

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CONHECIMENTO DAS CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

LUCAS NOEDEL

**FACHADAS DE PELE DE VIDRO: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SEU PESO NO
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS EDIFICAÇÕES**

CAXIAS DO SUL

2024

LUCAS NOEDEL

**FACHADAS DE PELE DE VIDRO: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SEU PESO NO
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul - UCS, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Luciano Zatti

CAXIAS DO SUL

2024

LUCAS NOEDEL

**FACHADAS DE PELE DE VIDRO: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SEU PESO NO
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul - UCS, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Luciano Zatti

Aprovado em 02/07/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Luciano Zatti
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Maurício Monteiro Almeron
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais, por todo apoio que me foi dado nestes anos de graduação.

Agradeço também a minha namorada, por dividir as minhas preocupações e angústias, por aguentar meus surtos nesse árduo trabalho, e com certeza pelas colaborações intelectuais ao longo deste trabalho.

Um carinho muito grande a todos os colegas e professores que tive ao longo da graduação, foram trocas de experiências únicas, que contribuíram muito para a minha formação acadêmica. Ao professor e meu orientador Luciano Zatti, um obrigado especial, pelo tempo dedicado e conhecimento compartilhado.

Aos meus amigos mais próximos, agradeço pela compreensão das muitas renúncias necessárias neste período.

Não posso deixar de agradecer a empresa Star Pex Indústria de Vidros e Aberturas Ltda. meus colegas de profissão e amigos lá feitos, por todo conhecimento e experiência adquiridos no seguimento, por todas as conversas e ideias revolucionárias destes anos de empresa, sendo o principal responsável pelo tema deste trabalho.

A todos que de alguma maneira contribuíram para que eu chegasse até aqui, meus mais sinceros agradecimentos.

“Faça o teu melhor na condição que você tem,
enquanto você não tem condições melhores para
fazer melhor ainda!”

Mario Sergio Cortella

RESUMO

Cada vez mais os projetos arquitetônicos vêm propondo a utilização de fachadas envidraçadas nas edificações, mas nem sempre o seu conceito se mantém o mesmo ao longo da execução das obras. O presente trabalho teve como objetivo comparar estruturalmente os impactos do peso das diferentes paginações de pele de vidro possíveis, atribuídas a uma edificação previamente definida. Para isso, foram desenvolvidos dois modelos de paginação de fachada a um mesmo edifício base, levando em consideração as prescrições da ABNT NBR 6118:2023 e demais normas pertinentes para avaliação da edificação. O modelo em estudo foi desenvolvido no *software* TQS e processado de modo a apresentar dados de esforços e quantitativos de material. Já para simulação das fachadas, foram utilizadas as devidas normas técnicas para correta avaliação do conjunto de materiais. Catálogos técnicos de fornecedores de sistemas de pele de vidro também foram amplamente explorados neste estudo, e realizados os devidos cálculos estruturais para garantir que as configurações de fachadas propostas fossem verossímeis. Os resultados obtidos a partir deste estudo mostram que há diferença nos esforços, e conseqüentemente na necessidade de armaduras, dependendo da paginação adotada para as fachadas envidraçadas, levando a conclusão de que é essencial um dimensionamento preliminar da pele de vidro antes da liberação do projeto estrutural para execução, evitando subdimensionamentos na estrutura, fragilizando-a, ou superdimensionamentos, encarecendo-a desnecessariamente.

Palavras-chave: Pele de vidro; paginação; dimensionamento de fachadas; análise estrutural; armaduras.

ABSTRACT

Increasingly, architectural projects have been proposing the use of glass facades in buildings, but their concept does not always remain the same throughout the execution of the works. The objective of this study was to structurally compare the impacts of the weight of different glass curtain wall layouts applied to a previously defined building. For this purpose, two facade layout models were developed for the same base building, taking into account the prescriptions of ABNT NBR 6118 (2023) and other relevant standards for building assessment. The model under study was developed in the TQS software and processed to present data on structural forces and material quantities. For the facade simulations, the appropriate technical standards were used for the correct evaluation of the material set. Technical catalogs from glass curtain wall system suppliers were also extensively explored in this study, and the necessary structural calculations were carried out to ensure that the proposed facade configurations were feasible. The results obtained from this study show that there are differences in the structural forces, and consequently in the need for reinforcement, depending on the specific layout adopted for glass facades. This leads to the conclusion that preliminary sizing of the glass curtain wall is essential before finalizing the structural design for construction. This approach helps to avoid undersizing, which could compromise the structure's integrity, or oversizing, unnecessarily increasing costs.

Keywords: Glass curtain wall; layout; facade sizing; structural analysis; reinforcements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de distribuição de cargas nas edificações.....	20
Figura 2 - Área de influência das lajes nas vigas.	29
Figura 3 - Área de influência de pilares	30
Figura 4 - Sistema Stick (Encaixilhado).....	32
Figura 5 - Sistema Stick (Strutural Glazing)	33
Figura 6 - Sistema Unitizado (Strutural Glazing).....	33
Figura 7 - Etapas de instalação da fachada stick	34
Figura 8 - Delimitação de módulo unitizada	36
Figura 9 - Mapa de isopletas.....	37
Figura 10 - Distribuição de cargas na coluna	38
Figura 11 - Quebra de diferentes vidros	41
Figura 12 - Detalhe componentes do vidro insulado.....	41
Figura 13 - Possíveis combinações de vidro	42
Figura 14 - Ligas de alumínio comerciais	44
Figura 15 - Projeto arquitetônico - planta baixa - croqui	46
Figura 16 - Projeto arquitetônico - planta baixa - parte 1/2	46
Figura 17 - Projeto arquitetônico - planta baixa - parte 2/2	47
Figura 18 - Projeto estrutural - pilares – parte 1/2.....	48
Figura 19 - Projeto estrutural - pilares - parte 2/2	48
Figura 20 - Distribuição das paredes de alvenaria e drywall - parte 1/2	51
Figura 21 - Distribuição das paredes de alvenaria e drywall - parte 2/2	51
Figura 22 - Planta baixa com modulação da pele de vidro esbelta - parte 1/2	52
Figura 23 - Planta baixa com modulação da pele de vidro esbelta - parte 2/2	52
Figura 24 - Detalhe corte com pele de vidro esbelta	53
Figura 25 - Diagrama de esforços fachada esbelta	54
Figura 26 - Diagrama de deformação fachada esbelta	55
Figura 27 - Croqui fachada esbelta.....	57
Figura 28 - Planta baixa com modulação da pele de vidro robusta - parte 1/2	58
Figura 29 - Planta baixa com modulação da pele de vidro robusta - parte 2/2	58
Figura 30 - Detalhe corte com pele de vidro robusta	59
Figura 31 - Diagrama de esforços fachada robusta	60

Figura 32 - Diagrama de deformações fachada robusta	61
Figura 33 - Diagrama de esforços LV-125004.....	62
Figura 34 - Diagrama de deformações LV-125004.....	62
Figura 35 - Croqui pele de vidro robusta.....	64
Figura 36 - Comparativo de peso por área	66
Figura 37 - Comparativo de taxa de aço nos pilares	67
Figura 38 - Gráfico de taxa de aço nos pilares	68
Figura 39 - Gráfico de taxa de aço nos pilares ampliado	69
Figura 40 - Análise da taxa de aço no pilar P4.....	70
Figura 41 - Comparativo de vigas	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tensões máximas admissíveis (MPa).....	43
Tabela 2 - Pressões de vento	50
Tabela 3 - Cálculo de peso da estrutura em alumínio.....	56
Tabela 4 - Cálculo de peso do vidro	57
Tabela 5 - Cálculo de peso total do conjunto	57
Tabela 6 - Cálculo de peso da estrutura em alumínio.....	63
Tabela 7 - Cálculo de peso do vidro	63
Tabela 8 - Calculo de peso total do conjunto	64
Tabela 9 - Resultados do ELU.....	65
Tabela 10 - Resultados do ELS	65
Tabela 11 – Análise de armaduras pilar P4	70
Tabela 12 – Análise de armaduras pilar P3	71
Tabela 13 - Esforços nos pilares.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetro
ELS	Estado limite de serviço
ELU	Estado limite último
fck	Resistência característica à compressão do concreto
kg	Quilograma
kg/cm ³	Quilograma por centímetro cúbico
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kN	Quilonewton
kN/m	Quilonewton por metro
kN/m ²	Quilonewton por metro quadrado
kN/m ³	Quilonewton por metro cúbico
m	Metro
MPa	Megapascal(ais)
NBR	Norma Brasileira
Pa	Pascal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA DA PESQUISA	14
1.2	QUESTÃO DE PESQUISA	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
1.4	HIPÓTESES	14
1.5	PRESSUPOSTOS	15
1.6	PREMISSAS E DELIMITAÇÕES	15
1.7	DENILEAMENTO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	16
2.1.1	Materiais e propriedades	17
2.1.1.1	Concreto	17
2.1.1.2	Aço	18
2.1.2	Elementos estruturais	18
2.1.2.1	Lajes	21
2.1.2.2	Vigas	21
2.1.2.3	Pilares	22
2.1.2.4	Fundações	22
2.2	AÇÕES ATUANTES NAS ESTRUTURAS	22
2.2.1	Cargas verticais	23
2.2.2	Cargas horizontais	24
2.3	ESTADOS LIMITES	25
2.3.1	Estado Limite Último (ELU)	25
2.3.2	Estado Limite de Serviço (ELS)	26
2.4	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	27
2.4.1	Pré-dimensionamento das lajes	27
2.4.2	Pré-dimensionamento das vigas	28
2.4.3	Pré-dimensionamento dos pilares	29
2.5	FACHADA DE VIDRO	30
2.5.1	Fachada <i>stick</i>	34
2.5.2	Fachada unitizada	35
2.5.3	Dimensionamento das fachadas	36
2.5.3.1	Vidro	39
2.5.3.2	Alumínio	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	PROJETO BASE	45
3.2	CARGAS HORIZONTAIS	49
3.3	CARGAS VERTICAIS	50

3.3.1	Pele de vidro	51
4	RESULTADOS	65
4.1	ESTABILIDADE GLOBAL	65
4.2	COMPARATIVO DE CARGAS	66
4.3	COMPARATIVO DE ARMADURAS	66
4.3.1	Comparativo de armadura nos pilares	67
4.3.2	Comparativo de armadura nas vigas	71
4.4	COMPARATIVO DE ESFORÇOS	72
5	CONCLUSÕES	75
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A – CONSUMO DE AÇO NOS PILARES COM ALTERAÇÃO DE ARMADURAS	81
	APÊNDICE B – CONSUMO DE AÇO NOS PILARES SEM ALTERAÇÃO DE ARMADURAS	83

1 INTRODUÇÃO

Os projetos arquitetônicos e estruturais sempre necessitaram de uma compatibilização entre si, e quanto maior o grau de complexidade do empreendimento, maior deve ser o contato entre os profissionais responsáveis por estas duas disciplinas tão importantes. Quanto mais distintos forem os elementos que o projeto arquitetônico indicar, maiores serão as dificuldades encontradas pelo calculista estrutural, para conseguir considerar corretamente cada elemento no dimensionamento.

Uma das maiores tendências estéticas nas grandes cidades desde meados do século passado, é a utilização de fachadas envidraçadas nos arranha-céus. Porém, para utilização deste elemento nas fachadas dos edifícios, é necessária uma série de cálculos para dimensionamento dos materiais que a compõem, desde o vidro que fica aparente, até toda a estrutura auxiliar escondida que sustenta esta fachada junto ao edifício.

Considerando as duas premissas apresentadas, os esforços gerados pelas fachadas de vidro nas edificações, devem ser levados em consideração no momento que o projeto estrutural for desenvolvido. No entanto, devido à falta de conhecimento sobre o produto, por vezes, o peso da fachada de vidro é simplesmente reduzido a um número tabelado, ignorando todas as possíveis variações existentes, de suas dimensões, distâncias de fixações, cargas de vento, e materiais utilizados.

Além disso, a paginação das fachadas de vidro costuma ter uma enorme variação ao longo das revisões de projetos, o que também pode ocasionar num aumento ou diminuição da carga total desta fachada na edificação. O presente trabalho buscou entender qual o impacto que gera no projeto estrutural, a não definição prévia da paginação que foi adotada para a fachada de vidro, assim como suas constantes alterações.

1.1 TEMA DA PESQUISA

Peles de vidro nas edificações

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Qual é o impacto do peso próprio dos elementos das fachadas-cortina de vidro no dimensionamento estrutural das edificações?

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos dividem-se em objetivos geral e específicos e estão apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

Comparar como as diferentes configurações de pele de vidro impactam no dimensionamento estrutural das edificações.

1.3.2 Objetivos específicos

A partir do objetivo geral, se consolidam os objetivos específicos a seguir:

- a) apontar diferentes configurações de peles de vidro possíveis para uma edificação;
- b) calcular o peso próprio das peles de vidro;
- c) determinar as possíveis cargas máximas e mínimas geradas por uma pele de vidro na edificação;
- d) analisar a carga adicional gerada nas edificações devido as fachadas em vidro;
- e) avaliar se a carga máxima de uma pele de vidro pode vir a fragilizar uma estrutura previamente dimensionada, seguindo as normas vigentes.

1.4 HIPÓTESES

As fachadas-cortina em vidro nas edificações, geram uma carga adicional nas estruturas, sendo necessária a definição prévia desta pele de vidro para um dimensionamento estrutural mais preciso.

1.5 PRESSUPOSTOS

A norma ABNT NBR: 6118: 2023, “Projeto de estruturas de concreto”, e demais normas vigentes e aplicáveis ao estudo foram seguidas para realização dos cálculos de dimensionamento das estruturas.

1.6 PREMISSAS E DELIMITAÇÕES

Para o presente trabalho foram consideradas as seguintes premissas:

- a) para o dimensionamento das estruturas em concreto armado das edificações, será utilizado concreto com resistência de 30 MPa;
- b) o dimensionamento das fundações será desconsiderado;
- c) será utilizado o *software Ftool* para dimensionamento e análise das fachadas;
- d) será utilizado o *software TQS* para dimensionamento e análise das estruturas.

1.7 DENILEAMENTO

O presente trabalho foi desenvolvido com o auxílio de *softwares* que possibilitam a análise e comparação da influência do peso gerado por fachadas envidraçadas no dimensionamento das estruturas das edificações. Foram desenvolvidas duas configurações de fachadas de vidro, ambas atendendo as normas vigentes, e feito um comparativo em relação ao seu peso próprio. Posteriormente foi analisado o efeito destas cargas encontrados, em um edifício base fictício, já previamente dimensionado, a fim de avaliar os impactos no dimensionamento estrutural.

Os capítulos deste trabalho apresentarão os seguintes itens:

- a) o capítulo 1 apresenta a introdução e diretrizes de pesquisa, trazendo de forma mais ampla as principais questões abordadas no trabalho, como tema de pesquisa, objetivo geral e específicos, hipótese, pressupostos, premissas e delimitações;
- b) o capítulo 2 estabelece o referencial teórico utilizado como base de pesquisa e consulta para o desenvolvimento do trabalho;
- c) o capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para alcançar os resultados desejados;
- d) o capítulo 4 trata dos resultados encontrados e sua análise;
- e) o capítulo 5 contempla as respostas dos questionamentos feitos ao longo do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a referência bibliográfica base para este trabalho, onde se pode encontrar os conceitos básicos sobre os elementos estruturais que compõem uma edificação, conceitos quanto as cargas que são aplicadas nas construções, e mais detalhadamente sobre fachadas em vidro. As normas sempre serão a base para qualquer projeto, porém, diversos autores auxiliam em soluções empíricas para alcançar o objetivo deste estudo.

2.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto é um material extremamente resistente a compressão, mas em geral, ele apresenta uma resistência à tração cerca de dez vezes menor do que à compressão. A partir desta observação, surgiu a ideia de utilizar uma combinação de materiais adequados para compressão na zona submetida à compressão e materiais adequados para tração na zona submetida à tração. Essa é a concepção por trás do concreto armado. Na região submetida à tração do concreto, incorpora-se barras de aço, enquanto na região submetida à compressão, utiliza-se exclusivamente concreto. Esta combinação de elementos é chamada de concreto armado (BOTELHO e MARCHETTI, 2019).

Conforme Bastos (2006), a utilização do concreto armado no Brasil remonta ao ano de 1904, quando foi empregado na construção de residências e edifícios em Copacabana, no Rio de Janeiro. Contudo, somente em 1940, a primeira norma efetivamente relacionada ao concreto armado foi introduzida, conhecida como NR-1 "Projeto e execução de obras de concreto armado". Ao longo do tempo, diversas outras normas foram desenvolvidas ou aprimoradas em consonância com os avanços nas pesquisas sobre o tema. Atualmente, a norma vigente para projetos de estruturas em concreto armado é a ABNT NBR: 6118: 2023 "Projetos de estruturas de concreto". Conforme estabelecido por essa norma, espera-se que as estruturas de concreto armado sejam projetadas com foco na garantia de segurança, estabilidade e desempenho satisfatório ao longo de todo o período correspondente à vida útil da estrutura.

Segundo Clímaco (2008), o concreto armado oferece diversas vantagens, incluindo a capacidade de vencer vãos maiores do que o concreto convencional, fácil moldagem das peças, economia na aquisição de materiais, alta durabilidade e aumento da resistência com o tempo. Já Carvalho (2014) apresenta desvantagens, como peso elevado (aproximadamente 25 kN/m³),

consumo considerável de formas e escoras, tempo prolongado de construção e complexidade na realização de modificações e reformas futuras.

2.1.1 Materiais e propriedades

De acordo com a ABNT NBR 6118: 2023, as estruturas de concreto armado são executadas a partir do aço e do concreto.

2.1.1.1 Concreto

O concreto, segundo Leonhardt e Mönning (1977), “(...) é um aglomerado constituído de agregados e cimento como aglutinante; é, portanto, uma rocha artificial.”. Ele é feito de agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e água, e pode ser moldado no formato que for desejado. Dependendo do tipo de elemento a ser executado ou da necessidade pontual, pode-se ainda adicionar aditivos químicos que facilitam a concretagem de certos elementos. Estes aditivos podem incorporar ar, trazer uma maior trabalhabilidade para o concreto, um prazo menor para o endurecimento, dentre outras diversas funções.

Para efetuar o processo de concretagem, frequentemente é preciso utilizar vibradores a fim de assegurar que o concreto preencha completamente os vazios entre as formas e as armaduras. De acordo com Leonhardt e Mönning (1977), o concreto inicia o processo de endurecimento em questão de horas, e sua resistência pode atingir até 90% do valor esperado após 28 dias desde a conclusão da concretagem.

De acordo com a norma ABNT NBR: 6118: 2023, o concreto apresenta uma massa específica que varia entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 . No entanto, para fins de cálculo, é possível adotar a densidade de 2400 kg/m^3 para o concreto simples e 2500 kg/m^3 para o concreto armado. A norma também estipula que os valores característicos são aqueles nos quais a probabilidade de que um valor menor seja encontrado em um lote de material é de apenas 5%.

A resistência característica do concreto, é obtida através de ensaios com corpos de prova, leva em consideração o valor da média aritmética das resistências à compressão dos corpos de prova ensaiadas após 28 dias. Estes ensaios fornecem um f_{ck} com 95% de confiabilidade (CARVALHO, 2014).

Já quanto à tração, a resistência normalmente é desconsiderada, dada a baixa capacidade do concreto resistir à essa solicitação. Porém, é necessário conhecer ela pois está relacionada

com resistência ao esforço cortante e fissuração, ações estas que o concreto pode vir a ser submetido. Os ensaios para obter esse valor devem ser feitos segundo a ABNT NBR: 7222: 2011 e a ABNT NBR: 12142: 2010, (CARVALHO, 2014). Já a resistência à tração direta, segundo a ABNT NBR: 6118: 2023, pode ser calculada com base nos ensaios específicos, ou quando não for possível realizar ensaios para obter esses valores, pode ser calculado um valor médio ou característico utilizando as equações prescritas nesta norma.

2.1.1.2 Aço

Conforme destacado por Leonhardt e Mönning (1977), o aço na estrutura de concreto armado desempenha um papel fundamental ao resistir às forças de tração às quais os elementos estão sujeitos. Além disso, apresenta características de qualidade distintas, incluindo limite de escoamento, resistência à tração e alongamento na ruptura.

Os testes de tração para a obtenção do diagrama tensão-deformação do aço, bem como para determinar os valores característicos da resistência ao escoamento, da resistência à tração e da deformação na ruptura, devem ser conduzidos de acordo com as diretrizes estabelecidas na ABNT NBR ISO: 6892-2: 2013 (CARVALHO, 2014).

O aço empregado no concreto armado pode ser categorizado em três tipos: CA-25, utilizado principalmente em projetos de pequeno porte; CA-50, sendo a escolha mais comum; e CA-60, frequentemente empregado em elementos pré-moldados. Notavelmente, o aço CA-25 apresenta uma superfície lisa, enquanto o CA-50 e o CA-60 possuem uma superfície rugosa que promove uma aderência mais eficaz entre a armadura e o concreto. É válido reparar também que o aço CA-50 possui o dobro da resistência em comparação com o CA-25, e é cerca de 20% menos resistente do que o CA-60, conforme descrito por Botelho e Ferraz (2016).

2.1.2 Elementos estruturais

Para Giongo (2005), os edifícios convencionais construídos em concreto armado, tem sua estruturação dividida nos seguintes elementos, são as lajes, as vigas e os pilares. Ainda segundo o autor, cada um desses elementos deve resistir aos esforços aplicados e garantir segurança quanto ao Estado Limite Último e de Serviço.

Bastos (2006), reforça a ideia dos 3 elementos como os principais de uma edificação, e ainda cita outros elementos auxiliares, como escadas, muros de arrimo, sapatas, dentre outros.

