios de 3 pavimentos e de 1,60 para edifícios de 5 pavimentos, tem-se que os resultados estão dentro do permitido. Assim, na Figura 35 está apresentada uma visualização do deslocamento horizontal entre pisos corrigido.

Figura 35 - Deslocamento horizontal entre pisos corrigido



Fonte - Autoria própria, 2025.

Assim, por meio da Figura 39 verifica-se que há pouca variabilidade entre os resultados do deslocamento horizontal entre pisos corrigido, sendo que a maior variação decorre no edifício com laje do tipo de 5 pavimentos, seguido do edifício com laje alveolar de 5 pavimentos. Ademais, é importante salientar que os relatórios de estabilidade global obtidos após o processamento dos edifícios pelo *software* TQS® PREO estão dispostos no Anexo A.

7 CONCLUSÃO

Destarte, tem-se que a realização da análise de estabilidade global é de suma importância para se verificar o comportamento da estrutura perante a ação de ventos, seja esta composta por nós fixos ou nós móveis, verificando-se assim a necessidade de se majorar os esforços. Além disso, é importante destacar que no processamento da estrutura aplicou-se o processo P-Delta, o qual apresenta resultados com grande precisão devido iterações com cargas laterais fictícias que convergem para a posição de equilíbrio.

Além disso, tem-se que ao avaliar as resultantes provenientes do Estado Limite Último, por meio dos casos simples de vento e das aplicações de diferentes combinações para vigas e lajes, tem-se que o edifício com laje do tipo pi e o edifício com laje alveolar de 5 pavimentos comportam-se como uma estrutura de nós móveis, sendo assim, considera-se os efeitos globais de 2ª ordem. Já no que tange ao edifício com laje do tipo pi e ao edifício com laje alveolar de 3 pavimentos, há-se que os mesmos são compostos por uma estrutura de nós fixos.

Além do mais, no que toca aos resultados do Estado Limite de Serviço, tem-se que todos os deslocamentos laterais analisados estão dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 9062:2017, e que as estruturas estudadas apresentam maior rigidez na direção X, onde há a atuação do vento 0° e 180°.

Desta forma, faz-se necessário ressaltar que o edifício de 3 pavimento que apresenta o melhor comportamento em relação a estabilidade global é o com laje alveolar, visto que, a estrutura apresenta-se mais estável. Entretanto, como as diferenças entre os parâmetros de estabilidade são pequenas, há-se que se considerarmos o consumo de concreto no edifício que o melhor modelo de 3 pavimentos é o com a laje do tipo pi, já que, permite o vencimento de um vão maior e dispõe de um consumo de 38,08 m³ de concreto contra 48,96 m³ do com laje alveolar.

Ademais, no que tange aos edifícios de 5 pavimentos, tem-se que o melhor modelo é o com laje alveolar, pois, apresenta menor deslocamento lateral. Todavia, é válido ressaltar que o edifício de 5 pavimentos com laje do tipo pi apresenta menor consumo de concreto, sendo este de 71,68 m³ em comparação a 92,16 m³ do com laje alveolar. Além disso, no que tange a carga média, tem-se que os com lajes do tipo pi possuem uma carga média de 0,980 tf/m² e os com laje alveolar 1,032 tf/m².

Por fim, é importante destacar que além da estabilidade global outros fatores

precisam ser considerados para a análise estruturas de concreto pré-moldado de edifícios garagens de múltiplos pavimentos.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir estão apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros relacionados a esse assunto:

- Testar outras modulações de lajes alveolares e do tipo pi;
- Considerar na análise de estabilidade global a presença da caixa de escada/ elevador;
- Testar diferentes valores do fator de restrição a rotação e analisar a influência dos mesmos na estabilidade global;
- Pode-se considerar nas análises o custo do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCELERATOR, Academic -. **Double Tee**: encyclopedia, science news & research reviews. Encyclopedia, Science News & Research Reviews. Disponível em: <https://academic-accelerator.com/encyclopedia/double-tee>. Acesso em: 10 out. 2023.

ALMEIDA FILHO, Prof. Dr. Fernando Menezes de. **Ação do vento e estabilidade global**. São Carlos: [S.N], 2022. 17 slides, color.

ANDRÉS, Roberto; apud RODRIGUES, Diego Pinheiro. **APRENDENDO COM O EDIFÍCIO-GARAGEM: ENSAIO PARA UM MANIFESTO**. Rio de Janeiro, 2020. 154 slides, color. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/19538/1/DPRodrigues.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 4 ed. Rio de Janeiro: [S.N], 2023. 242 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: ABNT NBR 6120:2019 - Ações para cálculo de estruturas de edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: [S.N], 2019. 61 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: [S.N], 2023. 95 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. 3 ed. Rio de Janeiro: [S.N], 2017. 86 p. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/14026/material/NBR9062_2017.pdf. Acesso em: 6 out. 2023.

BEVILAQUA, Rosane. **EDIFÍCIOS-GARAGEM ESTRUTURADOS EM AÇO**. [S.l]: [S.N], 2021. 12 p. Disponível em: <https://www.jodi.com.br/wp-content/uploads/2021/01/Artigo-Gerdau-Edificios-garagem-estruturados-em-aco.pdf>. Acesso em: 1 out. 2023.

BRINCO, Ricardo. Políticas de estacionamento e efeitos na mobilidade urbana. **Revista Estudos de Planejamento**, Porto Alegre, v. 44, n. 2, p. 109-124, 2016. Semestral. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/view/3839>. Acesso em: 5 out. 2023.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estruturas em Concreto Protendido**: pré - tração; pós - tração; cálculo e detalhamento. São Paulo: Pini, 2017.

COSTA, Olívia Oliveira da. **"Avaliação de desempenho de elementos de lajes protendidas pré-fabricadas"**. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4647/2753.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 6 out. 2023.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 428 p. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Concreto-pre-moldado-fundamentos-e-aplicacoes-DEG.pdf>. Acesso em: 25 set. 2023.

HANSON, Kayla; GURLEY, Evan. **Strenght to a Double Tee**. 2014. Disponível em: <https://precast.org/blog/strength-double-tee/>. Acesso em: 7 out. 2023.

IGLESIA, Tiago Borges. **Sistemas Construtivos em concreto pré-moldado**. 2006. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://docplayer.com.br/1991017-Universidade-anhembi-morumbi-tiago-borges-iglesia-sistemas-construtivos-em-concreto-pre-moldado.html>. Acesso em: 7 out. 2023.

KHARE, R. K.; MANIYAR, M. M.; UMA, S.R.; BIDWAI, V. B.. Seismic performance and design of precast concrete building structures: An overview. **Journal Of Structural Engineering**. [S.L.], p. 272-284. 31 ago. 2011. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32999277/842-libre.pdf?1393932910=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSeismic_performance_and_design_of_precas.pdf&Expires=1700102512&Signature=gUiFfMB9hMthhpH3lqIZez~LXHUsRwcChxmAMZVYuQEXNdVlfqDWzAucRgYfntb6vBk9~F4Et00iD8NX5oGfiL-jS-0XnhYXf7kreM-tlvbSe7V5TFW755PnjDp89RN907I4yFYvnEjYaBnoB0JXlejHeUiKcK5pe-tfAFkZjlq1OQOoda09z-E6ezotfDrSH8WC55cGWKjb~IWeCVRp-Zs-8tQSWzPibpmopeMaLuRARi4byLFQnuXHqngJBvzloyl9ypcXJ0GXbZ02hBGpICEaNH5bW6yNOAApDyPkBHmyCntna4wV0JWEdSajsxSaABANajP7DhC1ngjlbEhBg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 8 out. 2023.

MAGALHÃES, Vaneza. **LAJE ALVEOLAR PROTENDIDA**. 2022. Disponível em: <https://carluc.com.br/elementos-construtivos/laje-alveolar-protendida/>. Acesso em: 10 out. 2023.

MELO, Carlos Eduardo Emrich. **Manual Munte de Projetos Pré-Fabricados de Concreto**. São Paulo: Pini, 2004. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Munte.pdf>. Acesso em: 5 out. 2023.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-19042011-085946/publico/2011ME_WinstonJuniorZumaetaMoncayo.pdf. Acesso em: 2 jan. 2024.

NEUFERT, Ernst. **A arte de projetar em arquitetura**: princípios, normas e prescrições sobre construção, instalações, distribuição e programa de necessidades, dimensões de edifícios, locais e utensílios. 5. ed. São Paulo: Gg Brasil, 1976. 432 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5696284/mod_resource/content/0/NEUFERT.pdf. Acesso em: 24 nov. 2023.

NITTERHOUSE CONCRETE PRODUCTS (Estados Unidos da América). **West Chester University | PA.** 2020. Disponível em: <https://nitterhouseconcrete.com/projects/west-chester-university-pa/>. Acesso em: 11 nov. 2023.

PETRUCELLI, Natalia Savietto. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas.** 2009. 126 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4642/2619.pdf?sequence=1&is>. Acesso em: 5 out. 2023.

PINHEIRO, Gregory Lee; CARVALHO, Roberto Chust; ALMEIDA FILHO, Fernando Menezes de. Lajes alveolares pré-fabricadas: estudo da influência do número e do instante de preenchimento de alvéolos no ganho de resistência à força cortante. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 1-12, 5 jun. 2017. Trimestral. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/17023/10364>. Acesso em: 1 out. 2023.