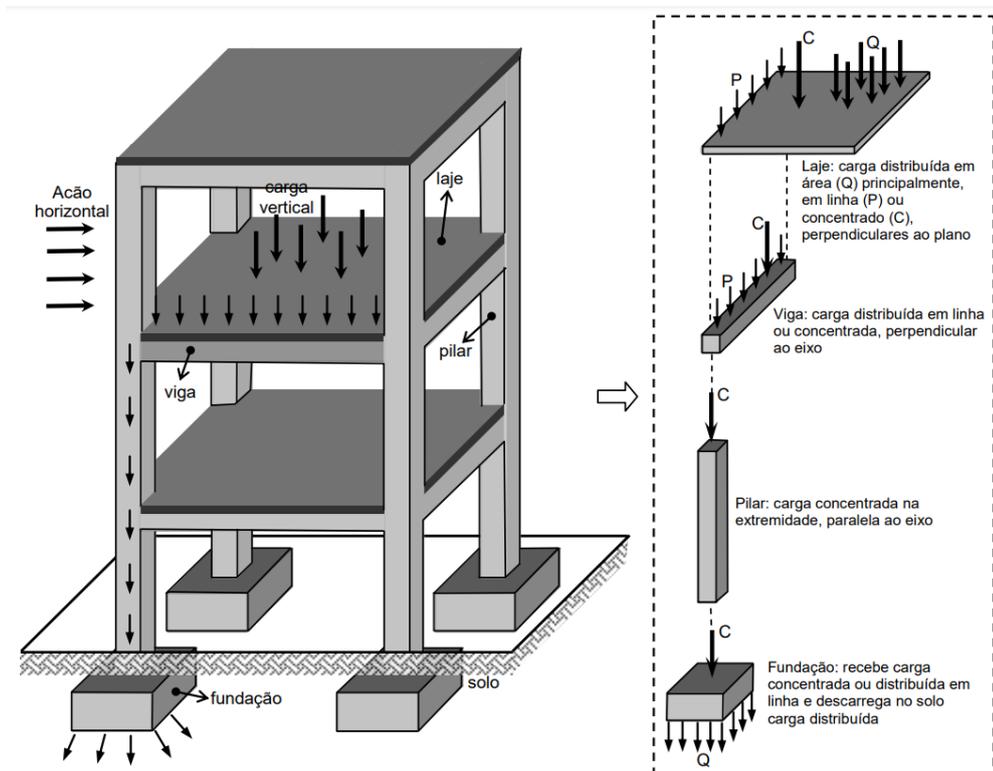
O autor também classifica os elementos estruturais de uma outra maneira, com relação ao seu formato geométrico. A classificação baseada na geometria é realizada ao comparar a ordem de grandeza das três dimensões principais do elemento (comprimento, altura e largura), utilizando a seguinte nomenclatura:

- a) elementos lineares: possuem a altura e a espessura muito menores do que o comprimento. Exemplo: vigas e pilares;
- b) elementos bidimensionais: possuem o comprimento e a largura muito maiores do que a espessura. Exemplo: lajes;
- c) elementos tridimensionais: as três dimensões têm as mesmas ordens de grandezas. Exemplo: blocos e sapatas de fundação.

As posições ocupadas pelos elementos estruturais, como vigas e pilares, devem estar alinhadas com o projeto arquitetônico. O projeto estrutural deve satisfazer todas as necessidades de transferência de cargas e segurança específicas da edificação, ressalta Giongo (2005)

O autor também afirma que os elementos estruturais isolados, como lajes, vigas e pilares, devem possuir características como resistência mecânica, estabilidade, rigidez e capacidade de resistir a fissuras e deslocamentos excessivos, a fim de contribuir de maneira eficaz para a resistência global do edifício. A estrutura do edifício deve funcionar como um todo integrado, de modo que quando uma força atua em um dos elementos estruturais, todos os demais contribuem para a capacidade global de absorção dessa força. Cada componente da estrutura atua de forma a transmitir as cargas de um elemento para o próximo, até que sejam completamente absorvidas pelas fundações e, finalmente, pelo solo, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de distribuição de cargas nas edificações



Fonte: Melo (2013)

De acordo com Melo (2013), as cargas distribuídas em superfície são suportadas por elementos planos, como placas e cascas, enquanto as cargas distribuídas em linha ou cargas concentradas são geralmente sustentadas por elementos lineares, como barras. Então, inicialmente criam-se as lajes para receber as cargas dos espaços dentro do edifício, considerando cada cômodo como uma laje separada. A continuidade entre as lajes forma o painel de lajes do pavimento. Em seguida, são projetadas as barras horizontais (vigas) para receber as cargas das lajes nas bordas, bem como cargas distribuídas ao longo das paredes e cargas concentradas de outras vigas ou barras verticais (pilares). As vigas, por sua vez, apoiam-se em barras verticais, conhecidas como pilares ou colunas, que transferem o carregamento de forma concentrada e paralela ao eixo longitudinal. Por fim, os pilares têm a função primordial de transmitir as cargas para os elementos de fundação, que, por sua vez, as distribuem para o solo.

2.1.2.1 Lajes

As lajes são superfícies planas projetadas para suportar cargas uniformemente distribuídas. Além disso, em situações específicas, elas também podem transferir diretamente as cargas para os pilares do edifício, em vez de fazê-lo apenas através das vigas de apoio. Na construção, os tipos de lajes mais frequentemente utilizados incluem lajes maciças, nervuradas, lisas e em forma de cogumelo, conforme documentado por Clímaco (2008).

Bastos (2006) também explica que as cargas nas lajes das edificações, são provenientes de pessoas, móveis, pisos, paredes, revestimentos e qualquer outro elemento que possa vir a gerar carga naquele ambiente. A função delimitada para o espaço pela arquitetura também influencia nas cargas que serão consideradas.

Quanto a escolha do tipo de laje a ser utilizado, Botelho e Marchetti (2011) explicam que o mais usual é utilizar laje maciça, que atende desde obra de pequeno a grande porte. Porém quando se trata de lajes projetadas para vencer vãos com mais de 6 metros, deve ser considerado o uso de lajes nervuradas em vez de lajes maciças. Já em relação à espessura das lajes maciças, a espessura máxima aceitável é de 15 cm, acima desse valor, é aconselhável optar por lajes nervuradas.

2.1.2.2 Vigas

Conforme Bastos (2019), as vigas são elementos lineares, representados como barras, e sua principal característica é suportar flexão. A função primordial das vigas é vencer vãos e transferir as cargas para os pontos de apoio, geralmente os pilares. Na maioria das aplicações, as vigas são retas e horizontais ao longo do eixo longitudinal. As cargas aplicadas nas vigas provêm de várias fontes, como lajes, outras vigas, paredes de alvenaria, pilares, etc., e, geralmente, atuam perpendicularmente ao eixo longitudinal. Embora menos comuns, também podem ocorrer momentos de torção e forças normais de compressão ou tração na direção do eixo longitudinal.

O autor complementa que as vigas desempenham um papel fundamental na estabilidade global de edifícios em relação a cargas verticais e horizontais. Elas normalmente possuem duas armaduras distintas: a longitudinal, composta por barras ao longo do seu comprimento, e a transversal, formada por estribos.

2.1.2.3 Pilares

Pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes ABNT NBR: 6118: 2023. Bastos (2006) afirma que os pilares tem como função principal, transmitir as ações às fundações, embora possam também transmitir para outros elementos. Essas ações são geralmente provenientes das vigas. Os pilares são os elementos estruturais de maior importância nas estruturas, tanto do ponto de vista da capacidade resistente dos edifícios quanto no aspecto de segurança.

Segundo Melo (2013), além de sua função primária de transferir as cargas verticais das vigas para as fundações, os pilares desempenham um papel adicional crucial: resistir às forças horizontais, como as causadas pelo vento, seja formando pórticos em conjunto com as vigas ou por meio da utilização de pilares altamente rígidos.

2.1.2.4 Fundações

Segundo Bastos (2019), as fundações são utilizadas para receber as ações dos pilares e transmiti-las adequadamente ao solo. A transferência das cargas da edificação até o solo, por meio das fundações, ocorre através do atrito da superfície de contato do bloco de fundação ao longo do comprimento e pelo apoio da ponta inferior no solo.

Velloso e Lopes (2011) citam em seu estudo, que pode-se dividir as fundações em dois grandes grupos, as superficiais e as profundas, e contam com mecanismos de distribuição de cargas distintos. Ainda é possível considerar a existência de fundações mistas, as quais apresentam características de ambos os grupos.

2.2 AÇÕES ATUANTES NAS ESTRUTURAS

A ABNT NBR: 8681: 2003, define ações como tudo que possa vir a causar esforços ou deformações nas estruturas, seja ela laje, viga, pilar, ou alguma variação. A norma ainda classifica as ações em permanentes, variáveis e excepcionais. As ações permanentes, subdivididas em diretas e indiretas, referem-se às propriedades inerentes dos materiais que compõem o elemento estrutural, como o próprio peso da estrutura e dos componentes permanentes da construção, a carga de equipamentos fixos, ou até cargas causadas pelo peso do solo não removível, entre outros exemplos.

As forças variáveis representam valores que sofrem flutuações significativas ao longo da vida útil da construção. Elas incluem cargas acidentais relacionadas ao uso da estrutura, como a presença de pessoas, móveis, veículos, bem como efeitos causados pelo vento, forças de impacto, frenagem e outros eventos similares (ADORNA et al., 2021). De acordo com a ABNT NBR: 8681: 2003, as ações variáveis podem ser subdivididas em variáveis normais e variáveis excepcionais. As variáveis normais são aquelas que têm uma probabilidade significativa de ocorrência e cujos efeitos devem ser considerados em todo projeto das estrutural. Por outro lado, as variáveis especiais incluem ações como as sísmicas e cargas de natureza e intensidade excepcionais, por vezes difíceis de mensurar, que possuem características específicas e podem requerer abordagens de projeto distintas. Ainda conforme a ABNT NBR: 8681: 2003, as ações excepcionais derivam de eventos extraordinários, como explosões, impactos de veículos, inundações ou terremotos excepcionais.

Carvalho (2014) explica como devem ser consideradas as cargas para o dimensionamento das estruturas. As cargas permanentes são consideradas em sua totalidade, enquanto as cargas variáveis, no somatório das forças, podem ser minoradas pelos coeficientes previstos na norma, visto que a atuação delas não ocorre durante todo o tempo. Porém, deve-se sempre buscar pela combinação de esforços que gere maior carga na edificação, a fim de simular a pior situação possível, garantindo assim uma maior segurança.

As ações aplicadas às estruturas podem ser derivadas em dois eixos, resultando em esforços verticais e esforços horizontais. O principal esforço vertical é causado pela gravidade, abrangendo o peso próprio da estrutura e outras cargas aplicadas permanentemente, como alvenaria, revestimentos e equipamentos. Por outro lado, o principal esforço horizontal é gerado pela ação do vento, sendo necessário calcular seu impacto em todos os projetos estruturais nos quais seus efeitos produzem esforços significativos, conforme determinado pela norma específica (CARVALHO, 2014).

2.2.1 Cargas verticais

De acordo com Adorna et al. (2021), as cargas verticais são geralmente originadas do peso próprio da estrutura, dos revestimentos e de cargas acidentais resultantes do uso e ocupação do ambiente. A ABNT NBR: 6120: 2019 engloba nas ações verticais, cargas permanentes e variáveis. Essas cargas devem ser interpretadas e classificadas em cargas

uniformemente distribuídas, quando se distribuem ao longo do elemento estrutural, ou cargas concentradas, quando atuam em pontos específicos da estrutura.

A ABNT NBR: 6120: 2019 fornece os principais valores para cargas permanentes e cargas acidentais, partindo do pressuposto de que as estruturas são projetadas para resistir às cargas variáveis indicadas. Quanto ao peso próprio dos demais materiais que ficarão permanentemente fixados à estrutura, como fachadas-cortina em vidro, ACM, cerâmica ou ventilada, deverão ser buscadas as normas específicas de cada material. No caso de vidro, a ABNT NBR: 7199: 2016 estabelece o peso próprio dos vidros em edificações como sendo 2500 kg/m³.

Segundo Kassimali (2016), deve-se prezar pela precisão na determinação dos pesos dos materiais, e para isso, pode-se seguir duas orientações, sendo elas:

- a) na falta de mais normativas referentes a um determinado produto ou material, buscar informações diretamente com o fornecedor ou fabricante;
- b) já quanto ao peso da estrutura, que não é previamente conhecido apenas estimado um valor com base em experiências anteriores, é possível, após todas as demais determinações, utilizar o peso real obtido e comparar ao peso estimado inicialmente, e revisar o projeto, se necessário. Esses processos ajudam a garantir que o projeto estrutural esteja adequado ao peso real da estrutura.

2.2.2 Cargas horizontais

Carmo (1995) apontou os principais fatores que afetam horizontalmente as edificações, e ressaltou que a principal ação é a do vento, inclusive, sendo muitas vezes atribuída como a única ação horizontal a ser analisada. Outras fontes de ações horizontais são as imperfeições geométricas e desaprumo das estruturas, ações sísmicas e ações causadas por movimentação de máquinas.

A intensidade da pressão de vento está diretamente relacionada à velocidade do fluxo de ar, sendo que maiores velocidades resultam em pressões mais significativas sobre a superfície do edifício. Ao analisar o impacto dos ventos, diversos fatores devem ser considerados, tais como a topografia local, a presença de outras construções nas proximidades e a direção predominante dos ventos, entre outros aspectos relevantes, descritos na norma ABNT NBR: 6123: 2023.

2.3 ESTADOS LIMITES

A ABNT NBR: 6118: 2023 exige que uma construção em concreto armado seja verificada em dois estados limites de segurança, o estado-limite último (ELU) e o estado-limite de serviço (ELS). Segundo Fusco e Onishi (2017), os estados limites são os estados em que as estruturas podem ter sua integridade comprometida após terem sido submetidas a esforços maiores do que os materiais que as compõem são capazes de resistir. Esses estados apontam um desempenho abaixo do que foi projetado e sinalizam que a segurança e a durabilidade da estrutura estão comprometidas.

Para assegurar a segurança das estruturas de concreto armado, é fundamental que cada componente seja projetado para resistir ao estado-limite último, garantindo sua capacidade de suportar cargas extremas sem colapsar, e também seja avaliado no estado-limite de serviço, que estabelece limitações quanto à sua utilização, como fissuras e deformações dentro de parâmetros aceitáveis. Em ambas as situações, a resistência do componente analisado deve ser maior do que as forças que serão aplicadas a ele, sempre levando em consideração coeficientes que ponderam as resistências e coeficientes que aumentam as solicitações. As forças atuantes nos componentes são originadas pelas diversas ações que podem ocorrer ao longo da vida útil da estrutura. Devido à natureza variada dessas ações, é essencial considerar seus valores, duração e probabilidade de ocorrência, combinando-as com os coeficientes pertinentes ao estado-limite em análise (ADORNA et al., 2021).

2.3.1 Estado Limite Último (ELU)

Segundo Adorna et al. (2021), esses estados estão diretamente ligados à capacidade máxima de carga que a estrutura pode suportar, e podem levar à interrupção do uso da edificação. O Estado-Limite Último (ELU) é identificado pela perda de equilíbrio da estrutura, o que representa um risco de tombamento ou deslizamento, além de deformações excessivas nos materiais que podem resultar em instabilidade ou ruptura.

A ABNT NBR 6118: 2023 determina o estado limite último como sendo a última utilização possível da estrutura, se relaciona ao colapso. A condição de segurança que deve ser atendida para os estados-limites últimos (ELU) é dada pela Equação 1:

$$R_d \geq S_d \quad (1)$$

Onde:

Rd valor dos esforços resistentes

Sd valor dos esforços solicitantes

2.3.2 Estado Limite de Serviço (ELS)

O Estado-Limite de Serviço (ELS), também conhecido como Estado-Limite de Utilização, refere-se à situação em que a estrutura não pode mais ser utilizada devido à perda de condições de conforto e durabilidade. Em estruturas de concreto armado, os estados-limite mais comuns incluem ELS-DEF (Estado-Limite de Serviço de Deformação Excessiva), ELS-F (Estado-Limite de Serviço de Formação de Fissuras) e ELS-W (Estado-Limite de Serviço de Abertura de Fissuras). Esses estados-limite são usados para garantir que a estrutura não só seja segura contra o colapso, mas também atenda aos requisitos de conforto e durabilidade ao longo de sua vida útil (VENTURI, LAZZARI e BOTELHO, 2021).

A condição de segurança que deve ser seguida para os estados-limites de serviço (ELS) é dada pela Equação 2:

$$Sd \leq Slim \quad (2)$$

Onde:

Sd valor dos deslocamentos solicitantes

Slim valor arbitrado como limite para a utilização

Conforme explicado por Adorna et al. (2021), a abordagem para verificação do ELS é diferente da utilizado para o ELU. O estado-limite de serviço é atingido com maior facilidade que o estado-limite último, com solicitações menores. A explicação para isso está na própria definição de cada estado-limite, onde em qualquer caso que a estrutura esteja ultrapassando seu limite último, o limite de utilização já foi rompido.

A ABNT NBR: 6118: 2023 ainda aponta a possibilidade da necessidade de em obras especiais, haver verificações de estados limites excepcionais. Seriam eles:

- a) aceitabilidade sensorial, cujo limite refere-se a vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;

- b) efeitos específicos, em que os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- c) efeitos em elementos não estruturais, em que deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos ligados à estrutura;
- d) efeitos em elementos estruturais, em que os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural e devem ser levados em consideração na estabilidade da estrutura se forem relevantes.

2.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Segundo Melo (2013), antes de realizar o dimensionamento real das estruturas, é necessário fazer um pré-dimensionamento das seções necessárias de cada elemento estrutural separado. Em princípio, uma peça mantém uma seção constante ao longo de seu comprimento. Na prática, manter uma seção constante, como em vigas, simplifica a execução e resulta em redução de custos. No entanto, quando é necessário alterar a seção de uma peça por razões arquitetônicas, é importante fazê-lo com base nas variações das cargas estruturais.

Melo (2013) alerta que diferentes tipos de esforços internos, como momento fletor e esforço cortante, variam de maneira distinta ao longo do comprimento da peça, e a seção em cada ponto deve ser projetada para atender simultaneamente a todos esses esforços. Na maioria dos casos, um tipo de esforço prevalece em relação aos demais, sendo ele determinante para a seção final da peça.

2.4.1 Pré-dimensionamento das lajes

A principal medida que precisa ser descoberta nas lajes, é a sua espessura, e para isso, a ABNT NBR: 6118: 2023 define que a espessura mínima para lajes maciças é a seguinte:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Diversos autores estipulam formulações empíricas para determinar uma espessura inicial. Uma forma muito usual, é atrelar a espessura da laje (h) com a medida do vão (L), conforme descrito por Dias (2004):

- a) laje maciça armada em duas direções: $L/50 \leq h \leq L/40$;
- b) laje maciça armada em uma direção: $L/45 \leq h \leq L/30$;
- c) laje nervurada em concreto armado e protendido: $L/30 \leq h \leq L/25$;
- d) laje lisa: $L/40 \leq h \leq L/30$;
- e) laje cogumelo: $L/45 \leq h \leq L/35$.

2.4.2 Pré-dimensionamento das vigas

Segundo Melo (2013), para definir a altura da viga, é necessário primeiro fixar um valor para a largura (b_w), de acordo com a medida do vão. Como referência, pode-se adotar os seguintes valores:

- a) $b_w = 12$ cm (vão ≤ 4 m);
- b) $b_w = 20$ cm (4 m < vão ≤ 8 m);
- c) $b_w = 25$ a 30 cm (vão > 8 m).

Conforme a ABNT NBR: 6118: 2023, a largura mínima para vigas é de 12 cm, enquanto para vigas-parede é de 15 cm. Em situações especiais, é admissível utilizar vigas com uma largura absoluta mínima de 10 cm, desde que se cumpram as condições estipuladas na norma.

Melo (2013) estabelece equações simples para definir as alturas das vigas, já bem difundidas e amplamente utilizadas por profissionais. Pode-se simplesmente aplicar $L/10$ para vigas apoiadas ou engastadas e $L/6$ para vigas em balanço, onde “L” é o tamanho do vão teórico que a viga percorre, exemplificando, uma viga apoiada com vão de 3 metros teria uma altura equivalente a 30 cm no pré-dimensionamento. Outros autores propõem um método de pré-dimensionamento semelhante, com outros valores dividindo o “L”, levando em consideração cargas e tipos de vínculos, como $L/12$ ou $L/14$ para vigas contínuas, mas sem gerar grandes divergências nos valores encontrados.

Ainda segundo Melo (2013) em questões de medida de largura das vigas, deve ser escolhida de maneira que ela fique embutida na alvenaria, privilegiando a estética. Já quanto à altura, casos especiais podem exigir a utilização de vigas invertidas ou semi-invertidas. As alturas das vigas devem, se possível, ser padronizadas em dimensões múltiplas de 5 cm. Vigas contínuas devem manter, se possível, a mesma seção transversal nos vários trechos, facilitando a execução.

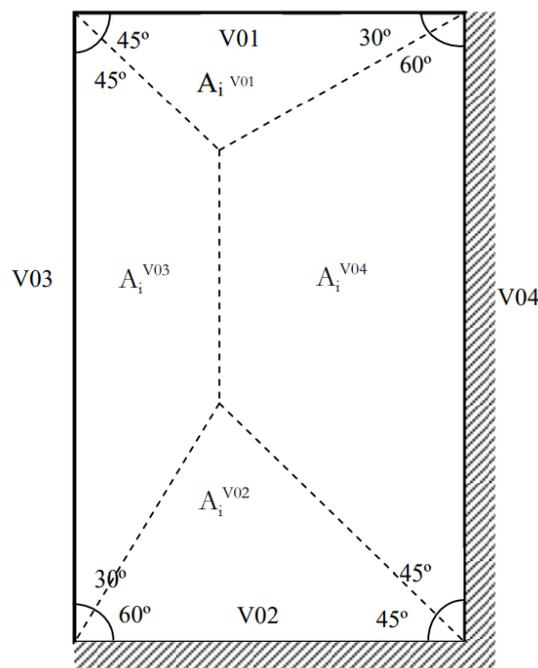
Para o cálculo das reações de apoio de lajes maciças retangulares com carga uniforme nas vigas, a ABNT NBR: 6118: 2023 permite as seguintes simplificações:

a) as reações em cada apoio podem ser consideradas como correspondentes às cargas atuantes nos triângulos ou trapézios definidos pelas charneiras plásticas e podem ser tratadas como uniformemente distribuídas sobre os elementos estruturais que servem como apoio;

b) quando a análise plástica não for realizada, as charneiras podem ser aproximadas por linhas inclinadas, partindo dos vértices, com ângulos específicos: 45° entre dois apoios do mesmo tipo, 60° partindo do apoio considerado engastado, se o outro for considerado simplesmente apoiado, e 90° partindo do apoio, quando a borda adjacente estiver livre.

A Figura 2 esclarece como deve ser feita a análise de distribuição de cargas, usando como base as simplificações estabelecidas na norma.

Figura 2 - Área de influência das lajes nas vigas.

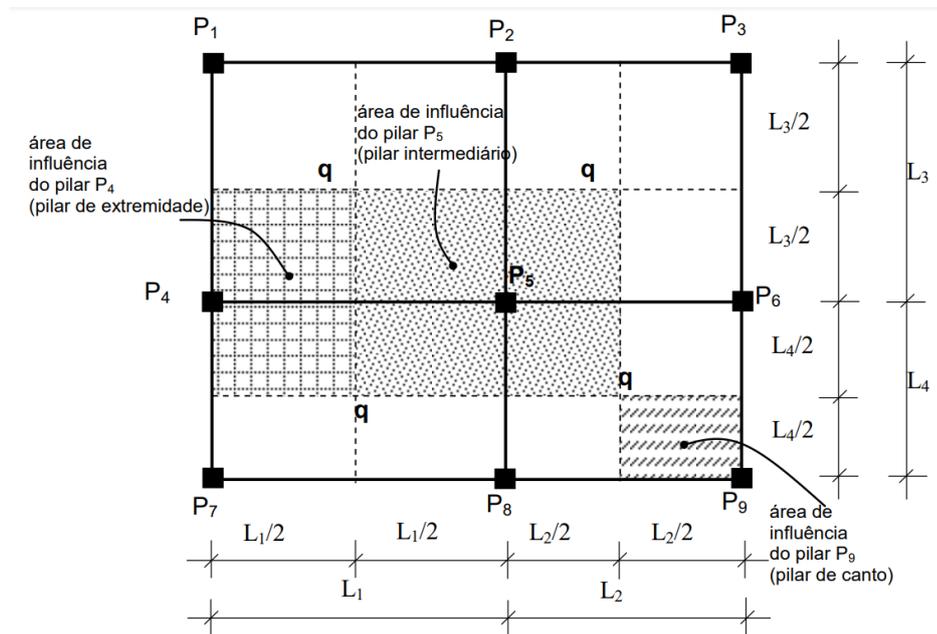


Fonte: Melo (2013)

2.4.3 Pré-dimensionamento dos pilares

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2007), o método de pré-dimensionamento de pilares mais comum é a análise por áreas de influência. Nesse método, divide-se o pavimento em áreas relativas a cada pilar para que eles absorvam as cargas correspondentes de sua área. Supõe-se carregamentos uniformes e uma divisão conforme a Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Área de influência de pilares



Fonte: Melo (2013)

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2007), com as áreas de influência definidas, é determinado o coeficiente de majoração da força normal (α), relacionado às excentricidades de carga, cujos valores podem ser:

- 1,3 para pilares internos ou de extremidade, na direção da maior dimensão;
- 1,5 para pilares de extremidade, na direção da menor dimensão; ou
- 1,8 para pilares de canto.

Segundo a ABNT NBR: 6118: 2023 não é permitida área de seção transversal menor que 360 cm² ou dimensão menor do que 19 cm. A norma, porém, permite prever dimensões menores em casos especiais, de até 14 cm, perante majoração extra nas cargas atribuídas ao pilar.

2.5 FACHADA DE VIDRO

Siqueira Júnior (2003) diferencia as definições de fachada-cortina, enquanto para a ASTM E 631 (1993), fachada-cortina é entendida como sendo uma parede exterior não aderida, segura e suportada por membros estruturais do edifício, no Brasil, entende-se como caixilhos interligados e estruturados com função de vedação que formam um sistema contínuo,

desenvolvendo-se no sentido da altura da fachada da edificação, sem interrupção por pelo menos dois pavimentos.

Uma fachada-cortina é um componente de vedação construtivo que se destaca da estrutura principal do edifício, formando uma camada exterior que protege o edifício contra diversas influências ambientais. Essa fachada é composta por uma estrutura de perfis, incluindo colunas e travessas, que formam quadros, alguns dos quais são móveis e outros fixos (CBIC, 2017).

Siqueira Júnior (2003) destaca os inúmeros benefícios oferecidos com a utilização das fachadas-cortina nas edificações:

- a) redução significativa no consumo de energia para o condicionamento do ar no interior do edifício;
- b) diminuição dos efeitos da dilatação térmica na estrutura do edifício;
- c) potencial melhoria dos problemas de condensação;
- d) aprimoramento no isolamento acústico;
- e) sensível redução de problemas relacionados à infiltração de água;
- f) facilidade de manutenção;
- g) alta produtividade potencial;
- h) redução nas etapas de controle de recebimento de materiais e produção na obra.

No entanto, é fundamental reconhecer que existem algumas limitações significativas utilizar fachadas projetadas externamente a edificação, sendo elas, também apontadas por Siqueira Júnior (2003). Algumas das limitações incluem:

- a) falta de normas de desempenho e requisitos que acrescentem valor comercial ao produto;
- b) necessidade de mão de obra qualificada e treinada, escassa no mercado;
- c) requerimento de um projeto específico detalhando a execução;
- d) custos mais elevados em comparação com os métodos tradicionais de revestimentos.

Siqueira Júnior (2003) classifica as fachadas-cortina em relação a diversos critérios: quanto a sua fabricação e montagem; quanto aos seus elementos de fixação; e quanto ao material utilizado como revestimento. Para este último critério, ele cita fachadas ventiladas que utilizam placar cerâmicas, placas em *Aluminium Composite Material* (ACM), e o material mais comum a ser utilizado em fachadas-cortina, o vidro.

As fachadas tipo pele de vidro foram introduzidas pela primeira vez no Brasil na década de 1970 para atender às demandas da indústria da construção civil. Essas fachadas se

destacavam por exibir os perfis de alumínio de forma mais visível a partir do interior do edifício, enquanto o vidro era encaixilhado do lado de fora. Isso resultava em uma maior proeminência do vidro na face externa do edifício (REVISTA PROJETO, 2005).

Na década de 1980, no Brasil, surgiu o sistema conhecido como "*structural glazing*," no qual o vidro é fixado na parte externa dos perfis de alumínio por meio de selantes estruturais. Esse método cria uma aparência contínua de vidro para quem o observa (REVISTA PROJETO, 2005).

A GMM Engenharia e Construção (2020) traz como exemplo, os sistemas construtivos de fachadas de vidro mais usuais no mercado atualmente: Na Figura 4, é exibida uma configuração com o sistema *stick* e vidro encaixilhado, mais antigo sistema de fachada-cortina a ser utilizado, permitindo a visualização dos perfis de alumínio na fachada externa do edifício.

Figura 4 - Sistema *Stick* (Encaixilhado)

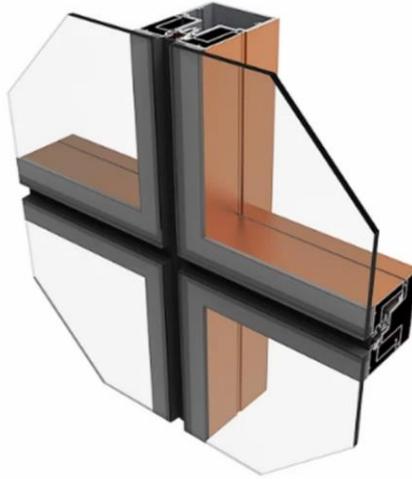


Fonte: GMM Engenharia e Construção (2020)

Conforme apontado por Rosso (2007), atualmente, existem três sistemas de fachada *glazing* (vidro colado) disponíveis no mercado: os sistemas unitizados, *stick* e híbridos, que combinam características dos dois primeiros. As fachadas unitizadas têm ganhado uma presença significativa nos locais de construção no Brasil, principalmente devido à sua montagem ágil no canteiro de obras e à sua composição modular. Essas fachadas são consideradas uma evolução em relação às fachadas *stick*, embora apresentem diferenças conceituais distintas.

Nas Figuras 5 e 6, pode-se observar em detalhe os dois modelos construtivos mais usuais, caracterizados pela GMM Engenharia e Construção (2020) como fachada *stick* e fachada unitizada.

Figura 5 - Sistema *Stick* (Structural Glazing)



Fonte: GMM Engenharia e Construção (2020)

Figura 6 - Sistema Unitizado (Structural Glazing)



Fonte: GMM Engenharia e Construção (2020)

2.5.1 Fachada *stick*

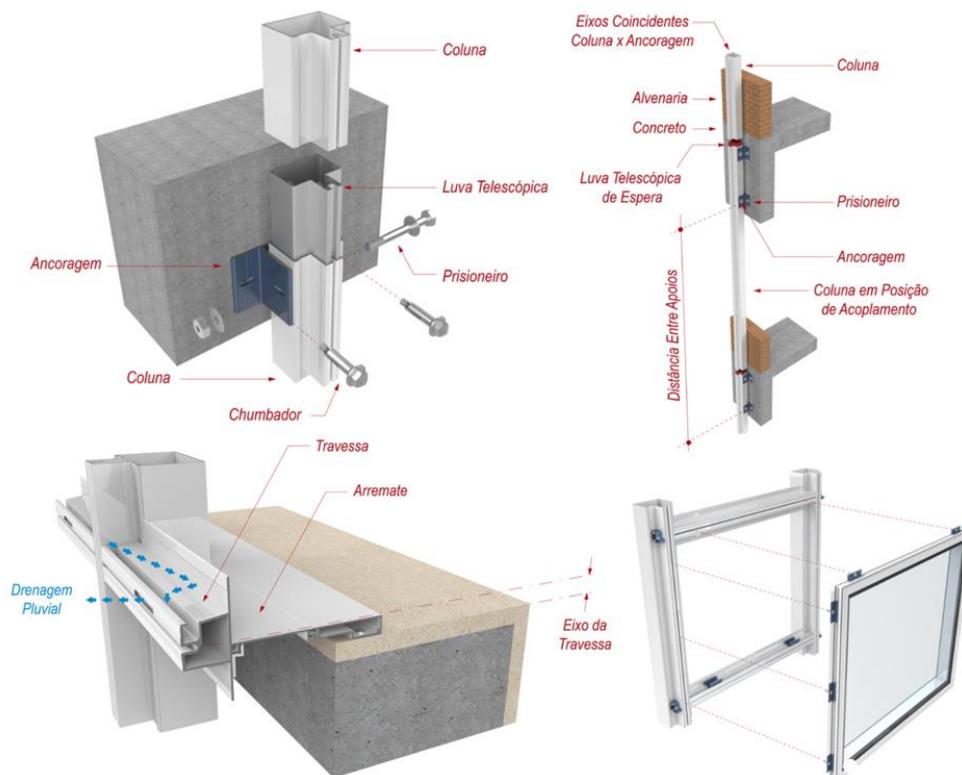
Sistema mais convencional na utilização de fachadas-cortina de menor porte, exige maior mão de obra na instalação, visto que ela é dividida em várias etapas, até a sua finalização (GMM ENGENHARIA E CONTRUÇÃO, 2020):

- a) a primeira etapa é a de colocação das ancoragens, fixas por chumbadores mecânicos ou químicos, geralmente em frente as vigas;
- b) a etapa seguinte é de colocação dos montantes verticais e horizontais, criando uma espécie de malha;
- c) a última etapa é a de colocação dos vidros, fixos externamente nas estruturas.

Rosso (2007) observa que a instalação do sistema *stick* ocorre do lado externo do edifício, frequentemente com o uso de balancins. Uma das vantagens proporcionadas por esse sistema é a flexibilidade de fazer modificações na estrutura durante a construção, permitindo ajustes conforme necessário.

A Figura 7 (Perfil Alumínio, 2023) esquematiza bem o processo de instalação das fachadas *stick*, seguindo os 3 passos estabelecidos anteriormente.

Figura 7 - Etapas de instalação da fachada *stick*



Fonte: Adaptado de Perfil Alumínio (2023)

2.5.2 Fachada unitizada

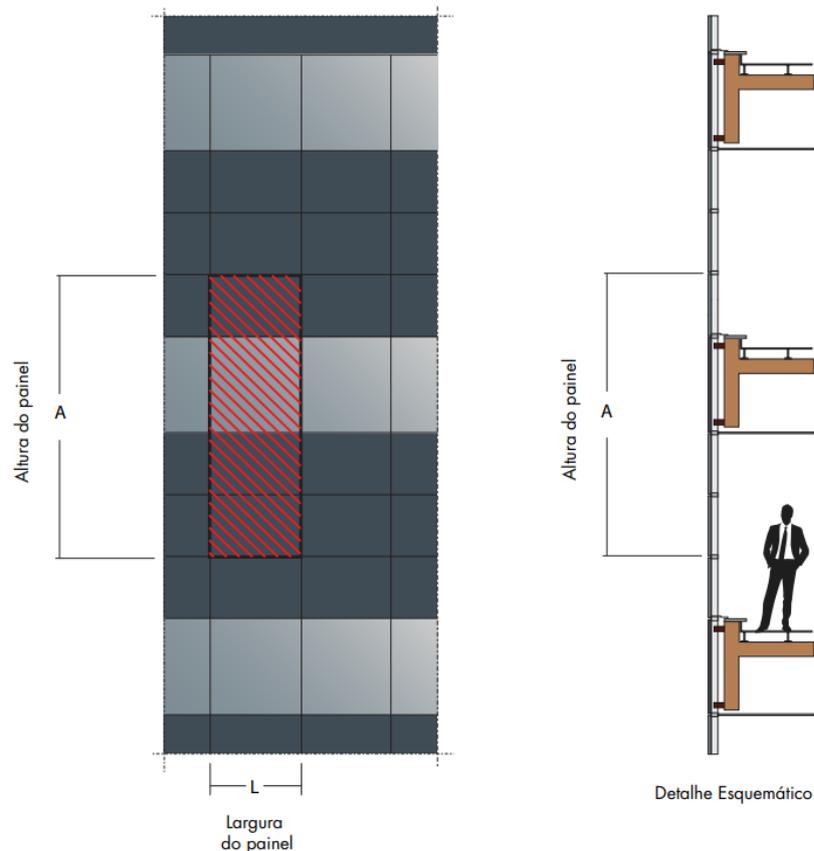
No sistema unitizado, se tem mais tecnologia e controle na execução, os módulos com diversos vidros já fixos, são instalados apenas apoiando-os nas ancoragens, eliminando assim, uma das etapas de instalação da *stick*, agilizando a entrega da fachada (GMM ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO, 2020). A empresa referência no ramo descreve as seguintes etapas de instalação:

- a) é feita a instalação das ancoragens de maneira similar ao sistema *stick*, com a diferença desta fixação ser comumente realizada no topo da viga/laje, deixando um braço projetado para fora da edificação;
- b) os módulos então chegam prontos para a obra e são içados até a sua posição previamente definida. Os módulos são posicionados sobre as ancoragens projetadas, e utilizando um sistema de encaixe macho-fêmea, os mesmos são alinhados lado a lado. Esse processo resulta em um encaixe perfeito e assegura que o conjunto seja completamente estanque.

A instalação do sistema cortina unitizado é realizada com o auxílio de uma máquina aranha (mini-guindaste), que içará o painel pelo lado externo do edifício. Entretanto, os instaladores permanecem dentro da edificação, atuando principalmente na assistência ao encaixe sobre o módulo inferior (CORSINI, 2013). Uma das vantagens do sistema unitizado em comparação ao sistema *stick* é a possibilidade de a fachada ser montada à medida que a estrutura do prédio vai sendo construída, permitindo uma integração mais eficiente entre os dois processos.

Na Figura 8 é possível ter uma ideia melhor da diferença de um módulo de fachada *stick* para um módulo de fachada unitizada, onde o módulo de unitizada contempla 4 vidros, instalados num único içamento, agilizando muito o processo no canteiro (PERFIL ALUMÍNIO, 2023).

Figura 8 - Delimitação de módulo unitizada



Fonte: Modificado de Perfil Alumínio (2023)

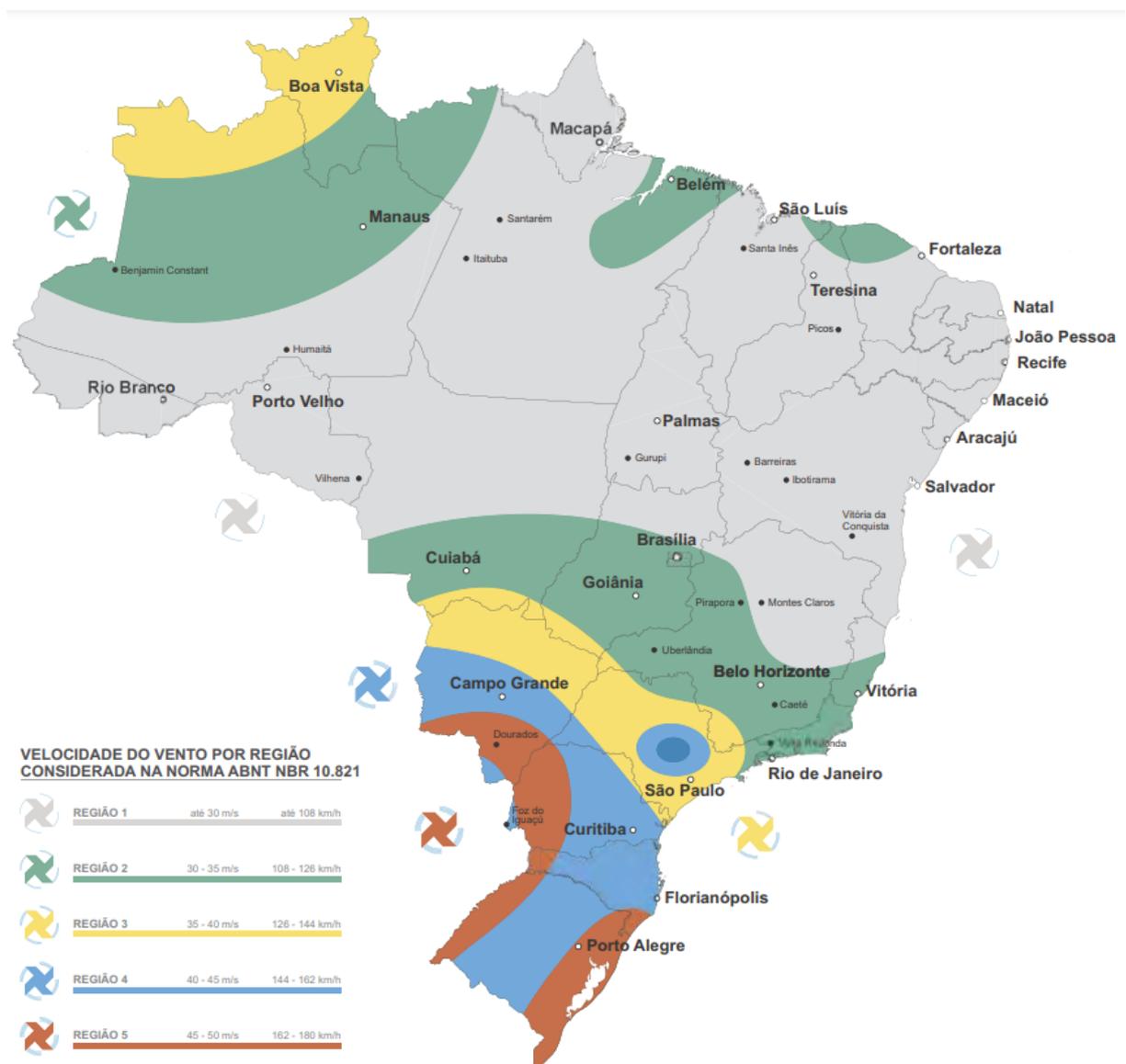
2.5.3 Dimensionamento das fachadas

O guia de CBIC (2017) ressalta que para o processo de construção e desenvolvimento de uma fachada-cortina, é crucial seguir uma série de fatores essenciais para garantir a qualidade do produto final. Esses fatores englobam o desempenho estrutural, a capacidade de impermeabilização contra água, a vedação ao ar, a resistência ao fogo, o conforto térmico e acústico, a adequada iluminação natural, aspectos estéticos e a viabilidade econômica.

A fachada-cortina, por fim, é classificada como uma esquadria e deve estar em conformidade com as normas técnicas ABNT NBR: 10821-2: 2023 e ABNT NBR: 10821-4: 2023. O projeto dos perfis destinados à fachada-cortina requer considerações técnicas meticulosas para garantir a resistência às cargas de vento específicas, bem como a capacidade de suportar cargas máximas, o sistema de ancoragem adequado, a resistência às pressões negativas (força de sucção), o desenho das juntas e as propriedades dos materiais empregados (CBIC, 2017).

A norma ABNT NBR: 10821: 2023 estabelece os parâmetros mínimos de desempenho para esquadrias localizadas na face externa das edificações de uso comercial ou residencial, em todo o Brasil. Esta norma exige um desempenho adequado da fachada quanto a resistência às cargas uniformemente distribuídas (cargas de vento). Quando se fala de resistência às cargas uniformemente distribuídas, esta norma traz um mapa de isopletas do Brasil (Figura 9), retirado da norma ABNT NBR: 6123:2023, em que se encontra a velocidade dos ventos, através da qual se conseguem calcular as forças devidas ao vento (HYDRO, 2023).