PINTO, Rivelli da Silva. **Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado.** 1997. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-25052018-173137/publico/Dissert_Pinto_RivelliS.pdf. Acesso em: 2 jan. 2024.

POLAT, Gul. Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries. **Journal Of Civil Engineering And Management.** Istanbul, p. 85-94. 14 out. 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/jcem.2010.08>. Acesso em: 5 out. 2023.

PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE (Estados Unidos da América). **Precast Prestressed Concrete Parking Structures: Recommended Practice for Design and Construction.** 3. ed. Chicago: [S.N], 2015. 174 p. Disponível em: https://sweets.construction.com/swts_content_files_nas/154370/4112817.pdf. Acesso em: 7 out. 2023.

REZENDE, Ezequiel Mendonça; GOUVEIA, Antônio Maria Claret de. Sistemas de estacionamento vertical modulado em estrutura metálica. **Rem: Revista Escola de Minas**, [s. l], v. 59, n. 3, p. 279-284, 3 jul. 2006. Trimestral. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/564/56418938005.pdf>. Acesso em: 1 out. 2023.

RIBEIRO, Marcellus Serejo. **A INDUSTRIALIZAÇÃO COMO REQUISITO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO.** 2002. 37 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: http://leeamb.poli.ufrj.br/Arquivos_para_Download/Dissertacao_Marcellus_Serejo_Ribeiro.pdf. Acesso em: 8 out. 2023.

SANTOS, Luciano Ferreira. **“SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO APLICADOS EM ESTRUTURAS PRÉMOLDADAS DE CONCRETO DE MÚLTIPLOS**

PAVIMENTOS". 2015. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

SILVA, Daniel Pereira. **Projeto estrutural do Edifício Anexo do Instituto do Câncer do Ceará: Dimensionamento de Lajes pré-moldadas e protendidas duplo T**. 2018. 166 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23736>. Acesso em: 8 out. 2023.

SOUSA, Bruno. **Abordagem comparativa – lajes pré- esforçadas tipo TT**. 2014. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2014. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/5619/1/DM_BrunoSousa_2014_MEC.pdf. Acesso em: 6 out. 2023.

SOUZA, Abner Soares de. **Comportamento de elementos pré-moldados de concreto com ligações semi-rígidas**. 2006. 118 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4606/DissASS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 out. 2023.

STANKUS, Fernando. **Novo Terminal de Passageiros do Aeroporto Internacional de Guarulhos**. 2014. Disponível em: <https://www.galeriadaarquitectura.com.br/projeto/engecorps/novo-terminal-de-passageiros-do-aeroporto-internacional-de-guarulhos/1571>. Acesso em: 23 fev. 2025.

TATU PRÉ-MOLDADOS. **LAJE ALVEOLAR PROTENDIDA**. Disponível em: https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/lajes_alveolares.pdf. Acesso em: 4 out. 2023.

TEIXEIRA, Tiago Araujo. **Comparação na utilização de painéis alveolares e painéis do tipo PI protendidos no projeto de edifícios garagem em concreto pré-fabricado**. 2020. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13594?show=full>. Acesso em: 1 out. 2023.

TQS DOCS. **Estabilidade Global e 2ª Ordem**: análise não-linear geométrica (p-delta). Análise não-linear geométrica (P-Delta). [s.n]. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3155&language=pt-br>. Acesso em: 25 jul. 2024.

ULTIMATE ENGINEERED CONCRETE. **PRECAST & PRE-STRESSED CONCRETE SPECIALISTS**: double tee flooring. DOUBLE TEE FLOORING. Disponível em: <https://www.ultimateconcrete.co.nz/wp-content/uploads/2022/10/UC-Double-Tee-Flooring-INFO.pdf>. Acesso em: 4 out. 2023.

URBINATTI, Lucas Mendonça. **Análise e Comparação do projeto de Painéis Duplo**

Tê e Lajes Alveolares Protendidas Pré-Fabricadas Utilizadas na Construção Civil. 2018. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

VAN ACKER, Arnold. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto.** São Paulo: [S.N], 2002. Tradução de: Marcelo de Araújo Ferreira. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Fib.pdf>. Acesso em: 5 out. 2023.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSAR JUNIOR, Kléos M Lenz. **Concreto Protendido: Fundamentos Básicos.** 4. ed. Viçosa: [S.N], 1998. 78 p. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

WORDELL, Fernando. **Avaliação da Instabilidade Global de Edifícios Altos.** 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10167/000543149.pdf?sequence=1>. Acesso em: 2 jan. 2024.

ANEXO A

Resultados A.1: Resultados da estabilidade global do edifício com laje alveolar de 3 pavimentos

Estabilidade global / Deslocamentos laterais

25/08/24 19:21:49

Modelo 1 - Laje alveolar - 3 pavimentos

TQS

Projeto: Edifício com laje alveolar - 3 pavimentos

RUA ANTONO PIROLLA, 290 VILA ALPES

Rodovia Engenho Thales de Lorena Peixoto Júnior 20153

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga accidental reduzida	γ_z - Total, FAVt - Total
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coefficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	40290 MPa
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 Total	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
Coefficiente p/classificar estrutura deslocável	FAVt
Valor de referência de estrutura deslocável	1.10
Valor de referência de α	0.50
Número mínimo de pisos no edifício p/aplicar γ_z	4
Cota final	6.0 m
Cota inicial	-0.6 m
Tipo de edificação	D - Edifícios de múltiplos andares até 4 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
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4

40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

^ Combinações de ELU - pilares e fundações

Caso	Título
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	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	90.00	4451.35	2.50	18.53	70.83	87.53	1.05	0.392	H
	6	270.00	4451.35	2.50	18.53	70.83	87.53	1.05	0.392	H
	7	0.00	4451.35	1.17	9.76	37.34	87.53	1.04	0.365	H
	8	180.00	4451.35	1.17	9.76	37.34	87.53	1.04	0.365	H

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (°).

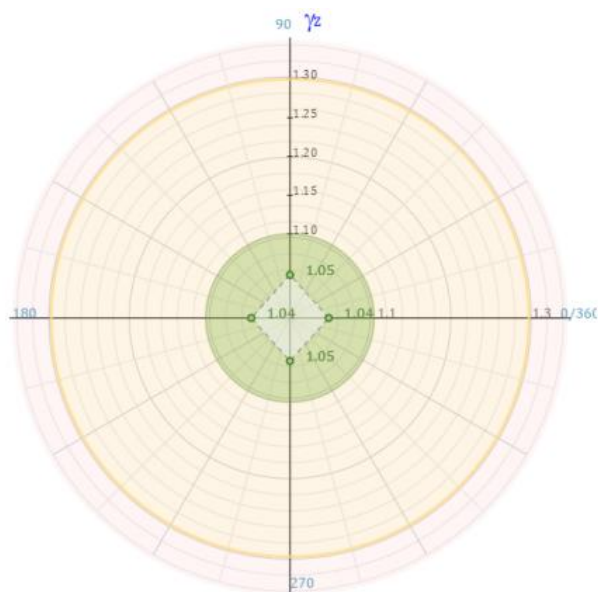
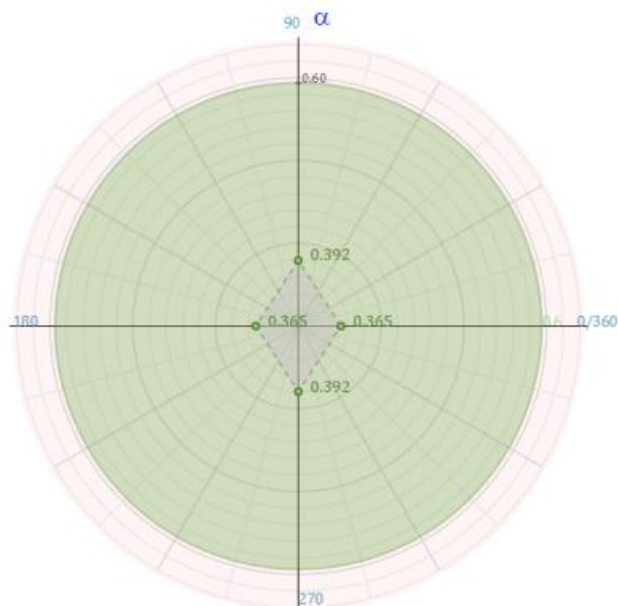
CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

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.^ Parâmetro α 

c) Combinações ELU - vigas e lajes

^Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (RM2M1) para combinações de ELU - vigas e lajes	Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	RM2M1	α	Obs
		15	90.00	4451.35	0.92	11.12	42.50	1	1.028	0.256
	16	270.00	4451.35	2.23	11.12	42.50	1	1.067	0.506	B
	17	0.00	4451.35	0.92	5.85	22.40	1	1.052	0.429	
	18	180.00	4451.35	0.55	5.85	22.40	1	1.031	0.303	
	19	90.00	4451.35	1.97	18.53	70.83	1	1.035	0.323	

	20	270.00	4451.35	3.27	18.53	70.83	1	1.059	0.465	
	21	0.00	4451.35	1.40	9.76	37.34	1	1.048	0.407	
	22	180.00	4451.35	1.03	9.76	37.34	1	1.035	0.333	
	36	90.00	4451.35	0.92	11.12	42.50	1	1.028	0.256	
	37	270.00	4451.35	2.23	11.12	42.50	1	1.067	0.506	B
	38	0.00	4451.35	0.92	5.85	22.40	1	1.052	0.429	
	39	180.00	4451.35	0.55	5.85	22.40	1	1.031	0.303	
	40	90.00	4451.35	1.97	18.53	70.83	1	1.035	0.323	
	41	270.00	4451.35	3.27	18.53	70.83	1	1.059	0.465	
	42	0.00	4451.35	1.40	9.76	37.34	1	1.048	0.407	
	43	180.00	4451.35	1.03	9.76	37.34	1	1.035	0.333	

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (°).