Figura 9 - Mapa de isopletas

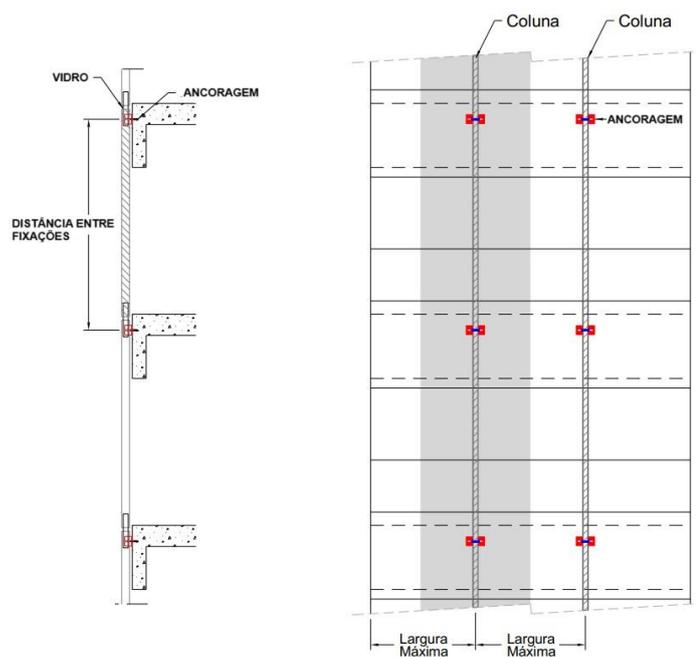


Fonte: Hydro: (2023)

Para verificação da aprovação das esquadrias e fachadas quanto a sua resistência as pressões causadas pela força do vento, são realizados ensaios em câmaras específicas para este fim. As cargas de vento são classificadas em: pressão de ensaio e pressão de segurança, sendo a segunda 50% maior que a primeira. No ensaio sob pressão de ensaio o corpo de prova não pode apresentar defeitos no seu funcionamento, como: falha na abertura e fechamento de janelas, permeabilidade ao ar maior do que estabelecido em projeto e deformação acima do limite estabelecido na norma. O teste sob pressão de segurança tem por único objetivo verificar se a estrutura avaliada não sofrerá desprendimento de qualquer de suas partes, independente do dano causado (ABNT NBR: 10821: 2023). Sendo que o corpo de prova deve ser idêntico à esquadria a ser instalada no empreendimento final, sem utilização de escalas. Os testes de pressão são feitos nos dois sentidos, pressão positiva e pressão negativa (ABNT NBR: 10821: 2023).

Para o correto dimensionamento dos elementos utilizados nas fachadas-cortina em vidro, pode-se contar com o auxílio dos principais extrusores e distribuidores de alumínio do país, como é o caso da CDA Metais, Hydro Alumínio e Perfil Alumínio. Os três fornecedores trazem alguns métodos de análise das cargas a serem consideradas para a escolha do sistema utilizado. É possível usar como exemplo a Figura 10 a seguir, adaptada do catálogo técnico da Hydro, para fachadas *stick*.

Figura 10 - Distribuição de cargas na coluna



Fonte: Modificado de Hydro (2023)

De acordo com os catálogos técnicos da Hydro (2023), que são periodicamente revisados e atualizados com as normas em vigor, aplica-se uma distribuição da carga de vento uniformemente distribuída na superfície do vidro da fachada. Este vidro então transmite essas cargas no primeiro elemento que tiver contato, que seriam os montantes verticais e horizontais. Para fins de simplificação dos cálculos, as linhas de fachadas desprezam a distribuição das cargas nos montantes horizontais, calculando a carga distribuída em sua totalidade nos montantes verticais. Posteriormente, a escolha do montante horizontal é consequência do montante vertical obtido no dimensionamento. Ainda seguindo o esquema de distribuição de cargas apontado na Figura 10, pode-se observar que a carga passa ainda por um terceiro elemento, antes de ser absorvido pela edificação, as ancoragens.

A distância entre as estruturas verticais limita a espessura do vidro utilizado, ou em outras palavras, quanto maior a peça de vidro que a arquitetura de uma obra resolver adotar, maior será a espessura deste vidro, e conseqüentemente, maior será a área de atuação da pressão distribuída deste vidro na estrutura auxiliar vertical, exigindo uma maior resistência mecânica desta estrutura (HYDRO, 2023).

Conforme estabelecido na ABNT NBR: 10821: 2023, ao ser submetida à pressão de ensaio na região onde será instalada, a fachada não deve apresentar:

- a) ruptura, colapso total ou parcial de qualquer um de seus componentes.
- b) deslocamento máximo instantâneo superior a $L/175$ do vão, sendo L o comprimento livre do perfil em análise (não deve exceder 2 cm em nenhum caso).
- c) deformação residual superior a 0,4% do vão, medida após pelo menos 3 minutos do desligamento da pressão de ensaio.

Siqueira Júnior (2003) também destaca a necessidade de nesta fase, ser essencial conduzir ensaios de tração em um número específico de chumbadores que estão ancorados no substrato. Esses ensaios desempenham um papel fundamental na avaliação do desempenho do substrato como uma base de fixação. Eles ajudam a determinar o espaçamento viável entre as ancoragens, que por sua vez orientará a modulação da estrutura auxiliar e dos vidros.

2.5.3.1 Vidro

O vidro utilizado na construção civil tem como base o vidro *float*, também conhecido como vidro comum ou liso. Esta é a forma mais simples do vidro que é comercializado, e habitualmente, é sujeito a processos posteriores que modificam suas propriedades, a fim de

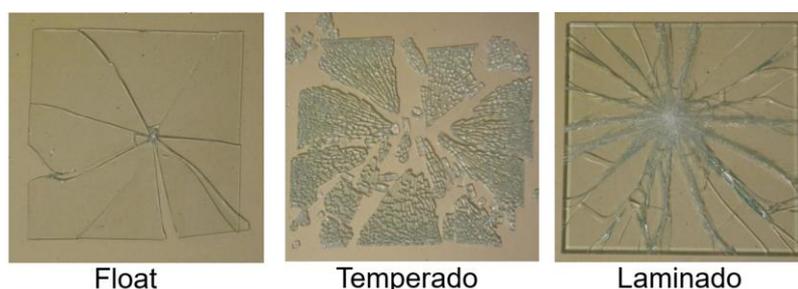
responder as várias exigências do mercado. Este vidro então é utilizado como matéria-prima para transformação nos tipos de vidro mais utilizados na construção civil atualmente, o temperado e o laminado. Na sua forma simples, o vidro liso quebra em estilhaços pontiagudos e perigosamente cortantes, possui uma resistência mecânica moderada e pode ser cortado e furado (BOGAS, 2011).

O vidro temperado, segundo Bogas (2011), consiste num vidro comum que foi submetido a um tratamento de forma a aumentar a sua resistência mecânica e a alterar a dimensão dos fragmentos em caso de quebra. Por esta característica de quebra em inúmeros pequenos estilhaços com os bordos pouco cortantes, que, é considerado um vidro de segurança para inúmeras aplicações.

O autor ainda salienta que o vidro temperado é capaz de suportar facilmente tensões superficiais muito maiores do que as exigidas para o vidro comum. Essa característica é a base para os sistemas de fixações pontuais mais modernos, que exploram a resistência do vidro temperado para criar soluções de fixação elegantes e ousadas, permitindo redução do tamanho das fixações e da área de contato com o vidro. Esses sistemas aproveitam a capacidade do vidro temperado de suportar cargas e tensões superficiais, permitindo uma aparência mais limpa e minimalista em aplicações de vidro, como fachadas de edifícios e elementos arquitetônicos.

O vidro laminado é composto por duas ou mais lâminas de vidro que são unidas por meio de um processo de laminação. Esse processo envolve a utilização de uma película intercalar, que pode ser feita de uma ou mais camadas de materiais sintéticos, resina ou gel. A principal função dessa película é unir as lâminas de vidro. A película mais comum é o Polivinil Butiral (PVB). Os vidros laminados também pertencem ao grupo de vidros de segurança, devido a capacidade de evitar estilhaçamento das peças ao se quebrar, conforme Figura 11. É o tipo de vidro mais utilizado em fachadas de vidro, apesar de ter ficado famoso na indústria automobilística, ao ser implementado nas para-brisas dos veículos. Além da segurança proporcionada pela película intercalar, o vidro laminado apresenta outras características, como melhorar o isolamento acústico, aumentar a segurança contra incêndios, entre outras (BOGAS, 2011).

Figura 11 - Quebra de diferentes vidros



Fonte: Westphal (2016)

Como último tipo de vidro relevante para este estudo, o autor cita ainda os vidros insulados. Trata-se do melhor produto que o mercado tem a oferecer, com um preço mais elevado, mas com um desempenho térmico, acústico, luminoso e estrutural, acima dos demais. O vidro insulado surge como resposta a uma necessidade crescente de melhorar as propriedades de isolamento térmico e sonoro dos envidraçados. Consiste em, pelo menos, dois painéis de vidro em ambos os lados de um espaço de ar, ou de uma camada isolante de gás, ou vácuo, selados hermeticamente nas bordas. A Figura 12 abaixo detalha as camadas do vidro insulado.

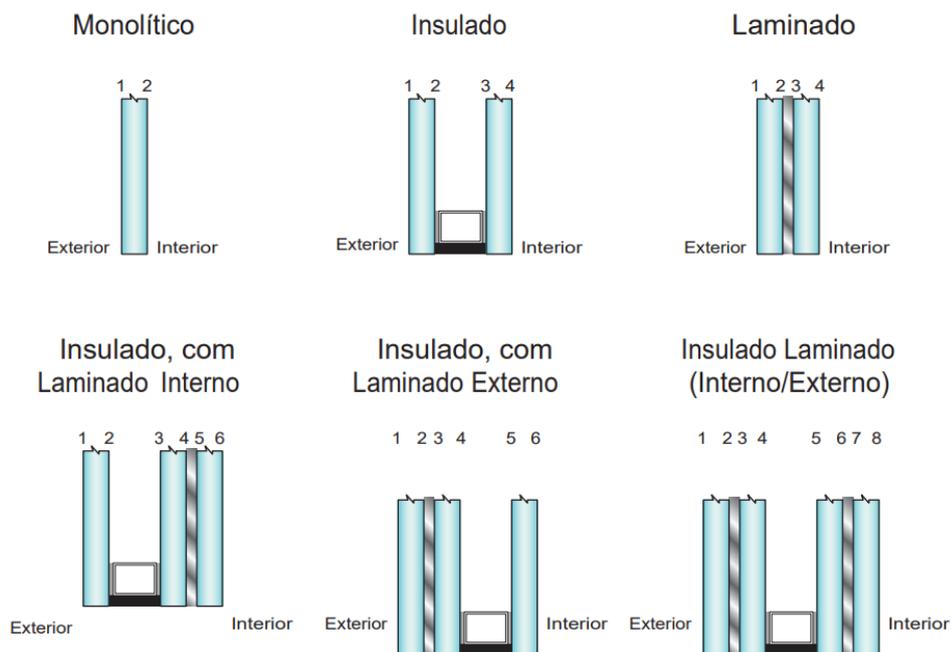
Figura 12 - Detalhe componentes do vidro insulado



Fonte: Bogas (2011)

O sistema de envidraçamento duplo permite a combinação de diferentes tipos de vidro, como temperado, laminado, colorido, incolor, revestido ou de baixa emissividade. Isso significa que é possível criar combinações de vidros com propriedades diversas, realçando as vantagens de cada um. Além de proporcionar maior segurança, o vidro isolante oferece benefícios significativos em termos de conforto térmico e acústico (ABRAVIDRO, 2023). A Figura 13 abaixo apresenta as diferentes configurações possíveis de vidros a serem utilizados, lembrando que o vidro monolítico pode ser atribuído para o *float* e para o temperado, assim como o laminado pode ter em seu conjunto, vidros *float* ou temperado.

Figura 13 - Possíveis combinações de vidro



Fonte: Adaptado de Guardian (2010)

O dimensionamento dos vidros de acordo com a ABNT NBR: 7199: 2016 é um processo fundamental para garantir a segurança, desempenho e durabilidade dos sistemas envidraçados em edificações. Essa norma estabelece critérios específicos para o cálculo das espessuras e resistência dos vidros, levando em consideração fatores como a carga de vento, o peso próprio do vidro e as condições de exposição do edifício. A norma também considera o uso de vidros em diferentes aplicações, como fachadas, coberturas, guarda-corpos e outros elementos envidraçados.

A norma ABNT NBR 7199: 2016 traz as principais propriedades físicas relacionadas aos vidros, conforme descrito abaixo:

- módulo de elasticidade: $E=70000$ MPa
- tensão de ruptura a flexão do vidro *float*: 40 ± 5 MPa
- tensão de ruptura a flexão do vidro temperado: 180 ± 20 MPa
- massa específica: 2500 kg/m³

A Tabela 1 mostra as tensões máximas admissíveis para as diferentes configurações de vidro que são comuns ter na construção civil. É dada uma maior ênfase nos dois intervalos mais utilizados, que são de 3 segundos e acima de 1 ano, aplicados para cálculos de rajadas de vento e carga permanente, respectivamente.

Tabela 1 - Tensões máximas admissíveis (MPa)

Tipo de vidro	Apoios	3 s	1 min	1 h	1 dia	1 mês	Acima de 1 ano
<i>Float</i>	Quatro bordas	23,3	19,3	14,9	12,4	10,0	7,2
	Qualquer outra configuração	20,0	15,2	11,7	9,7	7,9	5,7
Temperado	Quatro bordas	93,1	87,5	80,1	75,4	69,8	66,1
	Qualquer outra configuração	73,0	68,7	62,9	59,2	54,8	51,9

Fonte: Adaptado de ABNT NBR: 7199: 2016

Segundo a ABNT NBR: 7199: 2016, para obter a espessura adequada do vidro, precisa-se ter algumas informações de projeto já definidas, como o tipo do vidro, as dimensões da peça, a quantidade de bordas apoiadas, e a pressão de segurança. Quanto ao tipo de vidro, pode-se ter ele *float*, laminado, temperado, insulado, ou ainda alguma outra variação. Quanto a quantidade de bordas apoiadas, o mais usual para vidros externos é a aplicação de peças com os seus 4 lados apoiados. As dimensões seria o item que mais depende da paginação arquitetônica, sendo quanto maior a medida da peça, maior a espessura necessária. A pressão de segurança do vento é obtida a partir dos cálculos já realizados para o edifício, seguindo a ABNT NBR: 6123: 2023. Para a aprovação do vidro, o cálculo deve gerar uma espessura de vidro com uma resistência mínima, e uma flecha máxima.

2.5.3.2 Alumínio

A determinação da linha elástica é de extrema importância devido às especificações estabelecidas pela ABNT NBR: 10821: 2023 para o cálculo e dimensionamento de fachadas. Essas especificações definem um limite para a flecha máxima que a estrutura pode apresentar. Portanto, os perfis a serem dimensionados não apenas devem suportar as cargas aplicadas, mas também devem garantir que suas deformações não excedam os limites impostos pela norma.

Conforme a definição de Nash (1973), a flecha em um ponto do eixo de uma viga é a componente do deslocamento linear desse ponto que é perpendicular ao eixo reto da viga antes da aplicação das cargas. A linha elástica é a curva que o eixo da viga assume, inicialmente reto, após a aplicação das cargas.

O procedimento para o cálculo estático e dimensionamento dos perfis consiste na análise das cargas, que são transmitidas diretamente do revestimento para os montantes e, a partir deles, para as ancoragens (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

O autor ainda afirma que para determinar a flecha máxima admissível ($y_{m\acute{a}x}$) para o montante, considerando o Módulo de Elasticidade (E) do alumínio (7×10^4 MPa) e do aço ($20,5 \times 10^4$ MPa), é necessário encontrar o valor do momento de inércia (J) da peça para atender a esse critério. Com o momento de inércia necessário em mãos, é possível então consultar tabelas de perfis disponíveis e selecionar um perfil que atenda às características desejadas para cumprir os critérios de flecha máxima.

É possível encontrar perfis de alumínio extrudados em mais de 25 ligas diferentes, nos mais variados formatos. As principais ligas utilizadas em perfis para fabricação de fachadas são as ligas 6060 e 6063, conforme Figura 14.

Figura 14 - Ligas de alumínio comerciais

Designação Hydro	Características	Aplicações Típicas	Propriedades Mecânicas (Valores Mínimos)		
			Têmperas	Límite de Resistência à Tração Mpa (N/mm)	Límite de escoamento à Tração Mpa (N/mm)
6060	Média resistência mecânica, excelente resistência à corrosão, boa conformabilidade e excelente resposta à anodização fosca.	Janelas, portas, fachadas e outras aplicações em arquitetura e construção civil. Divisórias, tubos para irrigação e dissipadores de calor.	T5	160	120
			T6	190	150
			T64	180	120
			T66	215	160
6061	Alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e boa conformabilidade.	Estruturas, carrocerias e embarcações.	T4	180	110
			T6	260	240
6063	Média resistência mecânica, excelente resistência à corrosão, boa conformabilidade e excelente resposta à anodização fosca, natural e colorida.	Janelas, portas, fachadas e outras aplicações em arquitetura e construção civil. Divisórias, tubos para irrigação e dissipadores de calor.	T4	130	70
			T5	150	110
			T6	205	170
			T64	180	120
			T66	245	200

Fonte: Modificado de Hydro (2023)

A subestrutura auxiliar, normalmente fabricada em alumínio da série 6060 – T5, é composta por perfis verticais chamados de montantes. A posição desses montantes é determinada com base na disposição dos quadros de vidro na fachada, conforme definido no projeto de arquitetura. Os montantes são fixados à estrutura e/ou à vedação vertical externa do edifício por meio de ancoragens em forma de "U" ou "L", que geralmente são fabricadas com o mesmo material dos montantes. A distância entre as ancoragens é determinada considerando a capacidade de resistência do substrato e as forças do vento que atuam na localização específica da obra. Isso garante uma fixação segura e estável da subestrutura auxiliar à estrutura do edifício, suportando a pele de vidro de forma adequada (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003). De acordo com os catálogos técnicos fornecidos pela PERFIL ALUMÍNIO e HYDRO, o alumínio na liga usualmente utilizada, tem massa específica estimado em 2710 kg/m^3 ,

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentado o modelo estrutural em concreto armado concebido, considerando as condições de vento na cidade de Porto Alegre-RS. É importante ressaltar que a referida edificação não existe, sendo apenas um modelo estrutural fictício utilizado para análise e avaliação no decorrer do trabalho. O projeto arquitetônico foi inspirado em algumas obras existentes na cidade e foi seguido o padrão e tendência da região.

Para garantir a correta avaliação da estrutura no *software* TQS, é crucial que todos os elementos estruturais sejam devidamente definidos. Portanto, no dimensionamento dos elementos estruturais, como pilares, vigas e lajes, foram seguidas as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 6118: 2023 para as dimensões mínimas, bem como levado em consideração os estados de limite último (ELU) e o estado de limite de serviço (ELS).

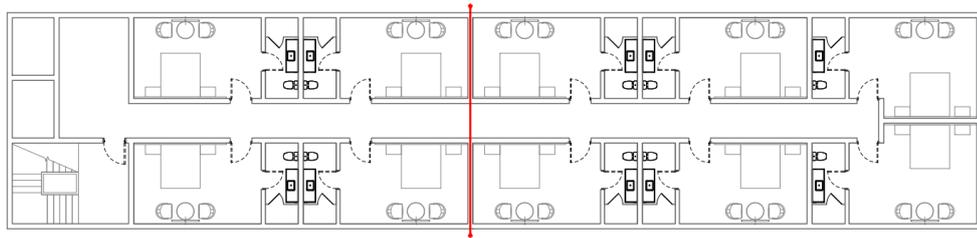
Os carregamentos horizontais e verticais foram definidos com base nos critérios apresentados nas normas ABNT NBR: 6123: 2023 e ABNT NBR: 6120: 2019. Já os carregamentos devido ao peso próprio das estruturas são calculados automaticamente pelo *software* utilizado, devido às propriedades dos materiais anteriormente definidos. Foi estabelecido previamente que a resistência característica do concreto (f_{ck}) adotada para o modelo estrutural é de 30 MPa e a classe de agressividade é II - Moderada (Urbana). As sapatas não foram consideradas no modelo estrutural, bem como as escadas, visto que estas não terão influência nos resultados buscados.

Quanto as peles de vidro, foram dimensionados 2 modelos de fachadas, tendo total liberdade arquitetônica para mudanças de paginação e concepção visual, apenas com o intuito de ter uma fachada considerada mais leve, e uma mais pesada, e fazer a devida comparação estrutural no edifício.

3.1 PROJETO BASE

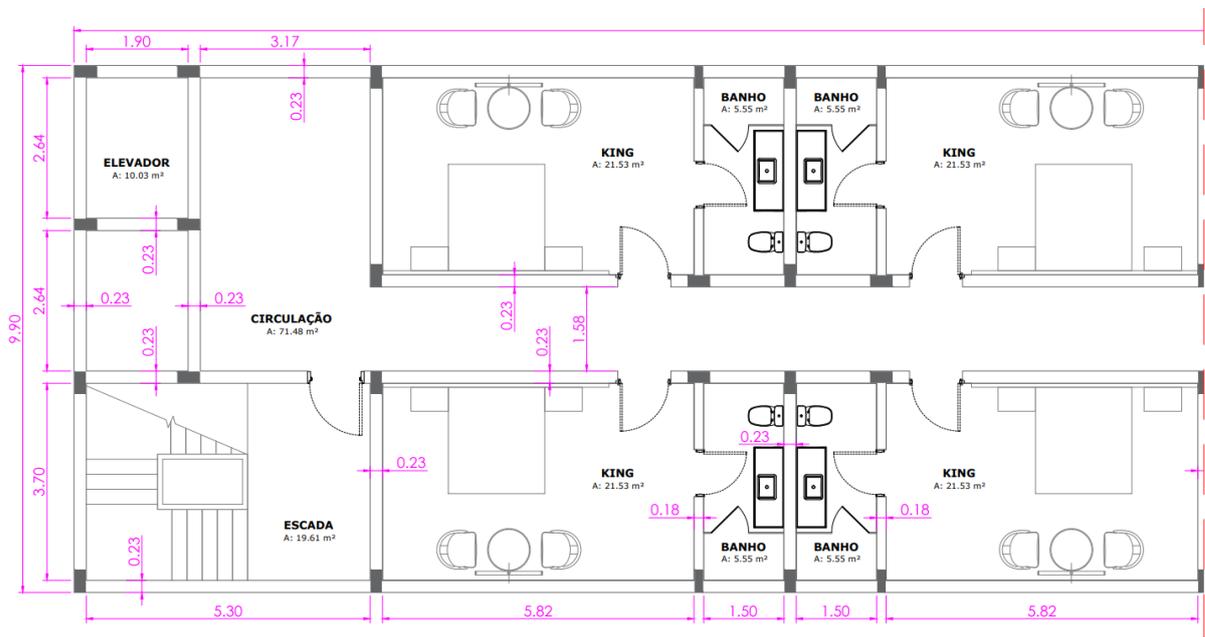
A seguir será apresentado o projeto arquitetônico utilizado como base para todas as demais etapas, o pré-dimensionamento estrutural e os critérios adotados para os carregamentos adicionais gerados pelo uso de cada ambiente. Pode-se visualizar a planta base disponível nas Figuras 15, 16 e 17.