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.

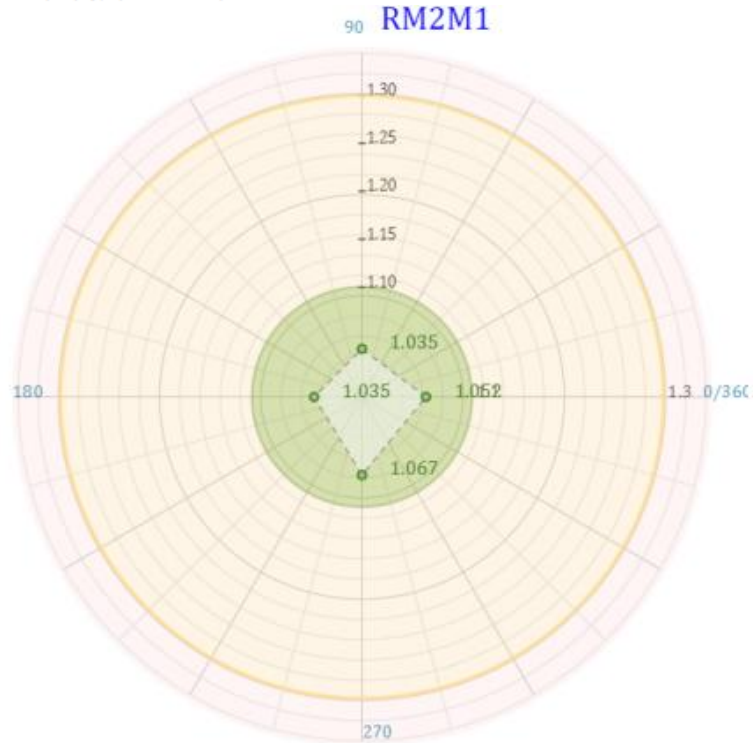
FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem. Calcula como γ_2 , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

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.



e) ELU - Observações IMPORTANTES

Este edifício foi calculado com processo P-Δ. Os esforços obtidos já consideram os efeitos de 2ª ordem. Os valores de γ_z nesta listagem servem para referência de quanto aproximadamente os esforços foram majorados em relação a uma análise linear, para consideração de efeitos globais de 2ª ordem. Eles não multiplicarão os esforços devido a cargas horizontais passados para dimensionamento e detalhamento de vigas e pilares.

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="H":

Os esforços adicionais devido ao desaprumo estimado dos elementos verticais são maiores que 30% dos esforços devido a vento. Estimamos na tabela abaixo coeficientes de arrasto dos casos de vento para combinar vento e desaprumo de acordo com a NBR-6118:2014 aplicando o desaprumo Total calculado em função da altura do edifício.

Caso Número do caso de carregamento de vento

CAtu Coeficiente de arrasto definido nos dados do edifício

CAsu Coeficiente sugerido p/que o vento simule carregamento de desaprumo

Título Título do carregamento

Obs Observações (A/B/C..).

Coeficiente de arrasto sugerido para simular efeito do desaprumo	Caso	CAtu	CAsu	Título	Obs
	5	0.950	2.145	Vento (1) 90°	H
	6	0.950	2.145	Vento (2) 270°	H
	7	0.750	2.533	Vento (3) 0°	H
	8	0.750	2.533	Vento (4) 180°	H

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 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

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

Casos de carregamento

b) Valores máximos permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1200.00
Altura do edifício (m)	H= 6.6
Horizontal entre pavimentos	HI/ 750.00

c) Deslocamentos máximos

^ Tabela detalhada

Caso	Ang	DeslH	Ajuste E	DeslHc	Relat1	Obs
5	90.00	0.01	0.91	0.01	H/60889.1	D
6	270.00	0.01	0.91	0.01	H/60889.1	
7	0.00	0.01	0.91	0.00	H/*****	
8	180.00	0.01	0.91	0.00	H/*****	

Caso - Caso de carregamento de ELS

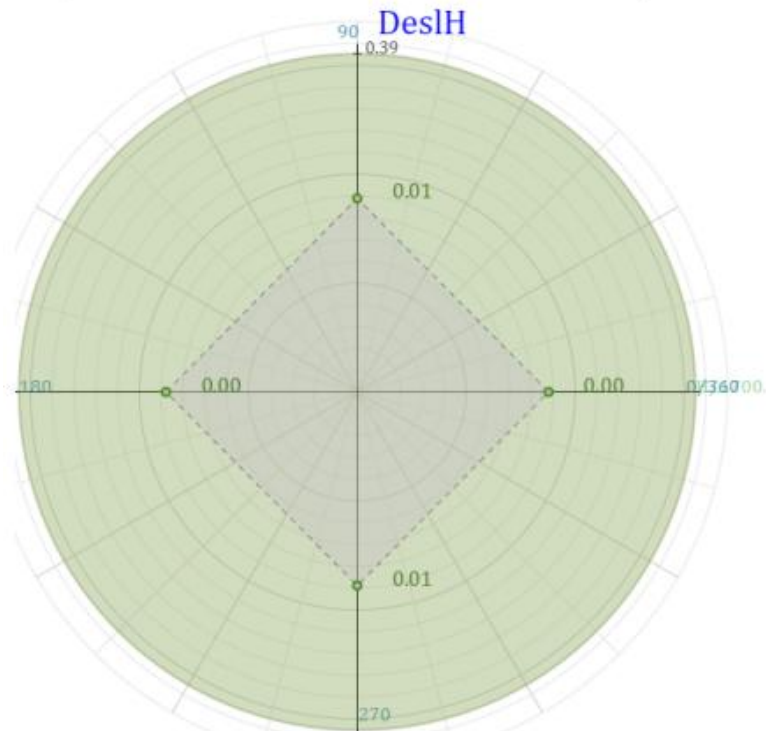
DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

DeslHc - Deslocamento horizontal corrigido pela relação Eci/Ecs

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

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



^Tabela detalhada Desloc. máx

Deslocamentos máximos				
Piso	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
3	0.04	0.04	0.02	0.02
2	0.03	0.03	0.01	0.01
1	0.00	0.00	0.00	0.00

Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

d) Deslocamentos máximos entre pisos

^Tabela detalhada

Deslocamentos máximos entre pisos							
Caso	Ang	Piso	DeslHp	Ajuste E	DeslHc	Relat3	Obs
5	90.00	2	0.01	0.91	0.01	Hi/44134.5	DE
6	270.00	2	0.01	0.91	0.01	Hi/44134.5	
7	0.00	2	0.00	0.91	0.00	Hi/92825.5	
8	180.00	2	0.00	0.91	0.00	Hi/92825.5	

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

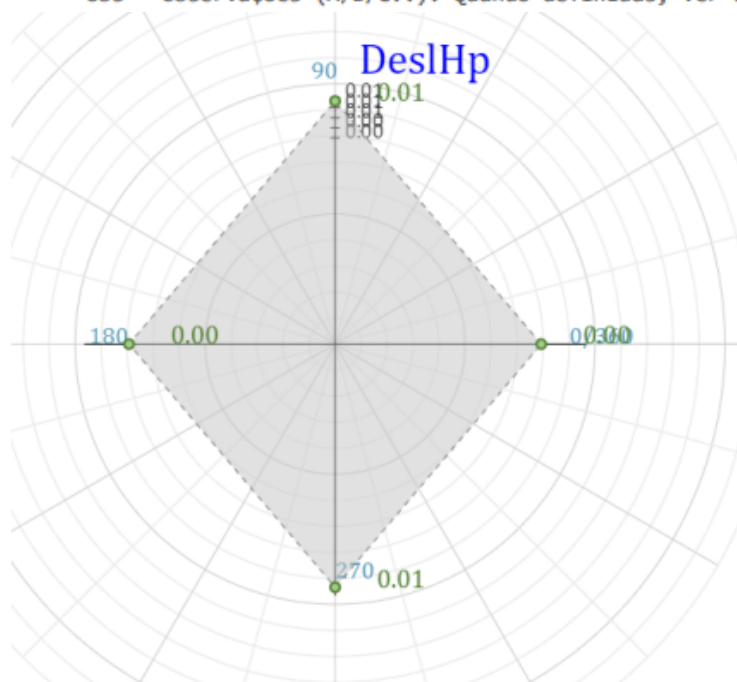
DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)

Relat3 - Valor relativo ao pé-direito do pavimento

DeslHc - Deslocamento horizontal entre pisos corrigido pela relação E_{ci}/E_{cs}

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

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



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 v_2 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 v_2 obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.

Resultados A.2: Resultados da estabilidade global do edifício com laje alveolar de 5 pavimentos

Estabilidade global / Deslocamentos laterais

25/08/24 19:59:45

Modelo 3 - Laje alveolar - 5 pavimentos

TQS

Projeto: Edifício com laje alveolar - 5 pavimentos

RUA ANTONO PIROLLA, 290 VILA ALPES

Rodovia Engenho Thales de Lorena Peixoto Júnior 20153

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga accidental reduzida	γ_z - Total, FAVt - Total
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coefficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	40290 MPa
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 Total	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
Coefficiente 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	12.0 m
Cota inicial	-0.6 m
Tipo de edificação	D - Edifícios de múltiplos andares até 4 pavimentos

2 - ELU - Estabilidade Global

a) Descrição dos casos/combinções

^ Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
5	VENT1	Vento (1) 98°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

^ Combinações de ELU - vigas e lajes

Caso	Título
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

^ Combinações de ELU - pilares e fundações

Caso	Título
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	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	90.00	8891.91	23.05	46.40	334.44	201.76	1.10	0.586	H
	6	270.00	8891.91	23.05	46.40	334.44	201.76	1.10	0.586	H
	7	0.00	8891.91	10.30	24.70	178.06	201.76	1.08	0.531	H
	8	180.00	8891.91	10.30	24.70	178.06	201.76	1.08	0.531	H

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (°).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

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

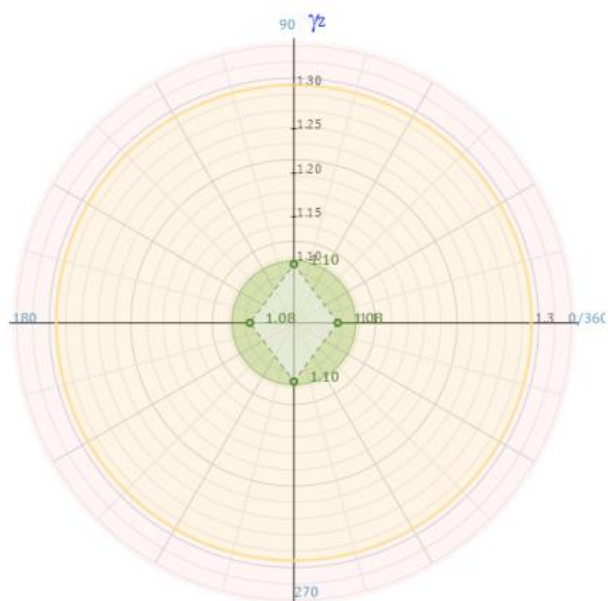
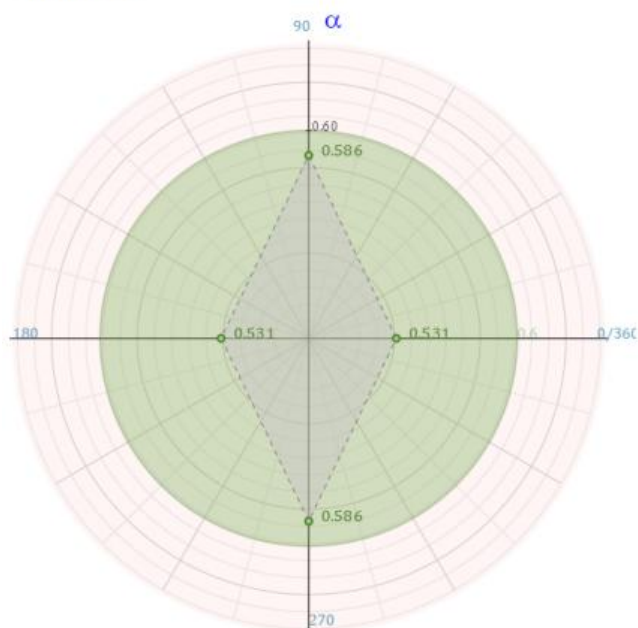
CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

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.

^ Parâmetro α 

c) Combinações ELU - vigas e lajes

^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (RM2M1) para combinações de ELU - vigas e lajes	Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	RM2M1	α	Obs
	15	90.00	8891.91	9.23	27.84	200.66	1	1.059	0.388	
16	270.00	8891.91	21.41	27.84	200.66	1	1.136	0.778	B	
17	0.00	8891.91	8.23	14.82	106.84	1	1.098	0.638	B	
18	180.00	8891.91	5.26	14.82	106.84	1	1.063	0.451		
19	90.00	8891.91	19.29	46.40	334.44	1	1.073	0.49		
20	270.00	8891.91	31.45	46.40	334.44	1	1.12	0.715	B	
21	0.00	8891.91	12.66	24.70	178.06	1	1.09	0.604	B	
22	180.00	8891.91	9.70	24.70	178.06	1	1.069	0.493		
36	90.00	8891.91	9.23	27.84	200.66	1	1.059	0.388		
37	270.00	8891.91	21.41	27.84	200.66	1	1.136	0.778	B	
38	0.00	8891.91	8.23	14.82	106.84	1	1.098	0.638	B	
39	180.00	8891.91	5.26	14.82	106.84	1	1.063	0.451		
40	90.00	8891.91	19.29	46.40	334.44	1	1.073	0.49		
41	270.00	8891.91	31.45	46.40	334.44	1	1.12	0.715	B	
42	0.00	8891.91	12.66	24.70	178.06	1	1.09	0.604	B	
43	180.00	8891.91	9.70	24.70	178.06	1	1.069	0.493		

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (°).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

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

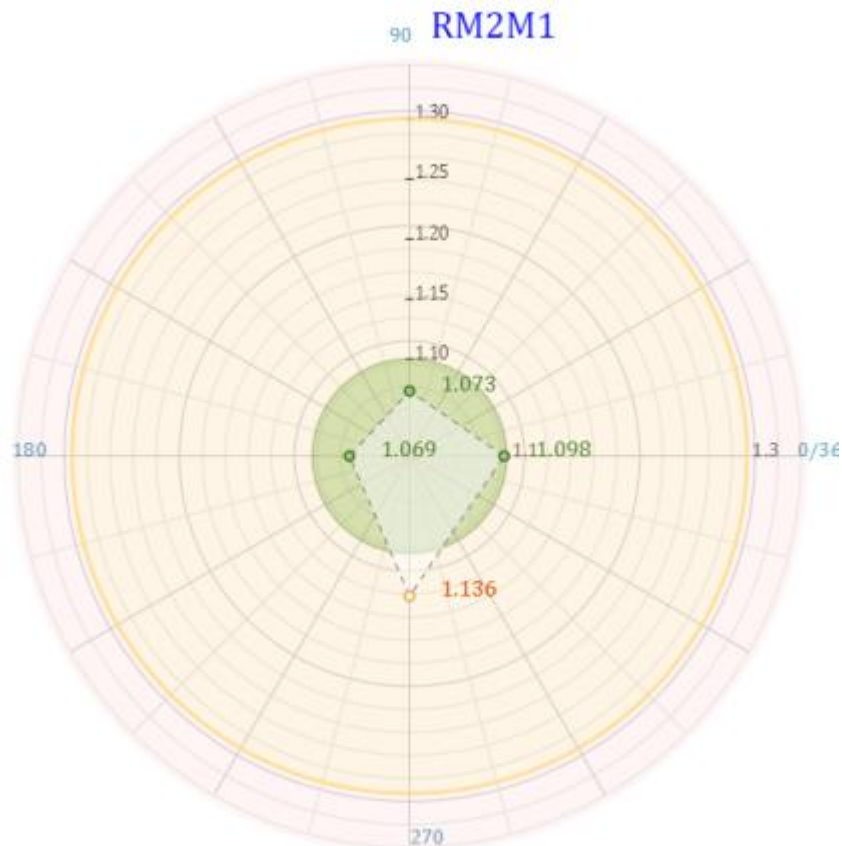
CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

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_2 , 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 .

e) ELU - Observações IMPORTANTES

Este edifício foi calculado com processo P-Δ. Os esforços obtidos já consideram os efeitos de 2ª ordem. Os valores de γ_z nesta listagem servem para referência de quanto aproximadamente os esforços foram majorados em relação a uma análise linear, para consideração de efeitos globais de 2ª ordem. Eles não multiplicarão os esforços devido a cargas horizontais passadas para dimensionamento e detalhamento de vigas e pilares.

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="H":

Os esforços adicionais devido ao desaprumo estimado dos elementos verticais são maiores que 30% dos esforços devido a vento. Estimamos na tabela abaixo coeficientes de arrasto dos casos de vento para combinar vento e desaprumo de acordo com a NBR-6118:2014 aplicando o desaprumo Total calculado em função da altura do edifício.

Caso Número do caso de carregamento de vento

CA_{Tu} Coeficiente de arrasto definido nos dados do edifício

CA_{Su} Coeficiente sugerido p/que o vento simule carregamento de desaprumo

Título Título do carregamento

Obs Observações (A/B/C..).