Figura 15 - Projeto arquitetônico - planta baixa - croqui



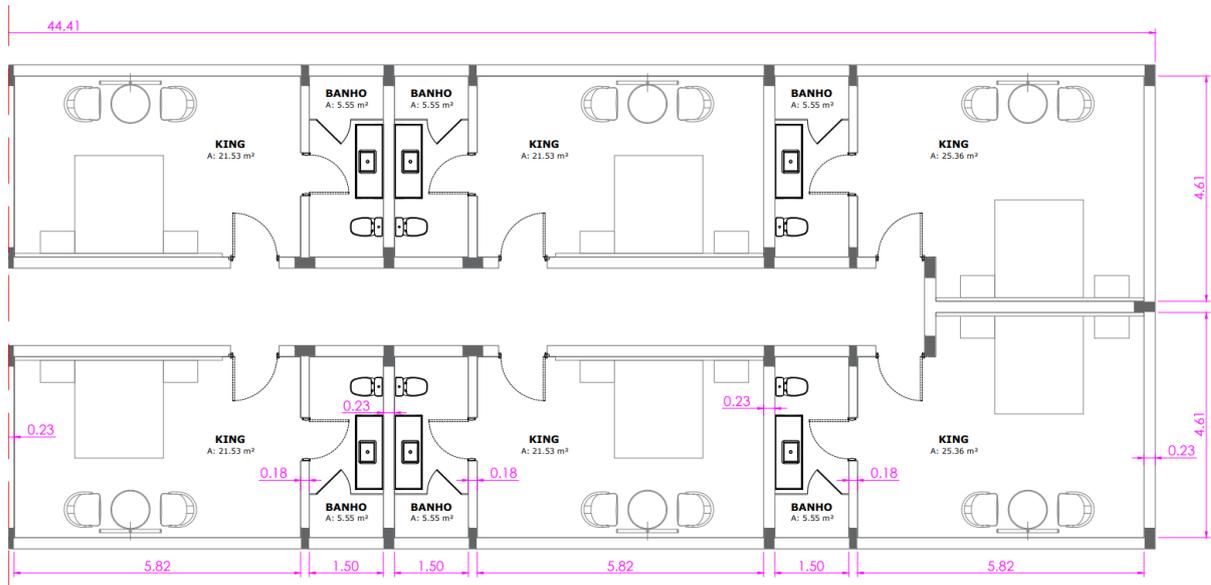
Fonte: O autor (2024)

Figura 16 - Projeto arquitetônico - planta baixa - parte 1/2



Fonte: O autor (2024)

Figura 17 - Projeto arquitetônico - planta baixa - parte 2/2

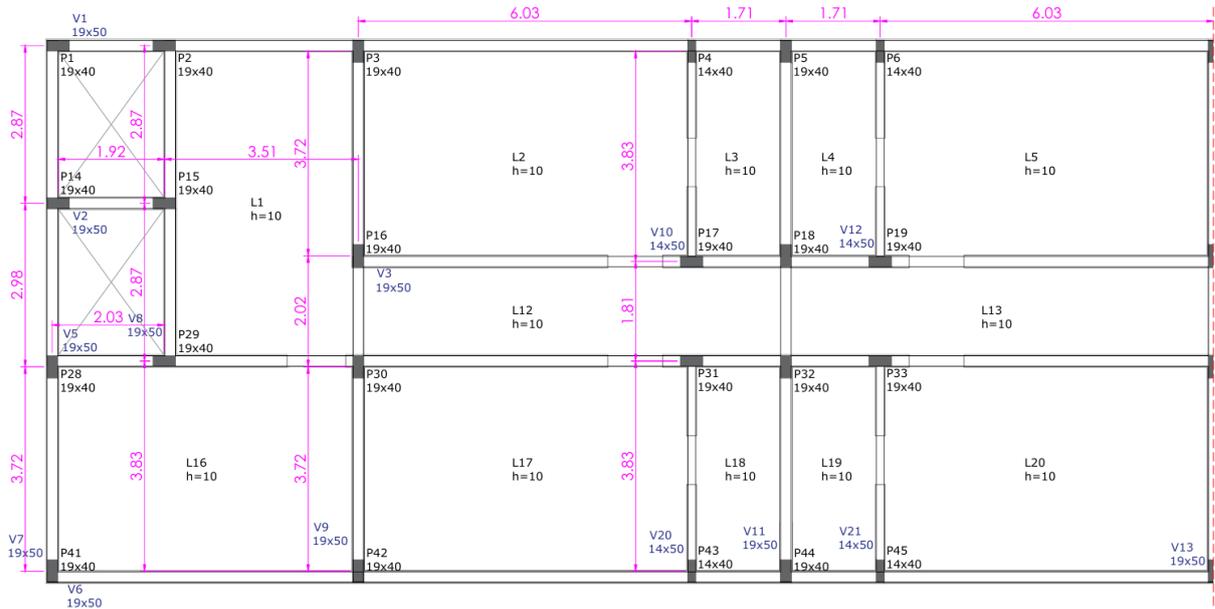


Fonte: O autor (2024)

Optou-se por utilizar como base deste estudo, uma planta tipo de um edifício hotel, de aproximadamente 439 m². Para fins de simplificação e facilidade de recriação do estudo no *software* TQS, foi considerado um edifício de 5 pavimentos, utilizando esta mesma planta como base para todos os pavimentos, apesar do térreo e da cobertura apresentarem, muito provavelmente, uma configuração diferente em condições reais.

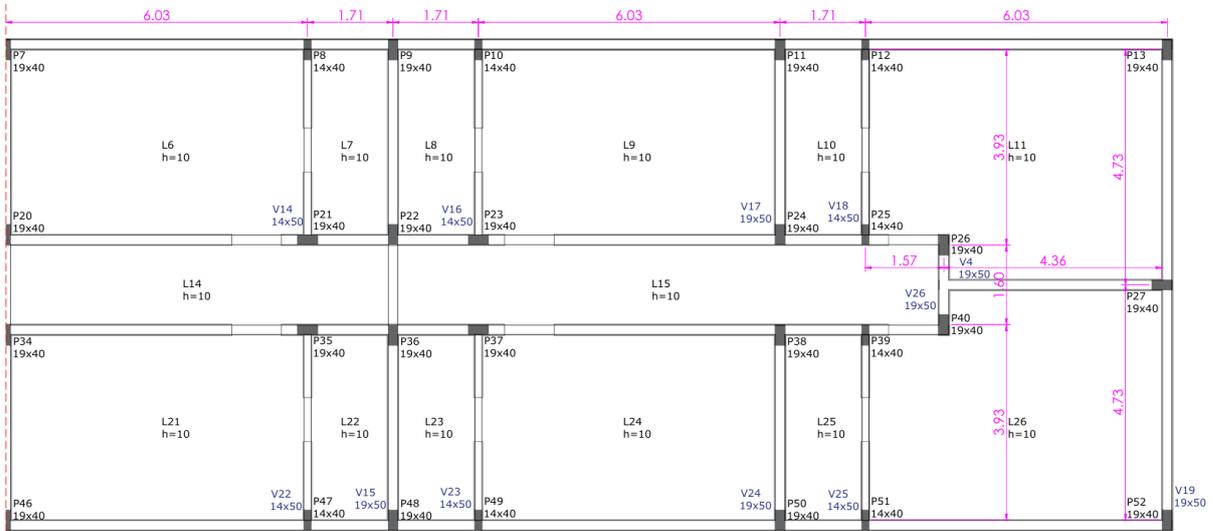
A partir deste projeto arquitetônico, foi desenvolvido um pré-dimensionamento dos pilares, vigas e lajes, conforme Figuras 18 e 19 a seguir.

Figura 18 - Projeto estrutural - pilares – parte 1/2



Fonte: O autor (2024)

Figura 19 - Projeto estrutural - pilares - parte 2/2



Fonte: O autor (2024)

Foram adotados pilares padrão de 19x40 e 14x40, posicionados de forma a resistir aos esforços solicitantes horizontais e verticais. Com a definição da largura dos pilares em 19cm e 14cm, as vigas se limitarão a esta dimensão também. Tentando manter o projeto arquitetônico compatível, foi adotado vigas de 19cm x 50cm para suportar as paredes de 23cm, e para as paredes de 19cm, foi utilizado vigas de 14cm x 50cm. Já para as lajes, foi padronizado uma espessura de 10cm em todo o pavimento.

Após o pré-dimensionamento dos elementos estruturais da edificação, as cargas variáveis e permanentes devem ser definidas, antes do lançamento das informações no *software* TQS.

3.2 CARGAS HORIZONTAIS

Os carregamentos horizontais devido ao vento foram calculados de forma automática pelo *software* com base nas prescrições da ABNT NBR 6123:2023. Portanto é necessário apenas definir os parâmetros de cálculo de acordo com as características da edificação, sendo eles velocidade básica, fator topográfico, categoria de rugosidade, classe da edificação, fator estatístico e turbulência.

A estrutura fictícia está localizada na cidade de Porto Alegre-RS, onde a velocidade básica do vento fica na faixa de 45 a 50 m/s, de acordo com o gráfico de isopletas de velocidade básica apresentado na Figura 9. A ação do vento na estrutura foi considerada de baixa turbulência.

Conforme recomendação da ABNT NBR 6123:2023, para o fator topográfico S1 foi considerado o valor de 1,0. Já para o fator S2 foi considerado a categoria V de densidade construtiva, onde a cota média dos obstáculos é de 25 metros ou mais. Como a maior dimensão da edificação é de 44 metros, ela fica enquadrada na Classe B, onde as dimensões variam de 20 a 50 metros, e a altura z analisada da área térrea até o final do quarto pavimento é de 15 metros. O fator S3 está enquadrado no grupo 2, sendo este referente a hotéis, com alto fator de ocupação, portanto, $S3 = 1,0$.

O resultado que se chegou após a determinação destes parâmetros, com o auxílio do site da Cebrace (empresa referência no país quanto a fabricação e distribuição de vidro), é de 1383,07 Pa para pressão de vento, com base na ABNT 6123:2023. Já com base na ABNT 7199:2016, este valor é majorado em 50% para o cálculo do vidro, obtendo o valor de 2074,6 Pa, no topo do quinto pavimento da edificação. Para análise das estruturas da fachada, a ABNT 10821:2023 exige a majoração da pressão de cálculo em 20% para obter a pressão de ensaio, e majoração de 50% em cima da pressão de ensaio encontrada, para obter a pressão de segurança. A Tabela 2 a seguir resume as cargas utilizadas.

Tabela 2 - Pressões de vento

	Pressão (Pa)	Norma base	Majoração
Cálculo (PC)	1383,07	ABNT 6123:2023	
Segurança vidro (PSv)	2074,60	ABNT 7199:2016	50% sobre PC
Ensaio esquadria (PEe)	1659,68	ABNT10821:2023	20% sobre PC
Segurança esquadria (PSe)	2489,53	ABNT 10821:2023	50% sobre PSe

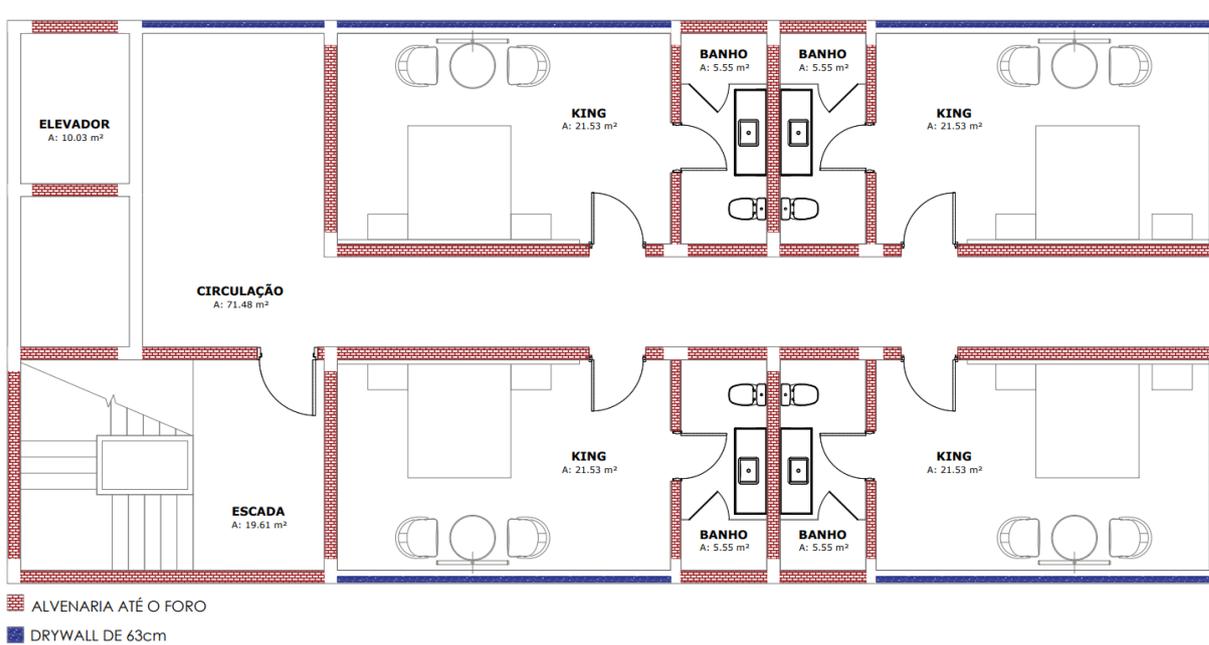
Fonte: O autor (2024)

3.3 CARGAS VERTICAIS

Para as cargas verticais utilizou-se as indicações da ABNT 6120:2019 que define as cargas acidentais bem como o peso específico dos materiais. Foi considerado para o revestimento das lajes um carregamento de 1 kN/m², 1,5 kN/m² para as sobrecargas acidentais nos quartos e banheiros, enquanto nas áreas de corredores de uso comum utilizou-se um carregamento de 3kN/m².

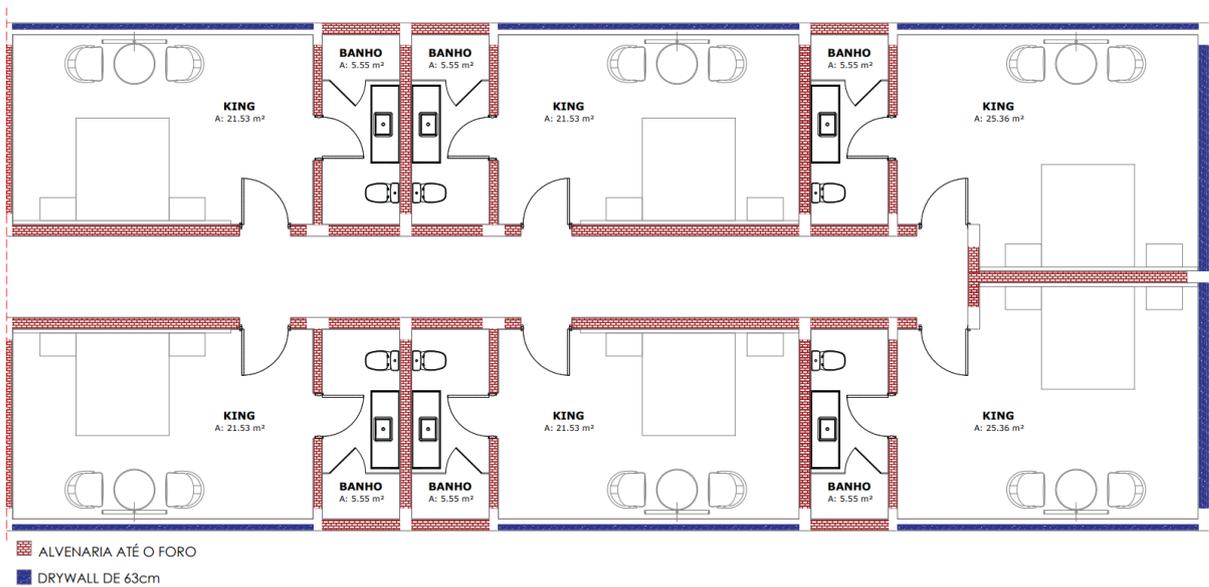
As cargas de alvenaria também foram aplicadas em todas os locais pertinentes, utilizando paredes em alvenaria de bloco cerâmico e argamassa com 23cm e 19cm, com altura total até o foro do pavimento, e fechamentos de peitoril em *drywall*, onde necessário. Foi considerado o carregamento total de 4,5 kN/m para paredes de 19 cm, e 5,0 kN/m para as de 23 cm, além da carga de 0,3 kN/m para o *drywall*. Tal distribuição pode ser vista nas Figuras 20 e 21. Lembrando que as cargas geradas pela pele de vidro ainda não foram calculadas e adicionadas, processo este que será apresentado posteriormente.

Figura 20 - Distribuição das paredes de alvenaria e drywall - parte 1/2



Fonte: O autor (2024)

Figura 21 - Distribuição das paredes de alvenaria e drywall - parte 2/2



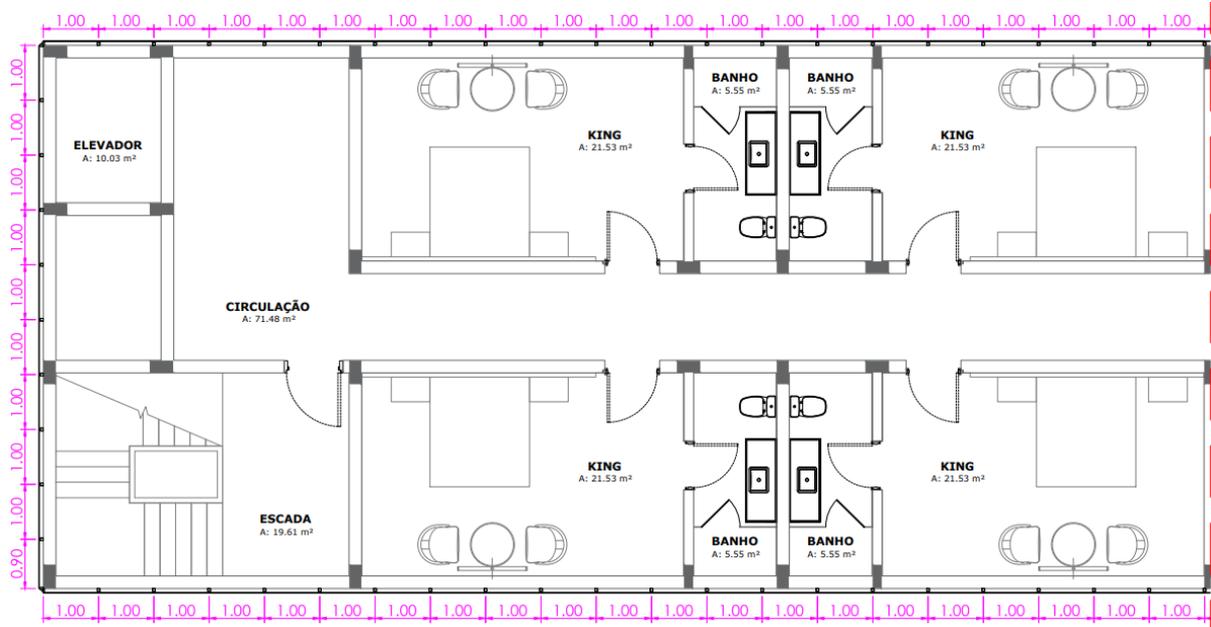
Fonte: O autor (2024)

3.3.1 Pele de vidro

Para a simulação de menor peso adicionado a fachada, adotou-se uma versão de fachada em vidro no sistema *stick*, utilizando uma linha de material mais esbelto, e com menor

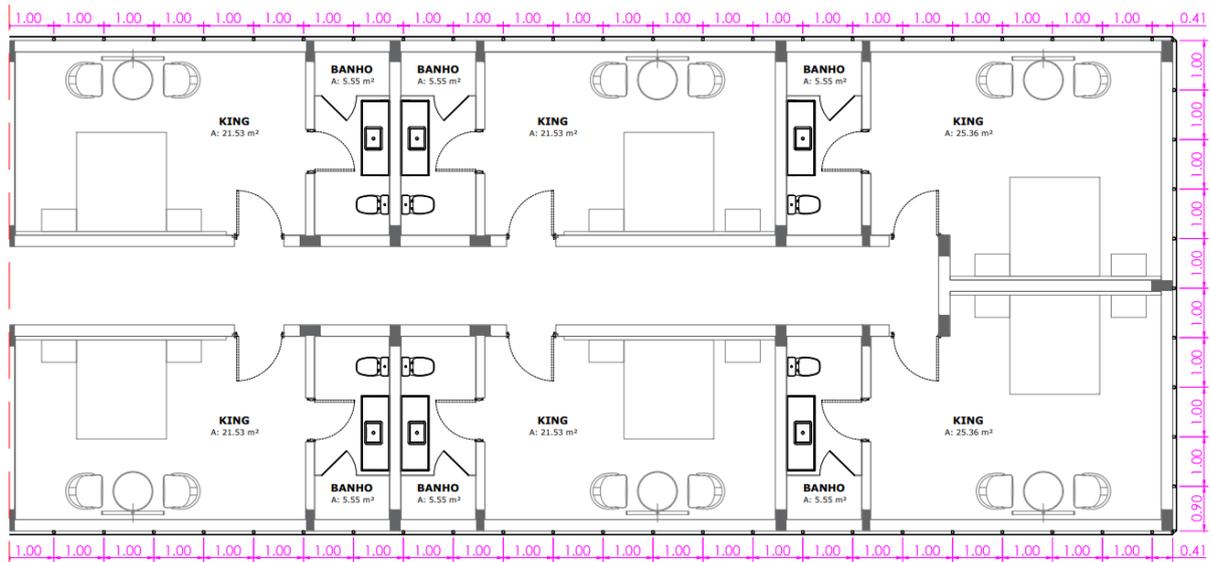
espaçamento entre módulos, a fim de diminuir a bitola do montante de alumínio e a espessura do vidro. As Figuras 22 e 23 abaixo mostram em planta a modulação adotada.