Coeficiente de arrasto sugerido para simular efeito do desaprumo	Caso	CA _{Tu}	CA _{Su}	Título	Obs
	5	1.000	1.619	Vento (1) 90°	H
	6	1.000	1.619	Vento (2) 270°	H
	7	0.800	1.724	Vento (3) 0°	H
	8	0.800	1.724	Vento (4) 180°	H

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

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

Casos de carregamento

b) Valores máximos permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1200.00
Altura do edifício (m)	H= 12.6
Horizontal entre pavimentos	Hi/ 750.00

c) Deslocamentos máximos

^ Tabela detalhada

Caso	Ang	DeslH	Ajuste E	DeslHc	Relat1	Obs
5	90.00	0.06	0.91	0.05	H/23363.3	D
6	270.00	0.06	0.91	0.05	H/23363.3	
7	0.00	0.03	0.91	0.02	H/52920.3	
8	180.00	0.03	0.91	0.02	H/52920.3	

Caso - Caso de carregamento de ELS

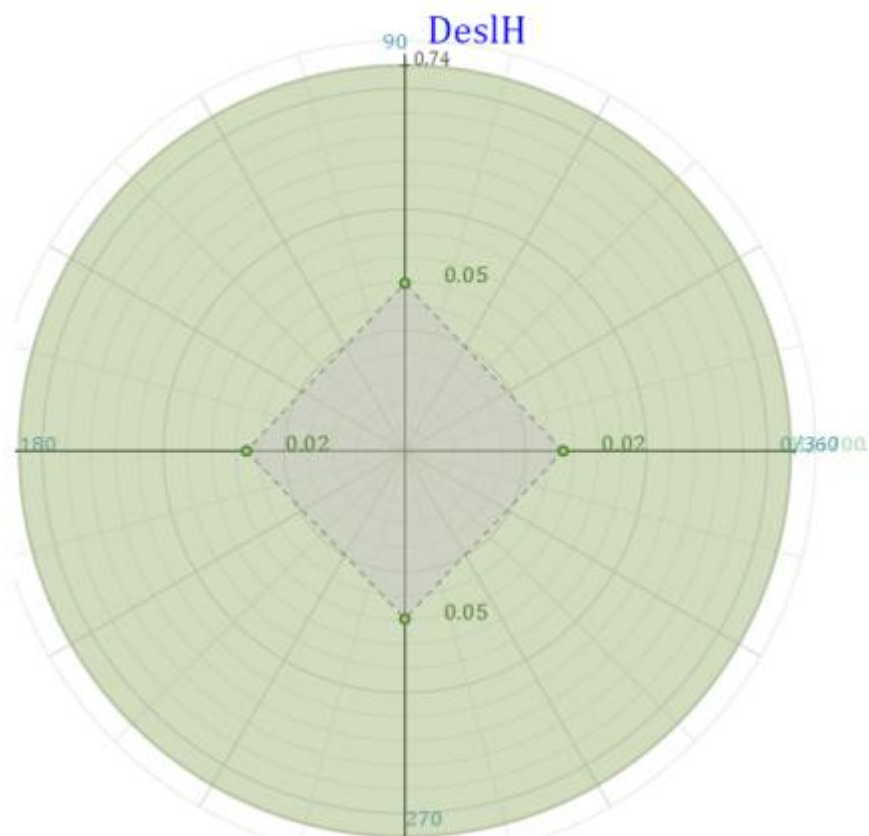
DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

DeslHc - Deslocamento horizontal corrigido pela relação Eci/Ecs

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

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



^Tabela detalhada Desloc. máx

	Piso	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
Deslocamentos máximos	5	0.20	0.20	0.09	0.09
	4	0.18	0.18	0.08	0.08
	3	0.14	0.14	0.07	0.07
	2	0.09	0.09	0.04	0.04
	1	0.01	0.01	0.01	0.01

Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

d) Deslocamentos máximos entre pisos

^Tabela detalhada

	Caso	Ang	Piso	DeslHp	Ajuste E	DeslHc	Relat3	Obs
Deslocamentos máximos entre pisos	5	90.00	2	0.02	0.91	0.02	HI/14308.2	DE
	6	270.00	2	0.02	0.91	0.02	HI/14308.2	
	7	0.00	2	0.01	0.91	0.01	HI/30385.3	
	8	180.00	2	0.01	0.91	0.01	HI/30385.3	

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

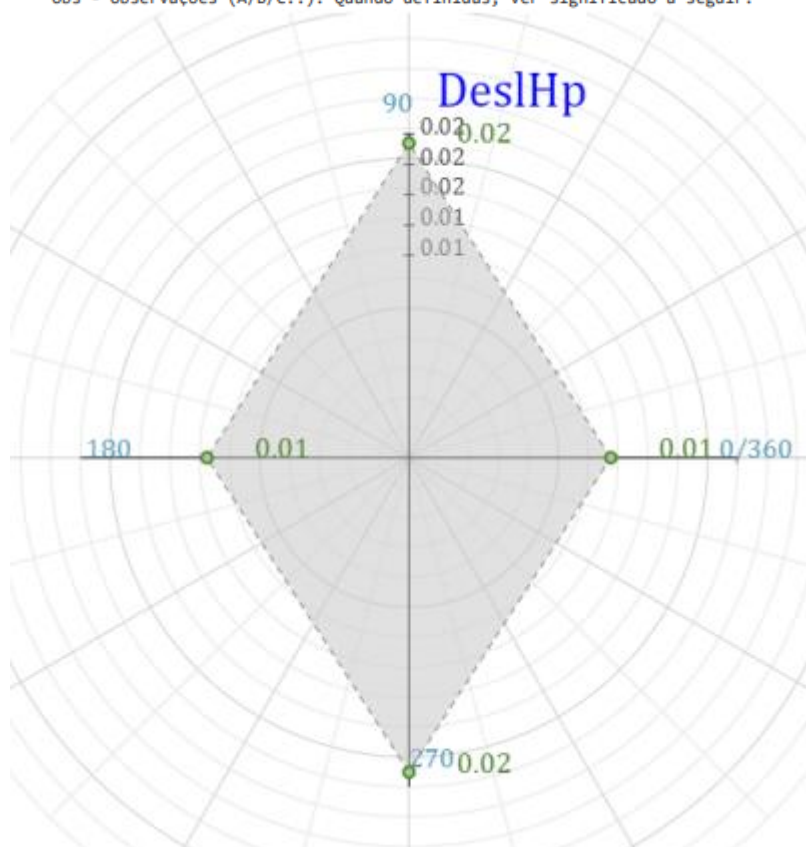
DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)

Relat3 - Valor relativo ao pé-direito do pavimento

DeslHc - Deslocamento horizontal entre pisos corrigido pela relação Eci/Ecs

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

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



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 v_2 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 v_2 obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.

Resultados A.3: Resultados da estabilidade global do edifício com laje do tipo pi de 3 pavimentos

Estabilidade global / Deslocamentos laterais

25/08/24 18:39:20

Modelo 2 - Laje do tipo pi - 3 pavimentos

TQS

Projeto: Edifício com laje do tipo PI - 3 pavimentos

RUA ANTONO PIROLLA, 290 VILA ALPES

Rodovia Engenho Thales de Lorena Peixoto Júnior 20153

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga acidental reduzida	γ_z - Total, FAVt - Total
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coefficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	40290 MPa
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/desapruno preponderante	300.00
Número de prumadas p/cálculo de Total	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
Coefficiente p/classificar estrutura deslocável	FAVt
Valor de referência de estrutura deslocável	1.10
Valor de referência de α	0.50
Número mínimo de pisos no edifício p/aplicar γ_z	4
Cota final	6.0 m
Cota inicial	-0.6 m
Tipo de edificação	D - Edifícios de múltiplos andares até 4 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
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

^ Combinações de ELU - pilares e fundações

Caso	Título
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	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	90.00	4282.03	2.99	18.49	70.66	84.36	1.06	0.423	H
	6	270.00	4282.03	2.99	18.49	70.66	84.36	1.06	0.423	H
	7	0.00	4282.03	1.45	9.74	37.26	84.36	1.05	0.406	H
	8	180.00	4282.03	1.45	9.74	37.26	84.36	1.05	0.406	H

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (°).

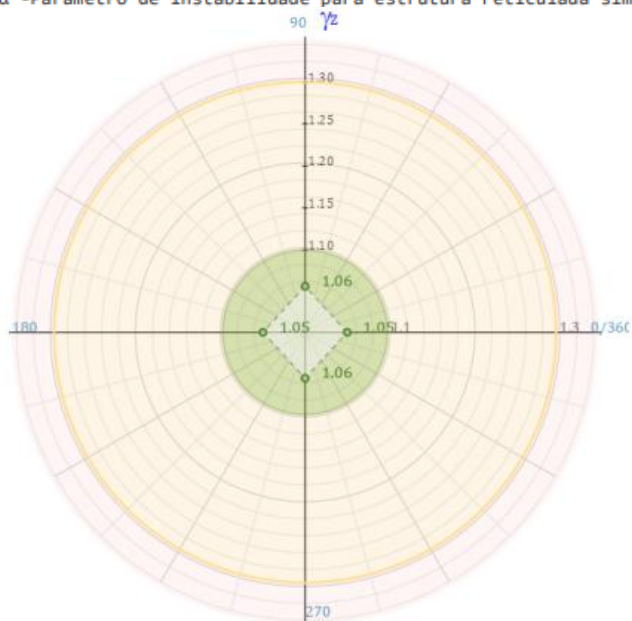
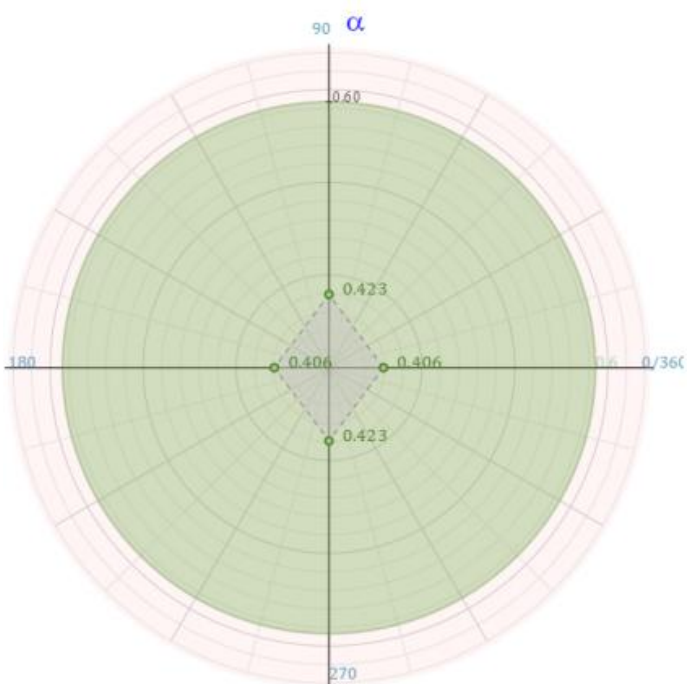
CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