Figura 22 - Planta baixa com modulação da pele de vidro esbelta - parte 1/2



Fonte: O autor (2024)

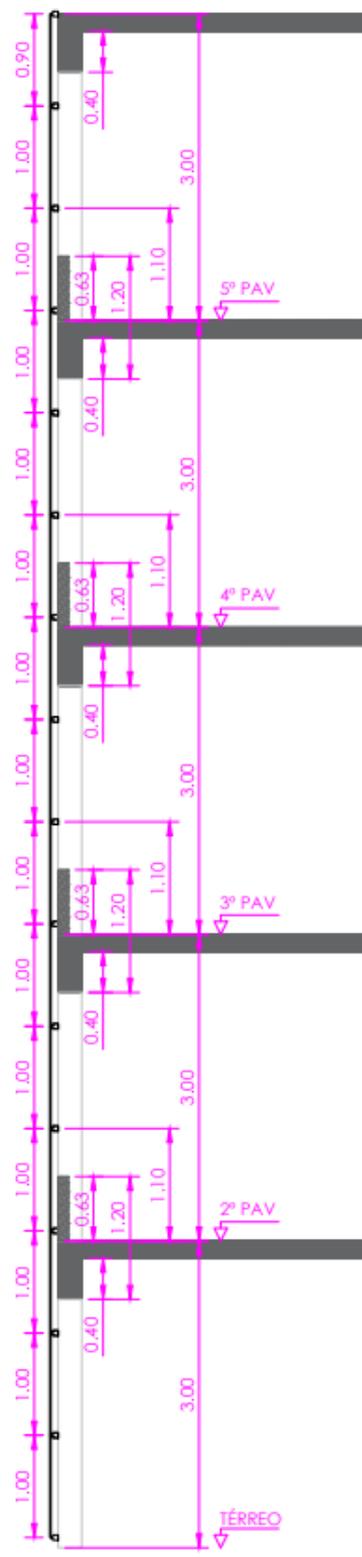
Figura 23 - Planta baixa com modulação da pele de vidro esbelta - parte 2/2



Fonte: O autor (2024)

A disposição da fachada em corte também é relevante para a análise das dimensões dos módulos, conforme ilustra a Figura 24 abaixo.

Figura 24 - Detalhe corte com pele de vidro esbelta

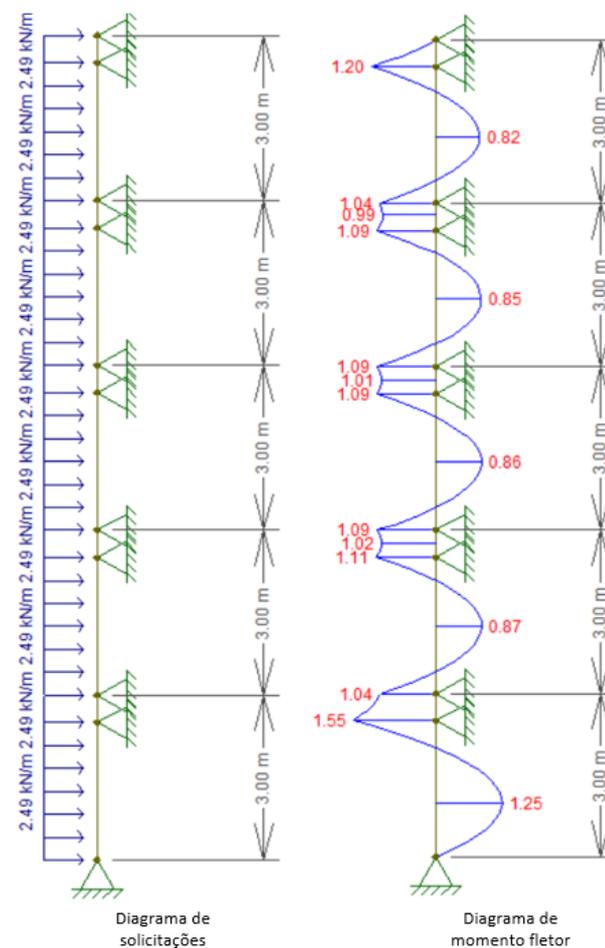


Fonte: O autor (2024)

O corte mostra alguns requisitos que tiveram que ser atendidos, como por exemplo a existência de uma mureta em *drywall*, para complementar os 1,20 metros de compartimentação de pavimentos, exigida pelo corpo de bombeiros. Outra exigência atendida é a de 1,10 metros até o início da abertura da maxim-ar. Como escolha arquitetônica, foi considerado a medida máxima mantida entre montantes, de 1 metro, resultando em 3 vidros por pavimento.

Com todas essas definições prévias, foi possível então iniciar o dimensionamento da fachada, e buscar a melhor linha que atenda às necessidades. Com o auxílio do *software* Ftool, foi desenvolvido o corte da região crítica da fachada, para análise do montante vertical. O diagrama de esforços encontrados está apresentado na Figura 25 abaixo.

Figura 25 - Diagrama de esforços fachada esbelta



Fonte: O autor (2024)

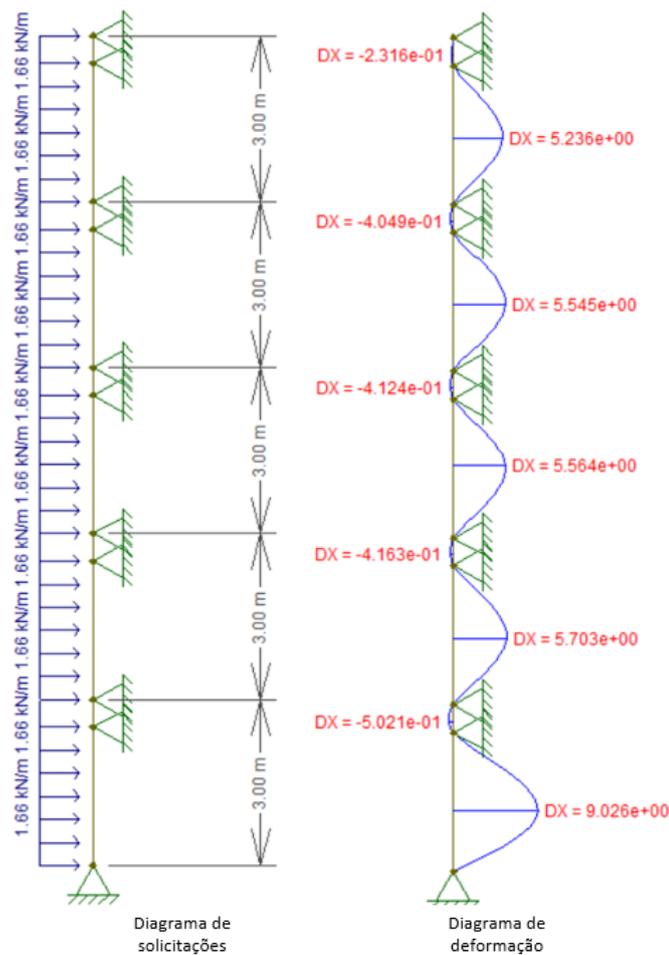
A força aplicada na coluna foi obtida através da distribuição da pressão de vento de segurança, aplicada na área de atuação na coluna, que nesta paginação da fachada, é de 0,5m para cada lado, totalizando 1m.

Com base no momento máximo encontrado de 1,55 kN.m, o objetivo é encontrar um perfil de coluna com inércia suficiente para a tensão atuante ficar abaixo da tensão de escoamento da liga adotada. Em paralelo a verificação da tensão, também deve ser analisado a deformação máxima, que deve ser limitada em $L/175$, sendo L a distância entre pontos de apoio.

Dentre os principais fornecedores de alumínio do Brasil, a opção adotada foi de utilização da coluna RB-003, da linha Rembrandt, da CDA Metais. A coluna com inércia de 709919 mm^4 , resiste a tensão máxima atuante de 113,98 MPa na liga padrão de mercado, 6060-T5, cujo limite de escoamento é 120 MPa. O coeficiente de segurança neste caso ficou em 1,06.

Quanto a deformação máxima, também foi utilizado o *software* Ftool para auxílio, gerando os valores apresentados na Figura 26 abaixo. É válido ressaltar que para análise da deformação, a pressão utilizada é a de ensaio.

Figura 26 - Diagrama de deformação fachada esbelta



Fonte: O autor (2024)

A maior deformação encontrada é de 9,2mm, inferior a deformação limite de 14,28mm. Como a coluna acaba sendo a estrutura que mais sofre esforços no sistema, entende-se que os demais perfis de alumínio a serem utilizados não necessitem de dimensionamento, basta seguir as indicações de travessa e folha a serem utilizadas no próprio catálogo do fabricante.

Após o dimensionamento da estrutura em alumínio, é necessário dimensionar o vidro, que tende a ser o elemento que gerará maior impacto no peso total da fachada. Utilizando a maior medida de vidro proposta pela paginação em estudo e considerando um vidro de segurança laminado, obtém-se a espessura necessária de 6mm (3mm float + PVB + 3mm float) para a pressão de vento atuante. O cálculo de espessura do vidro necessário foi simplificado utilizando novamente o site da Cebrace, que calcula tal elemento com base nas normas brasileiras em vigor.

Considerando os materiais dimensionados acima, é possível chegar no peso aproximado de 0,65 kN/m, conforme mostram as Tabelas 3, 4 e 5 abaixo.

Tabela 3 - Cálculo de peso da estrutura em alumínio

Código perfil	Peso (kg/m)	Medida (m)	Quantidade de peças	Peso total (kg)
Rb-003	1,971	3	1	5,913
RB-023	1,501	1	3	4,503
RB-201	0,592	1	12	7,104
ALG-2073	3,709	0,2	2	1,4836
ALG-2059	0,569	1	1	0,569
CX-3420	0,504	1	1	0,504
ALG-2061	0,117	1	1	0,117
Peso total da estrutura em alumínio (kg)				20,1936

Fonte: O autor (2024)

Tabela 4 - Cálculo de peso do vidro

Largura (m)	1
Altura (m)	1
Espessura (mm)	6
Peso específico do vidro (kg/cm ³)	2,5
Quantidade de peças	3
Peso total do vidro (kg)	45

Fonte: O autor (2024)

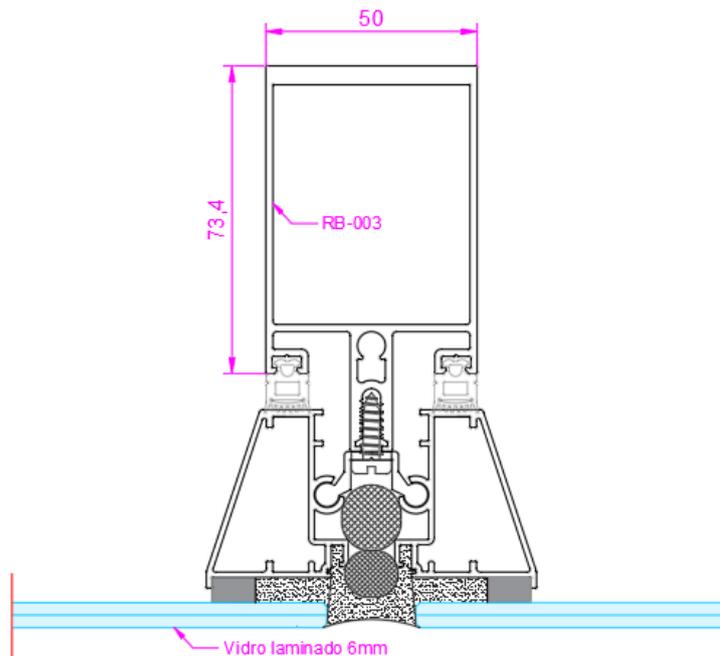
Tabela 5 - Cálculo de peso total do conjunto

Estrutura em alumínio (kg)	20,1936
Vidro (kg)	45
Peso total do conjunto (kg)	65,1936
Peso total do conjunto (kg/m)	65,1936

Fonte: O autor (2024)

Para ilustrar melhor os materiais adotados, a Figura 27 apresenta um detalhe do conjunto da fachada (medidas em milímetros).

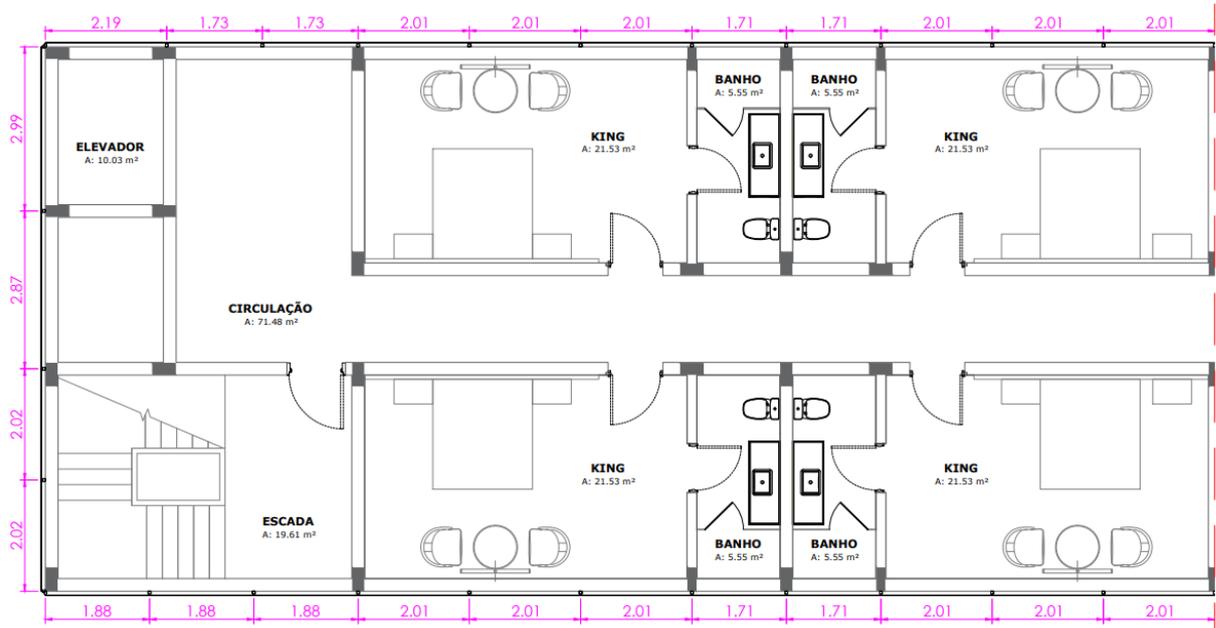
Figura 27 - Croqui fachada esbelta



Fonte: O autor (2024)

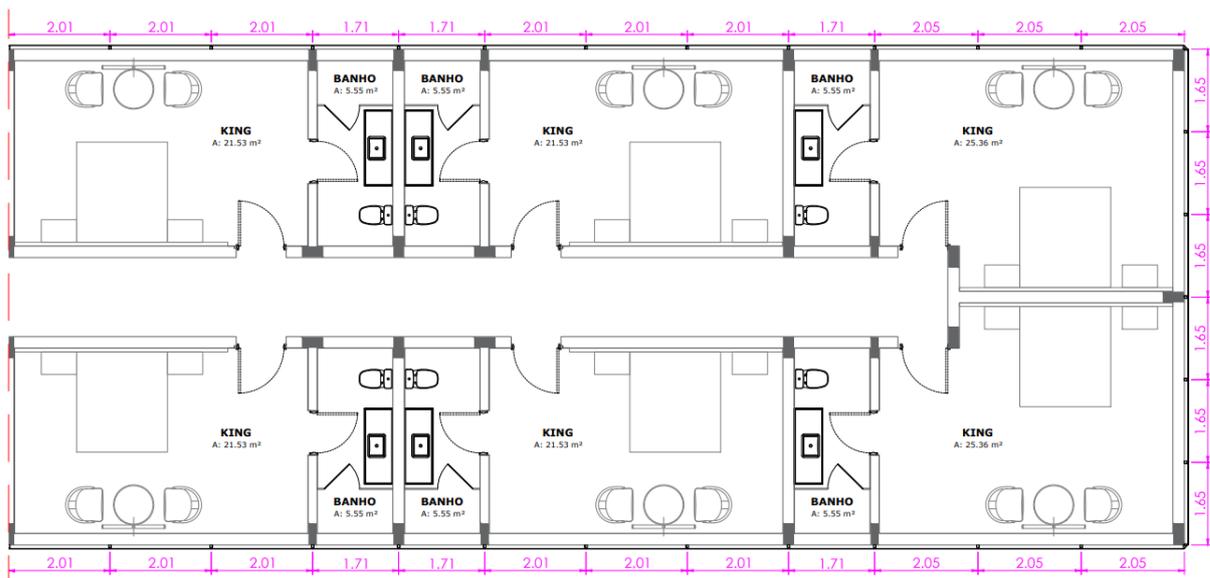
Já para a versão arquitetônica que terá um peso adicional maior, optou-se por utilizar fachada unitizada, com uma modulação mais espaçada e vidro duplo. As Figuras 28 e 29 abaixo mostra esta opção de fachada aplicada ao projeto base utilizado.

Figura 28 - Planta baixa com modulação da pele de vidro robusta - parte 1/2



Fonte: O autor (2024)

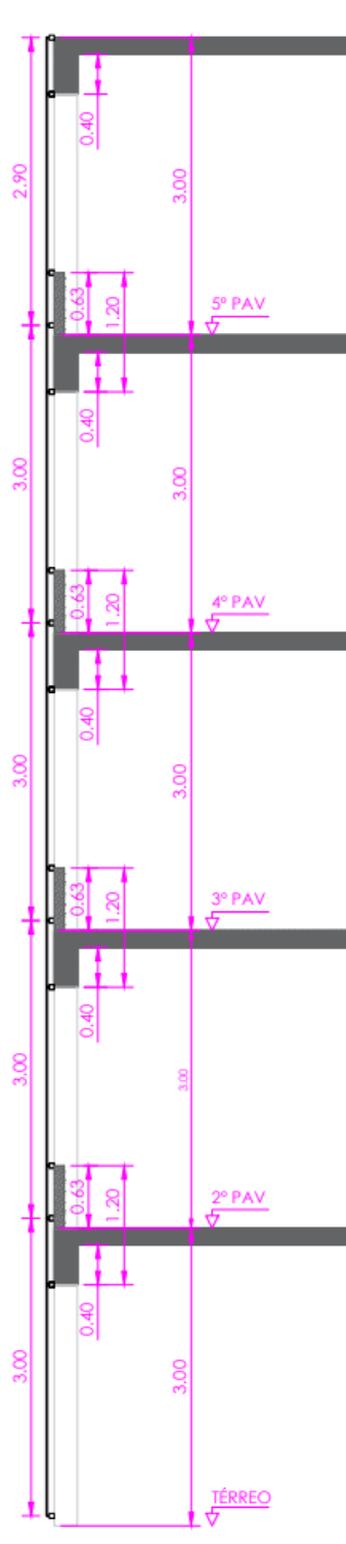
Figura 29 - Planta baixa com modulação da pele de vidro robusta - parte 2/2



Fonte: O autor (2024)

Além da alteração da modulação em planta, também se alterou as medidas dos módulos em corte, conforme Figura 30 abaixo.

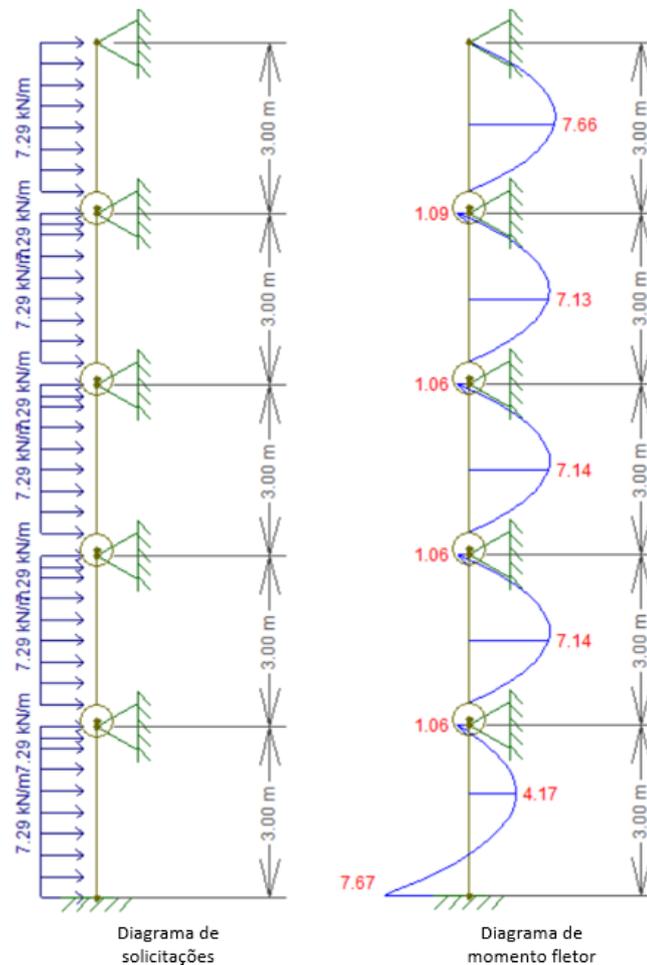
Figura 30 - Detalhe corte com pele de vidro robusta



Fonte: O autor (2024)

Seguindo as mesmas etapas realizadas no dimensionamento da fachada stick, se faz necessária a utilização do *software* Ftool. A Figura 31 apresenta o diagrama de esforços atuantes no montante vertical a ser definido.