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.^ Parâmetro α 

c) Combinações ELU - vigas e lajes

^ Tabela detalhada

Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	MultH	RM2M1		α	Obs
15	90.00	4282.03	1.85	11.09	42.40	1	1.056	0.419		
16	270.00	4282.03	1.95	11.09	42.40	1	1.059	0.452		
17	0.00	4282.03	0.78	5.85	22.36	1	1.044	0.372		
18	180.00	4282.03	1.06	5.85	22.36	1	1.061	0.455		
19	90.00	4282.03	3.11	18.49	70.66	1	1.056	0.425		
20	270.00	4282.03	3.21	18.49	70.66	1	1.058	0.444		
21	0.00	4282.03	1.39	9.74	37.26	1	1.047	0.39		
22	180.00	4282.03	1.67	9.74	37.26	1	1.057	0.44		
36	90.00	4282.03	1.85	11.09	42.40	1	1.056	0.419		
37	270.00	4282.03	1.95	11.09	42.40	1	1.059	0.452		
38	0.00	4282.03	0.78	5.85	22.36	1	1.044	0.372		
39	180.00	4282.03	1.06	5.85	22.36	1	1.061	0.455		
40	90.00	4282.03	3.11	18.49	70.66	1	1.056	0.425		
41	270.00	4282.03	3.21	18.49	70.66	1	1.058	0.444		
42	0.00	4282.03	1.39	9.74	37.26	1	1.047	0.39		
43	180.00	4282.03	1.67	9.74	37.26	1	1.057	0.44		

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (°).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

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

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

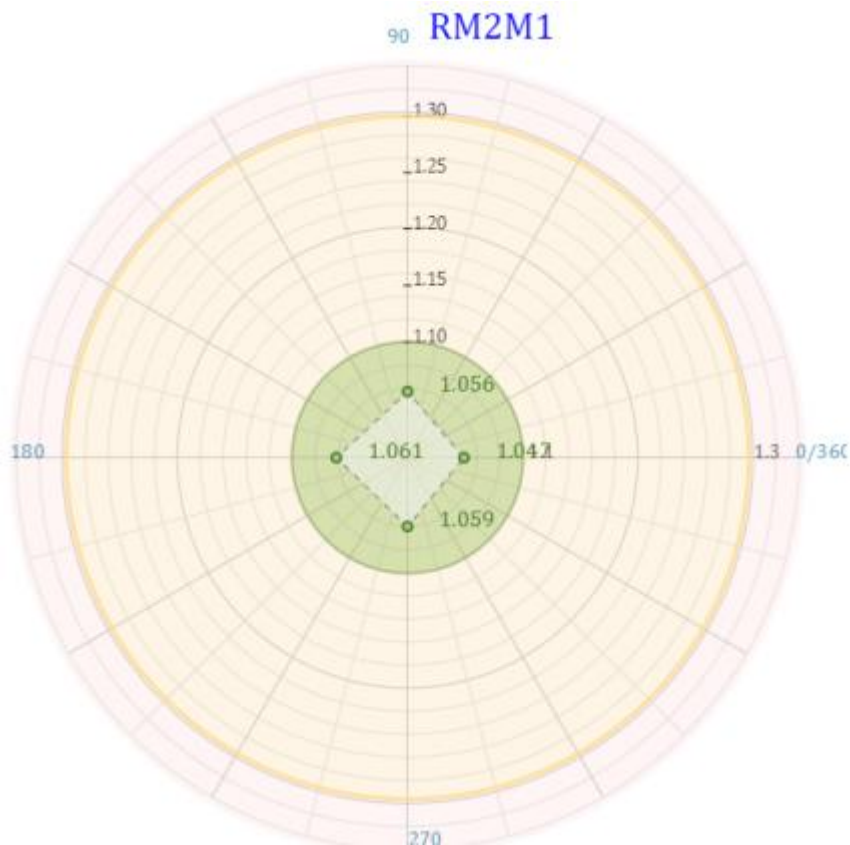
M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

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.

e) ELU - Observações IMPORTANTES

Este edifício foi calculado com processo P-Δ. Os esforços obtidos já consideram os efeitos de 2ª ordem. Os valores de γ_2 nesta listagem servem para referência de quanto aproximadamente os esforços foram majorados em relação a uma análise linear, para consideração de efeitos globais de 2ª ordem. Eles não multiplicarão os esforços devido a cargas horizontais passadas para dimensionamento e detalhamento de vigas e pilares.

Observações para os casos com Obs="H":

Os esforços adicionais devido ao desaprumo estimado dos elementos verticais são maiores que 30% dos esforços devido a vento. Estimamos na tabela abaixo coeficientes de arrasto dos casos de vento para combinar vento e desaprumo de acordo com a NBR-6118:2014 aplicando o desaprumo Total calculado em função da altura do edifício.

Caso Número do caso de carregamento de vento

CAtu Coeficiente de arrasto definido nos dados do edifício

CAsu Coeficiente sugerido p/que o vento simule carregamento de desaprumo

Título Título do carregamento

Obs Observações (A/B/C..).

Coeficiente de arrasto sugerido para simular efeito do desaprumo	Caso	CAtu	CAsu	Título	Obs
	5	0.950	2.105	Vento (1) 90°	H
	6	0.950	2.105	Vento (2) 270°	H
	7	0.750	2.472	Vento (3) 0°	H
	8	0.750	2.472	Vento (4) 180°	H

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_2 para valores de γ_2 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_2 obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

3 - ELS - Deslocamentos laterais

a) Descrição dos casos

^ Tabela detalhada

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 (m)	H= 6.6
Horizontal entre pavimentos	Hi/ 750.00

c) Deslocamentos máximos

^ Tabela detalhada

Caso	Ang	DeslH	Ajuste E	DeslHc	Relat1	Obs
5	90.00	0.01	0.91	0.01	H/48440.4	D
6	270.00	0.01	0.91	0.01	H/48440.4	
7	0.00	0.01	0.91	0.01	H/*****	
8	180.00	0.01	0.91	0.01	H/*****	

Caso - Caso de carregamento de ELS

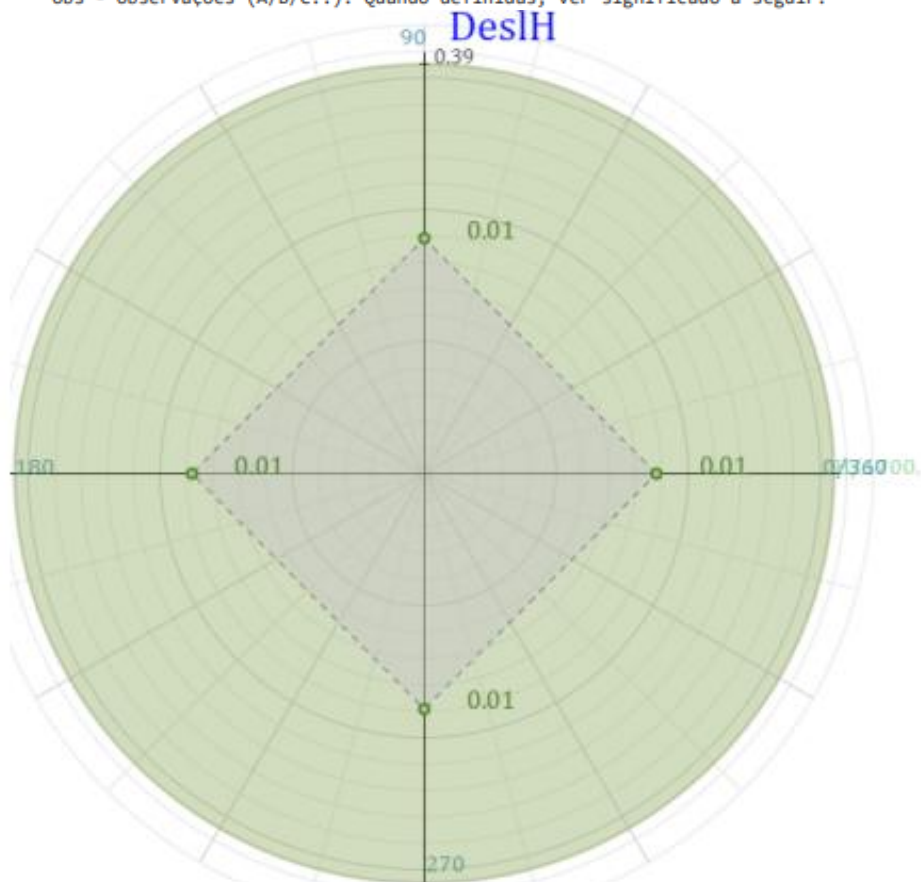
DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

DeslHc - Deslocamento horizontal corrigido pela relação Eci/Ecs

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

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



^Tabela detalhada Desloc. máx

Deslocamentos máximos				
Piso	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
3	0.05	0.05	0.02	0.02
2	0.04	0.04	0.02	0.02
1	0.00	0.00	0.00	0.00

Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

d) Deslocamentos máximos entre pisos

^Tabela detalhada

Deslocamentos máximos entre pisos							
Caso	Ang	Piso	DeslHp	Ajuste E	DeslHc	Relat3	Obs
5	90.00	2	0.01	0.91	0.01	Hi/34208.2	DE
6	270.00	2	0.01	0.91	0.01	Hi/34208.2	
7	0.00	2	0.00	0.91	0.00	Hi/70813.1	
8	180.00	2	0.00	0.91	0.00	Hi/70813.1	

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

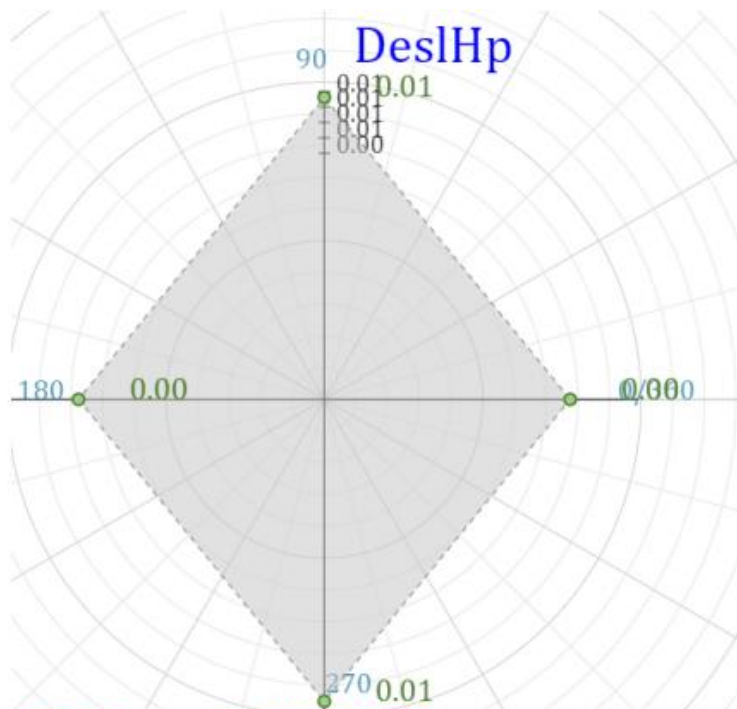
DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)

Relat3 - Valor relativo ao pé-direito do pavimento

DeslHc - Deslocamento horizontal entre pisos corrigido pela relação Eci/Ecs

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

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



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 v_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 v_z obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.

Resultados A.4: Resultados da estabilidade global do edifício com laje do tipo pi de 5 pavimentos

Estabilidade global / Deslocamentos laterais

25/08/24 18:58:56

Modelo 4 - Laje do tipo pi - 5 pavimentos

TQS

Projeto: Edifício com laje do tipo PI - 5 pavimentos

RUA ANTONO PIROLLA, 290 VILA ALPES

Rodovia Engenho Thales de Lorena Peixoto Júnior 20153

1 - Informações de cálculo

Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga acidental reduzida	γ_z - Total, FAVt - Total
Majorador de cargas verticais γ_F / γ_{F3}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_F / γ_{F3}	1.27
Coefficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	40290 MPa
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
Coefficiente 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	12.0 m
Cota inicial	-0.6 m
Tipo de edificação	D - Edifícios de múltiplos andares até 4 pavimentos

2 - ELU - Estabilidade Global

a) Descrição dos casos/combinções

^ Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
5	VENT1	Vento (1) 98°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

^ Combinações de ELU - vigas e lajes

Caso	Título
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4

^ Combinações de ELU - pilares e fundações

Caso	Título
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
22	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
36	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
37	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
38	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
39	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
40	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
41	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
42	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
43	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	90.00	8555.66	26.96	46.38	334.52	194.34	1.11	0.629	B H
	6	270.00	8555.66	26.96	46.38	334.52	194.34	1.11	0.629	B H
	7	0.00	8555.66	12.93	24.68	178.17	194.34	1.10	0.595	H
	8	180.00	8555.66	12.93	24.68	178.17	194.34	1.10	0.595	H

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (°).

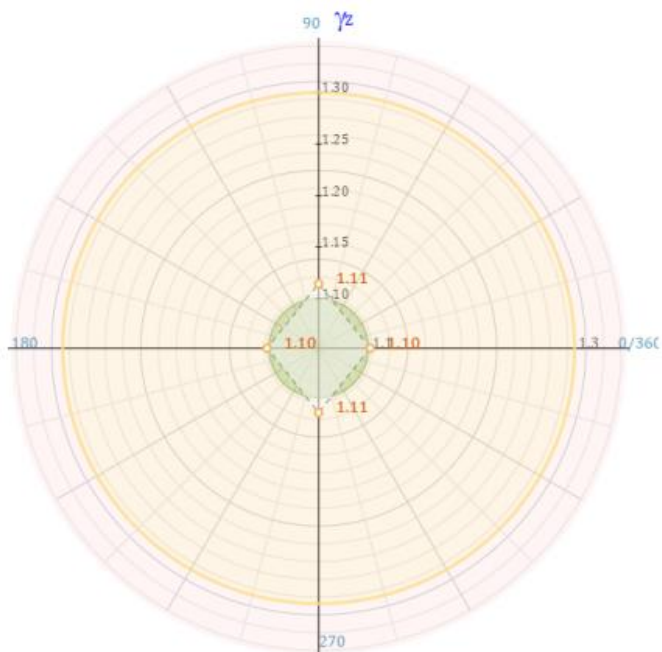
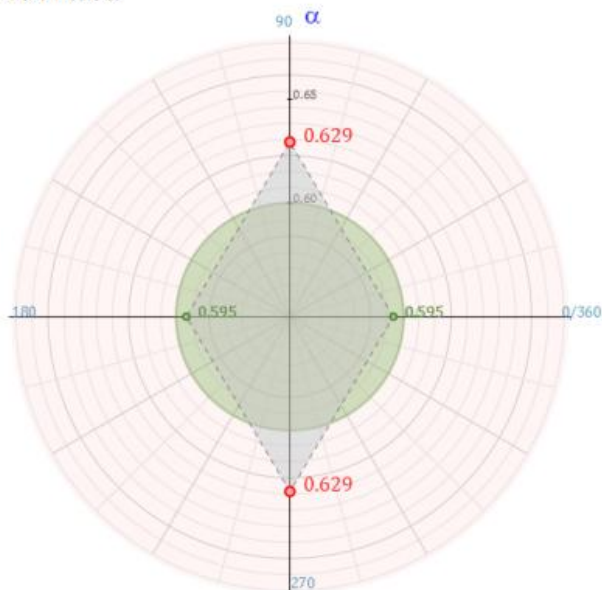
CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

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.^Parâmetro α 

c) Combinações ELU - vigas e lajes

^ Tabela detalhada

Parâmetro de estabilidade (RM2M1) para combinações de ELU - vigas e lajes	Caso	Ang	CTot	M2	Chor	M1	MultH	RM2M1	α	Obs
	15	90.00	8555.66	17.74	27.83	200.71	1	1.113	0.649	B
	16	270.00	8555.66	18.81	27.83	200.71	1	1.119	0.684	B
	17	0.00	8555.66	7.32	14.81	106.90	1	1.087	0.547	
	18	180.00	8555.66	10.02	14.81	106.90	1	1.119	0.695	B
	19	90.00	8555.66	29.67	46.38	334.52	1	1.113	0.653	B

20	270.00	8555.66	30.77	46.38	334.52	1	1.117	0.674	B
21	0.00	8555.66	13.00	24.68	178.17	1	1.093	0.578	
22	180.00	8555.66	15.69	24.68	178.17	1	1.112	0.667	B
36	90.00	8555.66	17.74	27.83	200.71	1	1.113	0.649	B
37	270.00	8555.66	18.81	27.83	200.71	1	1.119	0.684	B
38	0.00	8555.66	7.32	14.81	106.90	1	1.087	0.547	
39	180.00	8555.66	10.02	14.81	106.90	1	1.119	0.695	B
40	90.00	8555.66	29.67	46.38	334.52	1	1.113	0.653	B
41	270.00	8555.66	30.77	46.38	334.52	1	1.117	0.674	B
42	0.00	8555.66	13.00	24.68	178.17	1	1.093	0.578	
43	180.00	8555.66	15.69	24.68	178.17	1	1.112	0.667	B

Caso - Caso de combinação.

Ang - Ângulo de vento (°).

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.