Figura 31 - Diagrama de esforços fachada robusta



Fonte: O autor (2024)

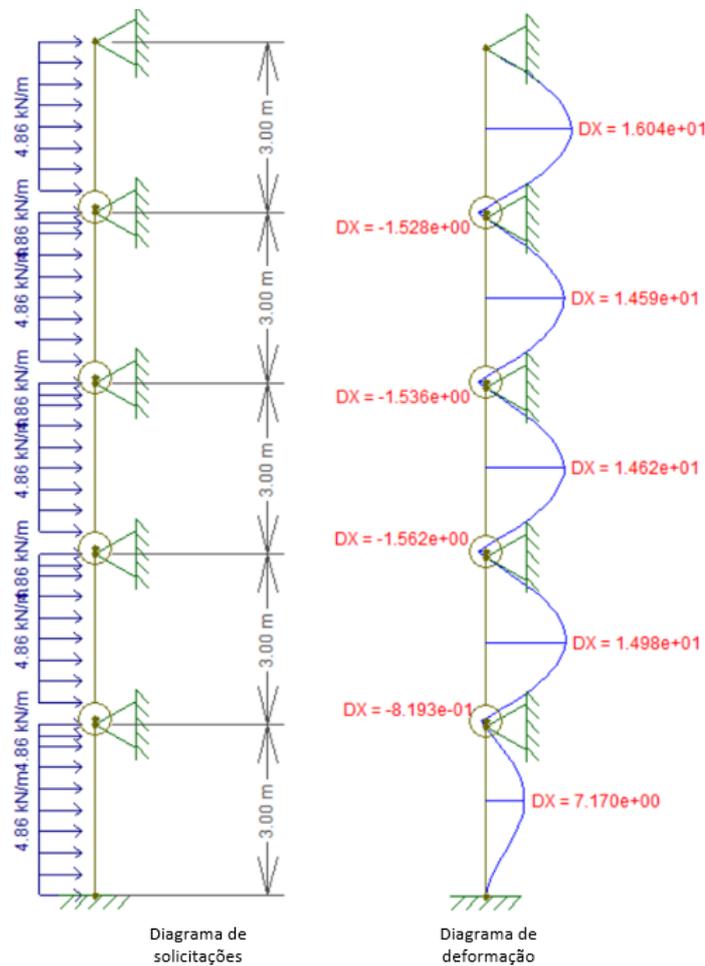
A força aplicada na coluna foi obtida através da distribuição da pressão de vento de segurança, aplicada na área de atuação da coluna. Nesta paginação, como existem diferentes medidas de módulos, utiliza-se o pior caso para análise. O montante vertical exigido nesta paginação é o montante localizado entre o módulo de 2,99m e o de 2,88m, onde a área de atuação da pressão de vento nele é de 2,93m.

Com base no momento máximo encontrado de 7,87 kN.m, busca-se então um conjunto de montantes verticais no sistema unitizado que tenham inércia suficiente para a tensão atuante ficar abaixo da tensão de escoamento da liga adotada.

Dentre os principais fornecedores de alumínio do Brasil, a opção adotada foi de utilização do conjunto LV-125001, LV-125002 e LC-520 da linha Da Vinci, da CDA Metais. O conjunto com inércia total de 3804655mm^4 , resiste a tensão máxima atuante de 147,69 MPa numa liga superior à padrão de mercado, a liga 6060-T6, cujo limite de escoamento é 150 MPa. O coeficiente de segurança neste caso ficou em 1,02.

Quanto a deformação máxima, também foi utilizado o *software* Ftool para auxílio, gerando os valores apresentados na Figura 32 abaixo.

Figura 32 - Diagrama de deformações fachada robusta

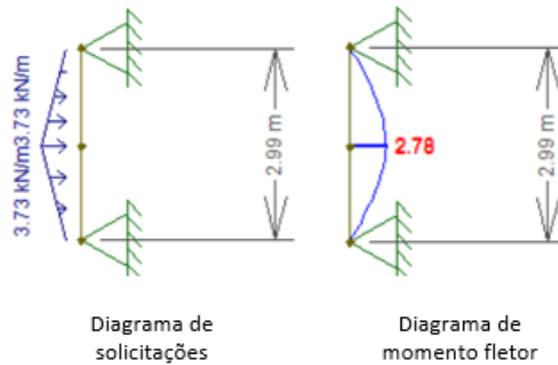


Fonte: O autor (2024)

A maior deformação encontrada é de 16,04mm, inferior a deformação limite de 17,14mm. Além da análise vertical, neste caso, é válido fazer a análise horizontal também, devido a largura fora do comum para alguns módulos. A mesma análise de tensão e deformação deve ser feita no elemento horizontal mais frágil, para garantir que ele também suporte aos esforços.

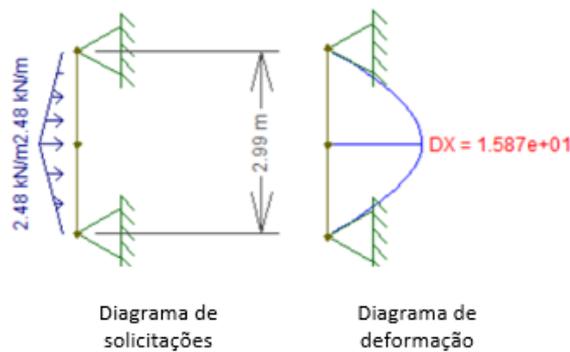
O perfil horizontal de menor inércia é o LV-125004, com um valor de 1485751mm^4 , e tem sua análise feita a partir dos diagramas da Figuras 33 e 34.

Figura 33 - Diagrama de esforços LV-125004



Fonte: O autor (2024)

Figura 34 - Diagrama de deformações LV-125004



Fonte: O autor (2024)

Com base nos diagramas, é possível chegar no valor de $126,42 \text{ MPa}$ de tensão máxima que o montante horizontal sofrerá, abaixo do seu limite estabelecido de 150 MPa , ficando ainda com um bom coeficiente de segurança ($1,18$). Quanto a deformação, o perfil também está aprovado, já que deformará no máximo $15,87\text{mm}$, e seu limite é de 17mm .

Após o dimensionamento da estrutura em alumínio, é necessário dimensionar o vidro. Utilizando a maior medida de vidro proposta pela paginação em estudo e considerando um vidro insulado, para maior conforto térmico e acústico, obtém-se a espessura necessária de 24mm (laminado 12mm + câmara de gás + laminado 12mm), onde os vidros laminados são compostos por vidro float 6mm + PVB + vidro float 6mm .

Considerando os materiais dimensionados acima, é possível chegar no peso aproximado de 1,99 kN/m, conforme mostram as Tabelas 6, 7 e 8 abaixo.

Tabela 6 - Cálculo de peso da estrutura em alumínio

Código perfil	Peso (kg/m)	Medida (m)	Quantidade de peças	Peso total (kg)
LV-125001	2,269	3	1	6,807
LV-125002	1,986	3	1	5,958
LV-125003	2,999	2,99	1	8,96701
LV-125004	2,408	2,99	1	7,19992
LC-026	2,226	2,99	2	13,31148
LC-520	1,194	3	2	7,164
LC-500	6,334	0,2	2	2,5336
LC-505	0,666	0,05	2	0,0666
LC-506	2,826	0,15	2	0,8478
LC-502	2,007	0,08	2	0,32112
ALG-2059	0,569	2,99	1	1,70131
CX-3420	0,504	2,99	1	1,50696
ALG-2061	0,117	2,99	1	0,34983
Peso total da estrutura em alumínio (kg)				56,73463

Fonte: O autor (2024)

Tabela 7 - Cálculo de peso do vidro

Largura (m)	2,99
Altura (m)	3
Espessura (mm)	24
Peso específico do vidro (kg/cm ³)	2,5
Quantidade de peças	1
Peso total do vidro (kg)	538,2

Fonte: O autor (2024)

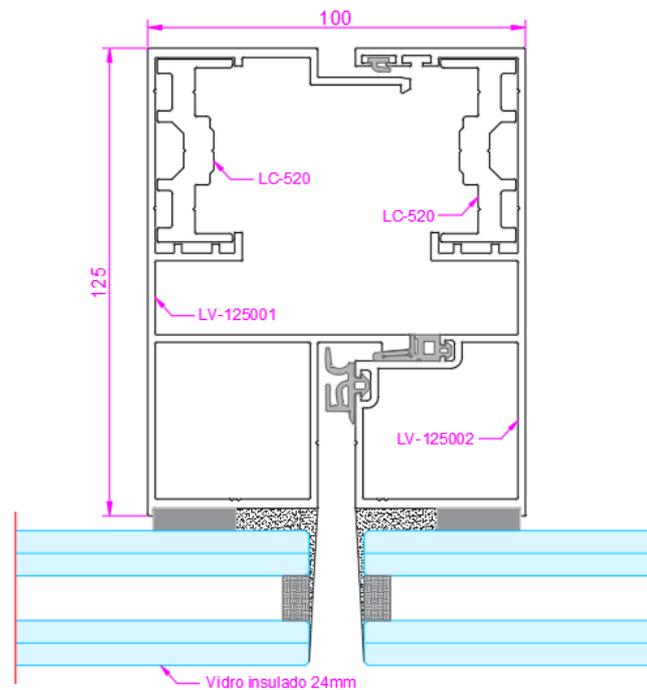
Tabela 8 - Calculo de peso total do conjunto

Estrutura em alumínio (kg)	56,73463
Vidro (kg)	538,2
Peso total do conjunto (kg)	594,93463
Peso total do conjunto (kg/m)	198,9747926

Fonte: O autor (2024)

Para ilustrar melhor os materiais adotados nesta paginação, a Figura 35 apresenta um detalhe do conjunto da fachada (medidas em milímetros).

Figura 35 - Croqui pele de vidro robusta



Fonte: O autor (2024)

A partir destes pesos obtidos, foram feitas algumas simulações no *software* TQS para verificação da diferença estrutural gerada pelas duas concepções arquitetônicas de fachada.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos após execução da metodologia descrita anteriormente. O principal objetivo das análises é demonstrar a aplicação dos parâmetros estudados, bem como proceder a uma análise comparativa entre os resultados obtidos para as duas situações estudadas.

A metodologia e os critérios adotados nos modelos estruturais e nas análises, tais como vinculações, rigidez dos elementos, definição dos carregamentos e das combinações de ações, entre outros, seguem as mesmas diretrizes já descritas no Capítulo 3. Todas as análises realizadas a seguir foram utilizando o *software* TQS.

4.1 ESTABILIDADE GLOBAL

Para validação dos resultados, é necessário garantir que o edifício fictício criado atenda aos requisitos mínimos de estabilidade. As Tabelas 9 e 10 a seguir, apresentam os resultados obtidos quanto ao estado limite último e de serviço, respectivamente.

Tabela 9 - Resultados do ELU

Edifício	GamaZ	Limite GamaZ	FAVt	Limite FAVt
Sem fachada	1.066	1.10	1.078	1.10
Fachada esbelta	1.068	1.10	1.08	1.10
Fachada robusta	1.07	1.10	1.085	1.10

Fonte: O autor (2024)

Como é possível observar, os resultados obtidos para o ELU estão abaixo do limite. O mesmo se repete para os deslocamentos encontrados na análise do ELS abaixo.

Tabela 10 - Resultados do ELS

Edifício	Deslocamento no topo (cm)	Limite no topo (cm)	Deslocamento entre pisos (cm)	Limite entre pisos (cm)
Sem fachada	(H / 8691) 0.17	(H / 1700) 0.88	(Hi / 5789) 0.05	(Hi / 850) 0.35
Fachada esbelta	(H / 8691) 0.17	(H / 1700) 0.88	(Hi / 5789) 0.05	(Hi / 850) 0.35
Fachada robusta	(H / 8691) 0.17	(H / 1700) 0.88	(Hi / 5789) 0.05	(Hi / 850) 0.35

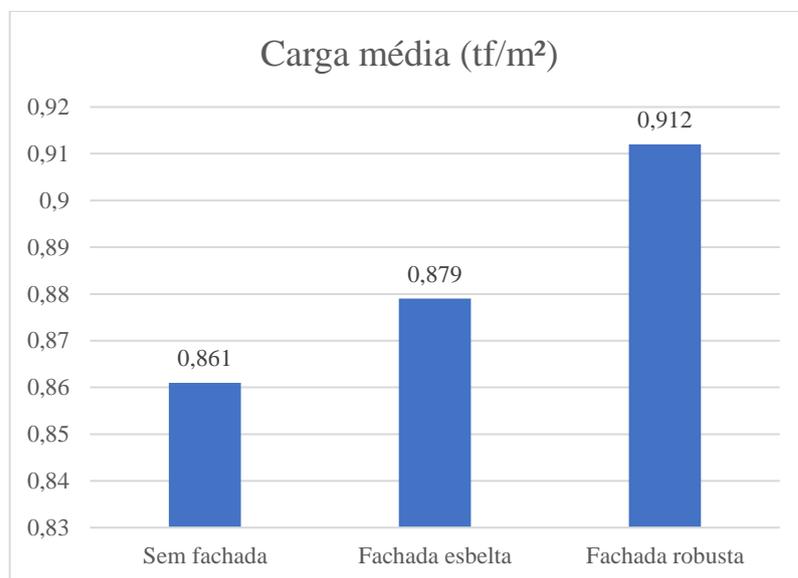
Fonte: O autor (2024)

Estes resultados demonstram que as dimensões previamente estabelecidas para os elementos estruturais atendem as cargas atribuídas, sem necessidade de alteração nas seções ou realocação das posições informadas no projeto estrutural.

4.2 COMPARATIVO DE CARGAS

Uma primeira análise que pode ser feita, é quanto ao carregamento total do edifício, ao peso distribuído por área. A Figura 36 abaixo ilustra bem a diferença causada no peso total da edificação, nas diferentes configurações de fachadas aplicadas.

Figura 36 - Comparativo de peso por área



Fonte: O autor (2024)

A utilização de uma fachada mais robusta, impacta num aumento de 3,75% no peso total da edificação, no comparativo com o edifício com fachada esbelta. No entanto, o aumento de peso do edifício sem fachada para a sua versão com a fachada esbelta, é de apenas 2,09%.

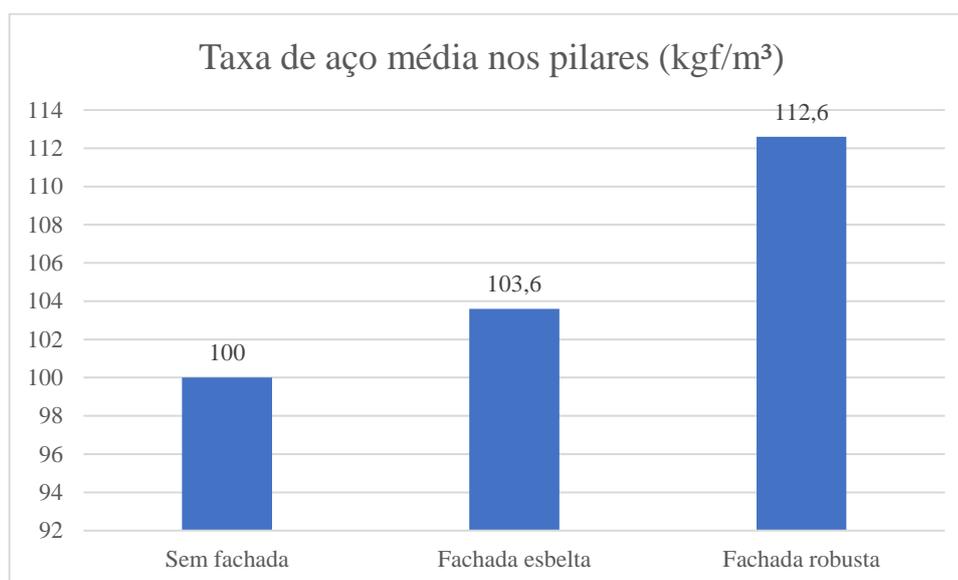
4.3 COMPARATIVO DE ARMADURAS

Apenas com a avaliação do peso da edificação, não é possível concluir nada referente ao real impacto das fachadas de vidro nas estruturas das edificações. Para isso, a análise deve ser feita criteriosamente nas armaduras de cada elemento estrutural.

4.3.1 Comparativo de armadura nos pilares

A Figura 37 serve para dar uma noção melhor da diferença de armadura nos pilares, onde a diferença pode chegar a 12,6% de aumento de armaduras nos pilares, num cenário onde nenhuma pele de vidro fosse considerada inicialmente, e de 8,68% caso fosse considerado apenas o peso da fachada mais leve.

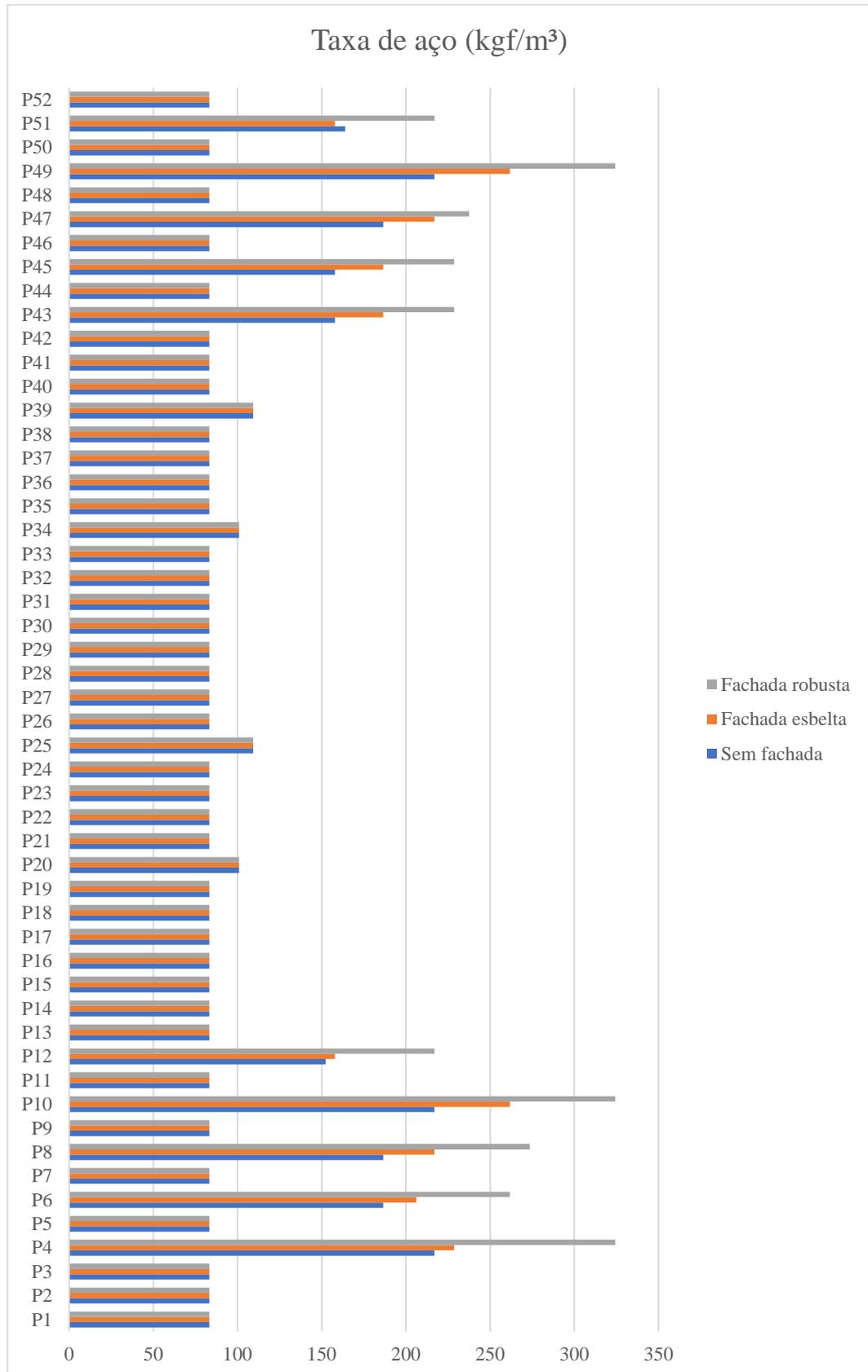
Figura 37 - Comparativo de taxa de aço nos pilares



Fonte: O autor (2024)

Para evidenciar ainda mais o impacto que a pele de vidro pode ter, é necessária uma análise ainda mais precisa, comparando cada um dos pilares, nas diferentes configurações propostas. A Figura 38 compara estes elementos nas 3 condições.

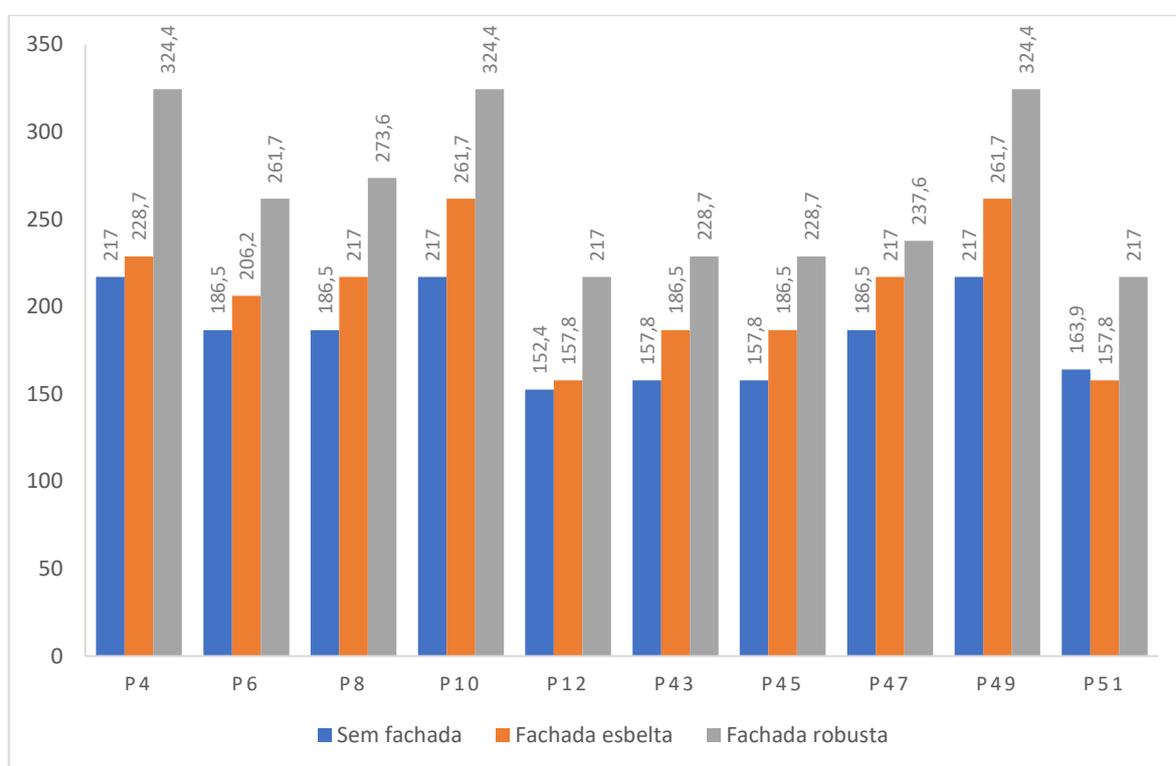
Figura 38 - Gráfico de taxa de aço nos pilares



Fonte: O autor (2024)

O que se pode perceber a partir deste gráfico, é que alguns pilares sofreram uma grande mudança na necessidade de aço, enquanto outros permaneceram com a armadura inalterável. Outro resultado obtido, que talvez já fosse esperado, é quanto a localização e seção dos pilares que sofreram alterações. Todos os 10 pilares que tiveram aumento na taxa de aço, são pilares periféricos, justamente onde está a distribuição de cargas da fachada de vidro. Já quanto a seção, todos os pilares são de 14x40, a Figura 39 evidencia a diferença de necessidade de aço nos 10 pilares citados.