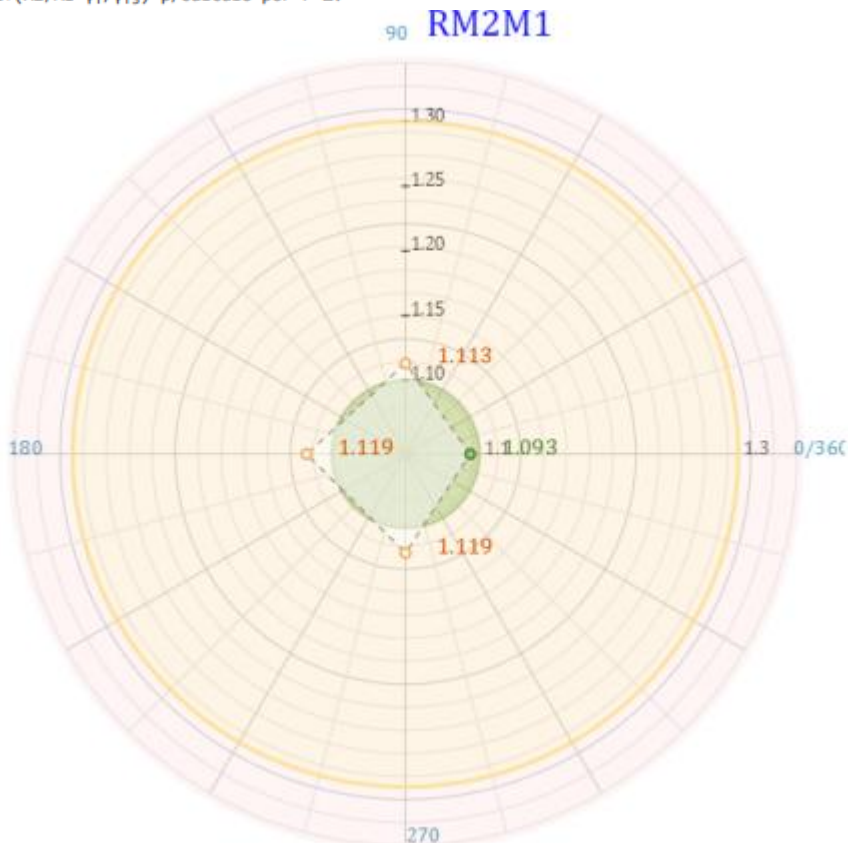
FAVt - Fator de amplificação de esforços horizontais(vento) de 1a ordem para consideração simplificada de esforços de 2a ordem. Calcula como γ_2 , mas considera o desloc horizontal de cargas verticais.

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.



e) ELU - Observações IMPORTANTES

Este edifício foi calculado com processo P-Δ. Os esforços obtidos já consideram os efeitos de 2ª ordem. Os valores de γ_2 nesta listagem servem para referência de quanto aproximadamente os esforços foram majorados em relação a uma análise linear, para consideração de efeitos globais de 2ª ordem. Eles não multiplicarão os esforços devido a cargas horizontais passados para dimensionamento e detalhamento de vigas e pilares.

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="H":

Os esforços adicionais devido ao desaprumo estimado dos elementos verticais são maiores que 30% dos esforços devido a vento. Estimamos na tabela abaixo coeficientes de arrasto dos casos de vento para combinar vento e desaprumo de acordo com a NBR-6118:2014 aplicando o desaprumo Total calculado em função da altura do edifício.

Caso Número do caso de carregamento de vento

CAtu Coeficiente de arrasto definido nos dados do edifício

CAsu Coeficiente sugerido p/que o vento simule carregamento de desaprumo

Título Título do carregamento

Obs Observações (A/B/C..).

Coeficiente de arrasto sugerido para simular efeito do desaprumo	Caso	CAtu	CAsu	Título	Obs
	5	1.000	1.597	Vento (1) 90°	H
	6	1.000	1.597	Vento (2) 270°	H
	7	0.800	1.689	Vento (3) 0°	H
	8	0.800	1.689	Vento (4) 180°	H

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_2 para valores de γ_2 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_2 obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

3 - ELS - Deslocamentos laterais

a) Descrição dos casos

^ Tabela detalhada

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

Casos de carregamento

b) Valores máximos permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1200.00
Altura do edifício (m)	H= 12.6
Horizontal entre pavimentos	HI/ 750.00

c) Deslocamentos máximos

^ Tabela detalhada

Caso	Ang	DeslH	Ajuste E	DeslHc	Relat1	Obs
5	90.00	0.07	0.91	0.07	H/19212.5	D
6	270.00	0.07	0.91	0.07	H/19212.5	
7	0.00	0.03	0.91	0.03	H/40057.9	
8	180.00	0.03	0.91	0.03	H/40057.9	

Caso - Caso de carregamento de ELS

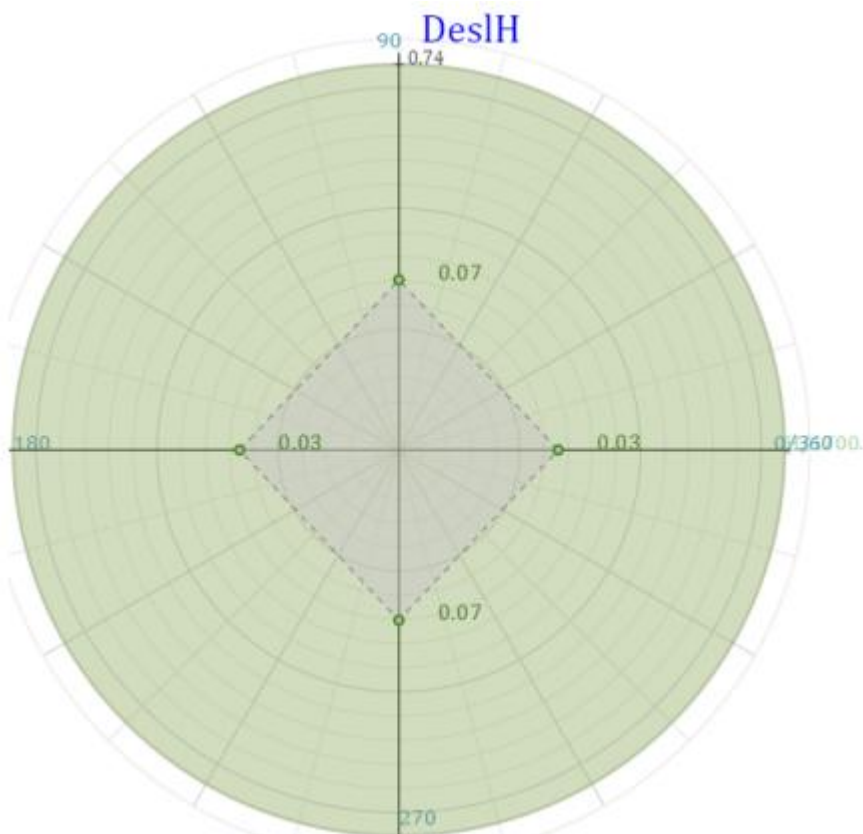
DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

DeslHc - Deslocamento horizontal corrigido pela relação Eci/Ecs

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

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



^ Tabela detalhada Desloc. máx

Deslocamentos máximos		Piso	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
		5	0.24	0.24	0.12	0.12
4	0.22	0.22	0.11	0.11		
3	0.18	0.18	0.09	0.09		
2	0.11	0.11	0.05	0.05		
1	0.01	0.01	0.01	0.01		

Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

d) Deslocamentos máximos entre pisos

^ Tabela detalhada

Deslocamentos máximos entre pisos		Caso	Ang	Piso	DeslHp	Ajuste E	DeslHc	Relat3	Obs
		5	90.00	2	0.03	0.91	0.03	Hi/11399.2	DE
6	270.00	2	0.03	0.91	0.03	Hi/11399.2			
7	0.00	2	0.01	0.91	0.01	Hi/23294.4			
8	180.00	2	0.01	0.91	0.01	Hi/23294.4			

Caso - Caso de carregamento de ELS

Piso - Piso de deslocamento máximo relativo

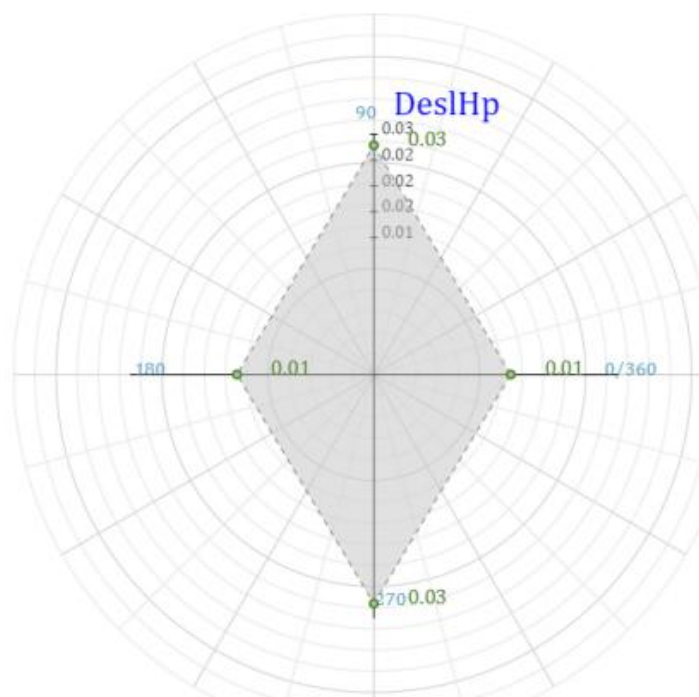
DeslHp - Máximo deslocamento horizontal entre pisos (cm)

Relat3 - Valor relativo ao pé-direito do pavimento

DeslHc - Deslocamento horizontal entre pisos corrigido pela relação Eci/Ecs

Ajuste E - Relação entre o módulo de elast. usado e o permitido pela norma

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



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_2 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_2 obtidos nos casos de vento simples servem como um valor mínimo.

Caso de carregamento com deslocamento relativo máximo.