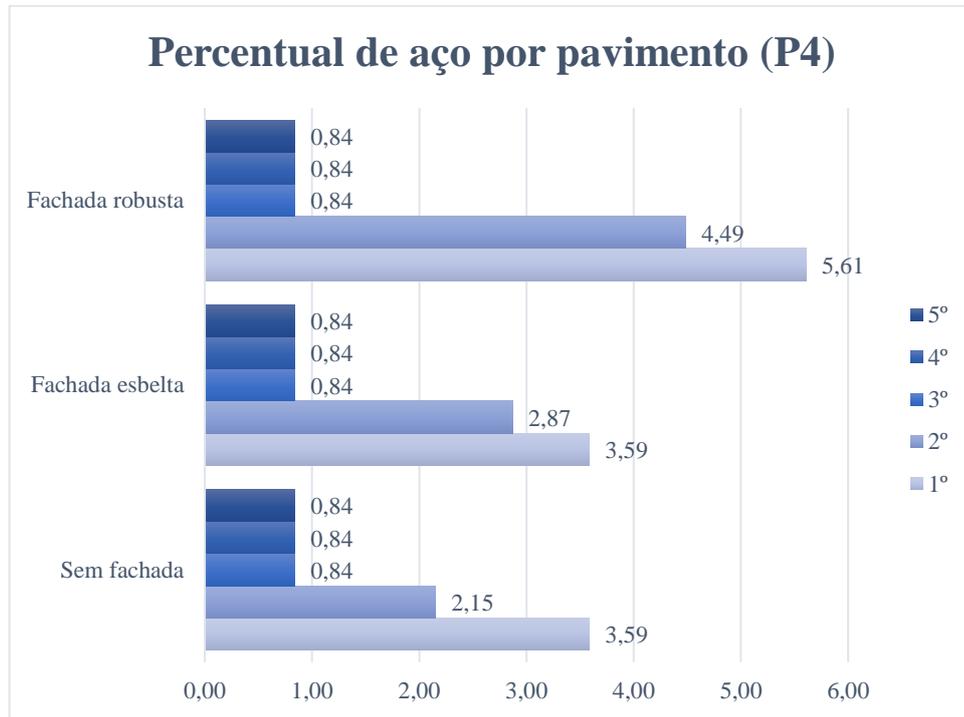
Figura 39 - Gráfico de taxa de aço nos pilares ampliado



Fonte: O autor (2024)

Analisando apenas a diferença entre as duas fachadas que possuem o carregamento adicional da pele de vidro, pode-se observar um aumento considerável no aço necessário nestes pilares. O aumento varia de 9,49% a 41,84%, para o P47 e P4, respectivamente. A Figuras 40, junto da Tabela 11, trazem uma análise mais minuciosa sobre o pilar de maior alteração. A análise para os demais pilares segue a mesma tendência e está disponível no Apêndice A.

Figura 40 - Análise da taxa de aço no pilar P4



Fonte: O autor (2024)

Tabela 11 – Análise de armaduras pilar P4

Pav.	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	16	12,06	8	16	16,08	8	20	25,12
1	10	16	20,10	10	16	20,10	10	20	31,40

Fonte: O autor (2024)

Conforme ilustrado no gráfico da Figura 40, a necessidade de aço nos 3 andares superiores não é alterada pela carga adicional da pele de vidro, situação esta que se repete em todos os demais pilares. Pode-se afirmar então que para até 3 pavimentos, a carga adicional da fachada não causa nenhuma alteração na armadura dos pilares.

Já para os 2 pavimentos mais inferiores, existe uma diferença considerável na exigência de armadura. Enquanto a configuração do edifício com fachada esbelta é atendida com 8 barras

de 16mm no 2º pavimento, e 10 barras de 16mm no 1º, a fachada mais robusta exige 8 barras de 20mm e 10 barras de 20mm, no 2º e 1º pavimento, respectivamente.

Como parâmetro para comparação, pode-se observar o comportamento da armadura no pilar P3 nas diferentes configurações do edifício, conforme Tabela 12 a seguir. Demais pilares tem sua armadura apresentada no Apêndice B.

Tabela 12 – Análise de armaduras pilar P3

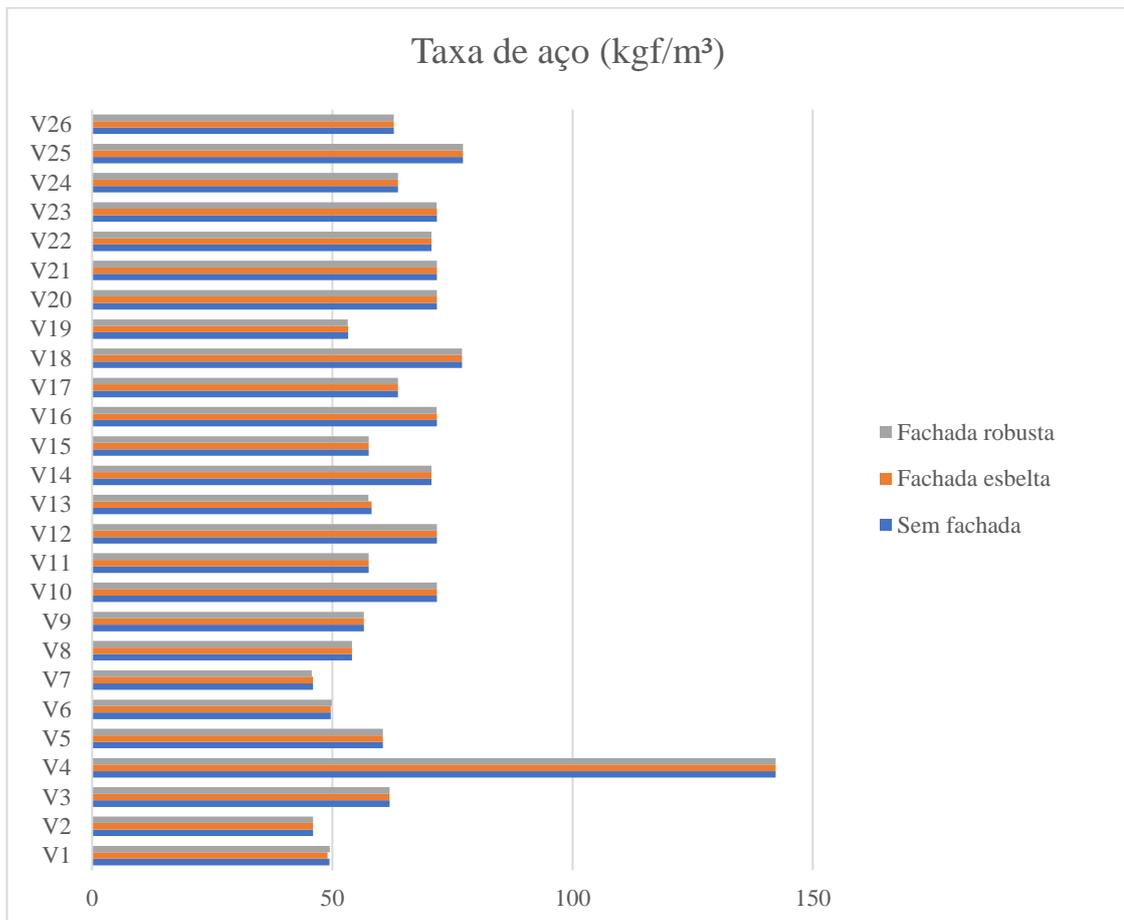
Pav.	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
1	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71

Fonte: O autor (2024)

4.3.2 Comparativo de armadura nas vigas

Por mais que os elementos estruturais mais afetados por sobrecargas na edificação sejam os pilares, as vigas também necessitam de uma análise, conforme a Figura 41 abaixo.

Figura 41 - Comparativo de vigas



Fonte: O autor (2024)

Como é possível observar, as vigas permaneceram na mesma configuração de armadura nas 3 simulações de edifício. Por mais que parte da carga das fachadas seja diretamente aplicada nelas, as vigas acabam por transferir toda essa carga para os pilares, sem perceptíveis alterações na sua armadura.

4.4 COMPARATIVO DE ESFORÇOS

Como tentativa para entender o porquê de alguns pilares terem sofrido alteração na sua configuração de armadura, enquanto outros permaneceram inalterados, pode-se analisar ainda os esforços aos quais cada pilar foi submetido. A Tabela 13 a seguir apresenta estes dados.

Tabela 13 - Esforços nos pilares

Pilar	Reação nos pilares (kN)			Pilar	Reação nos pilares (kN)		
	Sem fachada	Fachada esbelta	Fachada robusta		Sem fachada	Fachada esbelta	Fachada robusta
P1	76	84,3	100	P27	477,4	495,3	529,4
P2	124,6	132,5	147,1	P28	206,7	219	241,7
P3	400,7	419,3	454,4	P29	346,1	346,3	346,6
P4	397,5	416,2	451,4	P30	704	703,9	703,6
P5	67	62,8	55,5	P31	590,2	590,3	590,3
P6	369	386,6	419,3	P32	40,5	40,4	40,3
P7	446,5	469,2	511,7	P33	546,6	546,4	546,1
P8	375,3	392,7	425,6	P34	804,6	804,3	804,3
P9	62,3	57,9	50,1	P35	555,7	554,7	555,5
P10	400,2	419,4	455,4	P36	40,6	40,5	40,4
P11	301	312,9	335,7	P37	593,2	593,1	592,8
P12	337,1	353,1	382,8	P38	638	637,8	637,7
P13	220,2	238,1	271,7	P39	87,4	87,3	87,3
P14	86,7	97,4	118	P40	317,1	317	316,8
P15	229,2	229	228,8	P41	305,2	320,2	348,3
P16	551	550,9	550,8	P42	30	576,8	619,6
P17	632,1	632,1	632	P43	352,1	369,6	402,1
P18	18,7	18,6	18,5	P44	90,9	87,5	81,7
P19	541,2	541	540,6	P45	364,9	382,3	414,8
P20	801,4	801,3	801,2	P46	444,9	467,4	509,9
P21	547,1	547,1	547	P47	373,9	391,6	424,3
P22	40,2	40,2	40,2	P48	62	57,5	49,9
P23	584,4	584,2	583,8	P49	398,5	417,6	453,5
P24	629,4	629,4	629,3	P50	296,7	308,3	331,3
P25	86,1	85,9	86	P51	343,3	359,4	389,1
P26	312,3	312,3	312,3	P52	223,9	241,9	275,5

Fonte: O autor (2024)

Os 10 pilares que sofreram alterações de armadura foram destacados em vermelho para facilitar a análise. Também é importante mencionar que os pilares situados na periferia do edifício são os pilares P1 a P14, P27, P28, e P41 a P52. Como já mencionado anteriormente, e após apresentação da tabela ficou evidente, os pilares laterais e de canto foram os únicos que sofreram alteração de esforços, enquanto que os pilares internos mantiveram-se inalterados, ou até mesmo sofreram suaves reduções nos seus esforços conforme aumento da carga adicional no edifício.

Observando os resultados encontrados para o pilar P3 por exemplo, pode se perceber a proximidade de valores com o P4, tendo ambos um aumento considerável nos esforços aplicados, porém, apenas um deles foi obrigado a ter sua armadura reconfigurada, o pilar P4. O único diferencial entre estes dois pilares que justifique a mudança no aço necessário, é quanto a seção total do pilar, sendo o P3 um pilar de 19x40, e o P4 um pilar de 14x40. Inclusive, dentre os pilares de 14x40, apenas o P25 e o P39 não sofreram alteração de armadura, ambos localizados no interior do edifício e não tendo adição de esforços.

A explicação mais plausível para a alteração nos pilares laterais de 14x40 é quanto a taxa mínima exigida de aço de acordo com a seção de cada elemento. Enquanto nos pilares de 19x40, a taxa de aço mínima calculada na versão sem fachada, atendia até a adição do peso da fachada robusta, os pilares de 14x40 acabam tendo uma sobrecarga extra, tanto devido a sua seção de concreto menor, quanto pela majoração da carga devido a ser um pilar menor que 19cm em uma das faces.

5 CONCLUSÕES

É indispensável para o engenheiro civil em geral, mas principalmente o profissional que atue com projetos estruturais, conseguir identificar possíveis situações que podem vir a influenciar no seu dimensionamento. Este estudo por exemplo teve como objetivo principal analisar a influência do peso próprio das fachadas-cortina em vidro no dimensionamento estrutural das edificações, e a partir dos resultados obtidos, foi possível verificar a importância de considerar as cargas adicionais geradas por essas fachadas no projeto estrutural de edificações

A análise dos pilares mostrou que a carga adicional devido às fachadas de vidro pode exigir um aumento na quantidade de armaduras necessárias para garantir a segurança estrutural. Em particular, os pilares periféricos foram os mais afetados, apresentando uma variação na taxa de armaduras que pode ultrapassar os 40% para fachadas mais robustas. Além disso, foi possível constatar que, embora os pilares centrais não tenham sofrido alterações significativas nas suas armaduras, os pilares laterais, especialmente aqueles com seções menores (14x40 cm), necessitaram de um aumento na taxa de aço para atender aos requisitos normativos de segurança. Esse fenômeno foi atribuído à maiores esforços aplicados devido à sua menor seção de concreto e devido à majoração da carga, também decorrente da sua menor seção.

É importante salientar que apesar de que em aspectos gerais, como estabilidade global, estados limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS) terem apresentado resultados satisfatórios, o aumento das cargas e das armaduras necessárias nos elementos estruturais periféricos reforça a importância de considerar as fachadas-cortina desde a fase inicial do projeto estrutural.

Já quanto as peles de vidro, é possível concluir que apenas utilizando linhas convencionais de mercado, sem a necessidade de utilização de reforços internos em aço, ou elementos sólidos para ganhos ainda maiores de inércia, foi possível obter duas configurações de fachadas com enorme variação de peso entre elas, sendo a fachada robusta quase 3 vezes o valor da versão esbelta.

Por fim, conclui-se que a hipótese levantada inicialmente se mostrou verdadeira, e o peso adicional das fachadas-cortina em vidro impactam no dimensionamento estrutural da edificação, exigindo um pré-dimensionamento da pele de vidro antes da liberação do projeto estrutural para execução da obra, evitando subdimensionamentos na estrutura, fragilizando-a, ou superdimensionamentos, encarecendo-a desnecessariamente.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após desenvolvimento deste estudo e obtenção dos resultados, é possível citar algumas sugestões de trabalhos futuros a serem desenvolvidos:

- a) realizar simulações para entender como as diferentes paginações afetam o isolamento térmico e acústico das edificações e sua eficácia nos ambientes;
- b) realizar um estudo comparativo de custos entre diferentes tipos de fachadas-cortina e diferentes dimensões de módulos;
- c) investigar a interação das fachadas-cortina em vidro com outros materiais de construção, como aço, madeira e porcelanato, em diferentes tipos de estruturas mistas.

REFERÊNCIAS

- ADORNA, Diego da Luz et al. **Concreto Armado: Vigas e lajes**. Porto Alegre: Sagah, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS (ABRAVIDRO) Disponível em: <https://abravidro.org.br/>. Acessado em: 29 setembro 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-2** – Esquadrias para edificações Parte 2: Esquadrias externas – Requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-3** – Esquadrias para edificações Parte 3: Esquadrias externas e internas – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-4** – Esquadrias para edificações Parte 4: Esquadrias externas – Requisitos adicionais de desempenho. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7199**: Vidros na construção civil — Projeto, execução e aplicações. Rio de Janeiro, 2016.

ARAÚJO, José Milton de. **Projeto estrutural de edifícios de concreto armado**. 1. ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2010.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 1 v. 3. ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2010

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Histórico e Principais Elementos Estruturais de Concreto Armado**. Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2006.

BOGAS, Joana Maria Peixoto. **Fachadas De Vidro**: Explorar os limites da utilização do vidro na construção. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho Escola de Engenharia. Portugal, 2011.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado Eu Te Amo**, v.2. 2. ed. Edgard Blücher, 2011.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado Eu Te Amo**, v.1. 10. ed. Edgard Blücher, 2019.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; FERRAZ, Nelson N. C **Concreto Armado Eu Te Amo**: Vai para a obra, v. 1. São Paulo: Edgard Blücher, 2016.

CARMO, Regina Maria dos Santos. **Efeitos de Segunda Ordem em Edifícios usuais de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estrutura de concreto armado**: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 2. ed. Brasília, Universidade de Brasília, 2008.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). **Guia de Esquadrias para Edificações: Desempenho e aplicações**. 2017.

CDA Metais, **Catálogos**. Disponível em: <https://cdametais.com.br/catalogo/>. Acessado em 12 março 2024

CEBRACE. Cálculo de Espessura de Vidro. Disponível em: <https://www.cebrace.com.br/CalculoEspessura/#/> Acesso em 15 março 2024

DIAS, Ricardo Henrique. **Sistemas estruturais para grandes vãos em pisos e a influência na concepção arquitetônica**. Vitruvius arquitextos. São Paulo 2004,
Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.044/622>. Acessado em 20 setembro 2023

FUSCO, Péricles B.; ONISHI, Minoru. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2017.

GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GMM Engenharia E Construção. **Pele De Vidro**. Disponível em: <https://gmm.om.br/pele-vidro-descricao/>. Acessado em: 01 outubro 2023.

HYDRO Extruded Solutions. **Catálogos**. 2023 Disponível em: <https://www.hydro.com/pt-BR/aluminium/>. Acesso em 10 outubro 2023.

KASSIMALI, Aslam. **Análise Estrutural**: Tradução da 5ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016.

LEONHARDT, Fritz; MÖNNING, Eduard. **Construções de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1977-1979

MELO, Paula Rodrigues de. **Pré-Dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

NASH, W.A. **Resistência dos materiais**: resumo da teoria, problemas resolvidos, problemas propostos, traduzido por Jaime Ferreira da Silva. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil; Brasília, 1973.

PERFIL Alumínio. **Catálogo Técnico**. 2023 Disponível em: <https://www.perfilaluminio.com.br/> Acessado em: 11 outubro 2023

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de Concreto**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

REVISTA PROJETO, **Sistemas de fachadas**. Arco, 2005 Disponível em: <https://revistaprojeto.com.br/acervo/sistemas-de-fachadas-01-05-2005/>. Acessado em: 25 setembro 2023

ROSSO, Silvana. **Cortina de Vidro**, Revista Techne. 122. ed. 2007. Disponível em <https://pt.scribd.com/document/51987346/techne-122>. Acessado em 25 setembro 2023

SIQUEIRA JUNIOR, Amaury Antunes de. **Tecnologia de Fachada-cortina** com placas de grês porcelanato. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais, Fundações Profundas. São Paulo, SP. Editora Oficina de Textos, 2010.

VENTURI, Denise I. S G.; LAZZARI, Bruna M.; BOTELHO, Larissa C G.; et al. **Concreto Armado Aplicado em Vigas, Lajes e Escadas**. Porto Alegre: Sagah, 2021

APÊNDICE A – CONSUMO DE AÇO NOS PILARES COM ALTERAÇÃO DE ARMADURAS

Pav.	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)
P6	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	8	12,5	9,81	8	12,5	9,81	8	16	16,07
1	8	16	16,07	10	16	20,09	8	20	25,12
P8	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	5	12,5	6,13	6	16	12,05	6	20	18,84
1	5	16	10,04	10	16	20,09	8	20	25,12
P10	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	16	12,05	8	16	16,07	8	20	25,12
1	10	16	20,09	8	20	25,12	10	20	31,4
P12	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	10	4,71	6	12,5	7,35	6	16	12,05
1	6	16	12,05	10	12,5	12,26	10	16	20,09

Pav.	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)
P43	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	12,5	7,35	8	12,5	9,81	8	16	16,07
1	10	12,5	12,26	8	16	16,07	10	16	20,09
P45	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	12,5	7,35	8	12,5	9,81	8	16	16,07
1	10	12,5	12,26	8	16	16,07	10	16	20,09
P47	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	8	12,5	9,81	6	16	12,05	6	20	18,84
1	8	16	16,07	10	16	20,09	8	20	25,12
P49	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	16	12,05	8	16	16,07	8	20	25,12
1	10	16	20,09	8	20	25,12	10	20	31,4
P51	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	12,5	7,35	6	12,5	7,35	6	16	12,05
1	6	16	12,05	10	12,5	12,26	10	16	20,09

APÊNDICE B – CONSUMO DE AÇO NOS PILARES SEM ALTERAÇÃO DE ARMADURAS

Pav.	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)	Número de barras	Diâmetro das barras (mm)	Área de aço (cm ²)
Pilar padrão	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
1	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
P20	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
1	8	12,5	9,8	8	12,5	9,8	8	12,5	9,8
P25	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
1	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
P34	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
1	8	12,5	9,8	8	12,5	9,8	8	12,5	9,8
P39	Sem fachada			Fachada esbelta			Fachada robusta		
5	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
4	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
3	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
2	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71
1	6	10	4,71	6	10	4,71	6	10	4,71