

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO – CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DE CASO DE PROJETO COM UTILIZAÇÃO DE VIDRO
ESTRUTURAL**

Lívia Maria Osterne Torres

Florianópolis - SC
2015

LÍVIA MARIA OSTERNE TORRES

**ESTUDO DE CASO DE PROJETO COM UTILIZAÇÃO DE VIDRO
ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Catarina
desenvolvido sob a orientação do
Professor Otávio Augusto Alves da
Silveira.

Florianópolis - SC
2015

LÍVIA MARIA OSTERNE TORRES

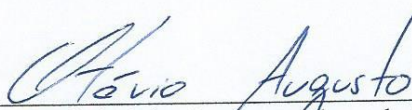
**ESTUDO DE CASO DE PROJETO COM UTILIZAÇÃO DE VIDRO
ESTRUTURAL**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de engenheira civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 7 de Dezembro de 2015.

Prof. Luiz Alberto Gómez, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Otávio Augusto Alves da Silveira
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Wellison José. De S. Gomes
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. André Gustavo Carlon

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Torres e Kátia, por todo o amor, dedicação, educação, ensinamentos e esforços que contribuíram diretamente para minha formação pessoal e profissional.

Ao meu irmão Matheus, pelo carinho e apoio durante esta jornada.

Ao meu esposo Eduardo por todos os incentivos e pelo exemplo de profissional, de esposo, de pai e de companheiro. E a toda a sua família, também, por todo o apoio.

Aos meus filhos Felipe e Mariana pelo amor e carinho transmitidos diariamente alegrando os meus dias que impulsionam meu crescimento.

Aos meus avós, Terezinha e José Torres e aos demais familiares e amigos pelo carinho e torcida pelo meu sucesso.

À toda equipe da empresa RCM Estruturas Metálicas, em especial à Engenheira Polliany e Engenheiro Calixto, por acreditar no meu potencial e me proporcionar um estágio em que pude agregar conhecimentos diariamente e crescer como profissional.

Ao Prof. Otávio, pelos ensinamentos, paciência e dedicação como professor e como orientador.

À Universidade Federal do Ceará e à Universidade Federal de Santa Catarina por todos os ensinamentos durante minha jornada acadêmica.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta o estudo de caso de um projeto realizado com vidro estrutural. A proposta se deve ao fato de que, no Brasil, o uso de estruturas desse tipo aumentou consideravelmente. Porém, a norma brasileira que aborda projetos, execuções e aplicações de vidro na construção civil não prevê o uso de vidro estrutural, como, por exemplo, o uso de vigas e pilares em vidro. Para o cálculo da estrutura foi utilizado o Software Strap. As considerações de cálculo foram realizadas segundo a norma EN 1991-1-1: Eurocode 1-Actions on structures. O dimensionamento das vigas e colunas de vidro foi baseado na norma australiana *AS 1288-2006: Glass in buildings – Selection and installation*.

Palavras-chave: Vidro. Vidro estrutural. Construção Civil.

ABSTRACT

This final course assignment presents a case study of a project carried out with structural glass. The proposal is due to the fact that, in Brazil, the use of these structures has considerably increased. However, the Brazilian standards that regulates the designs, executions and applications of glass in construction does not provide information for the use of structural glass, as, for example, the use of glass on beams and columns. For the structure design was used the Software Strap. The design considerations were adopted according to "EN 1991-1-1: Eurocode 1, Actions on structures". The design of beams and glass columns was based on the "Australian Standard AS 1288-2006: Glass in buildings - Selection and installation".

Keywords: Glass. Structural glass. Construction.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Apple Store – Xangai	11
FIGURA 2 - Apple Store – Nova York.....	11
FIGURA 3 - Imagem tridimensional da estrutura	10
FIGURA 4 - Imagem de um prisma de vidro.....	13
FIGURA 5 - Comparativo tensão versus deformação entre vidro e aço.....	15
FIGURA 6 - Efeito do processo de temperamento do vidro.	16
FIGURA 7 - Vidro temperado após a quebra.....	17
FIGURA 8 - Vidro laminado após a quebra.....	18
FIGURA 9 - Comparativo de deslocamento ao longo do tempo entre laminados com PVB e SentryGlas®	19
FIGURA 10 - Comportamento pós-quebra de laminados com PVB e SentryGlas®	19
FIGURA 11 - Comparativo de deflexões entre vidros monolíticos, laminados com PVB e laminados com SentryGlas®	20
FIGURA 12 - Comparativo de tensões entre vidros monolíticos, laminados com PVB e laminados com SentryGlas®.....	21
FIGURA 13 - Visualização geral das estruturas dos prismas de vidro.	22
FIGURA 14 - Trecho da estrutura com os tipos apoios utilizados.....	23
FIGURA 15 - Vista superior do prisma de vidro 1 com suas ligações	24
FIGURA 16 - Vista superior do prisma de vidro 2 com suas ligações	25
FIGURA 17 - Seção típica da ligação entre viga principal e pilar dos prismas de vidro.....	25
FIGURA 18 - Cargas de vento para a cobertura no prisma de vidro 1	29
FIGURA 19 - Cargas de vento a 90° no prisma de vidro 1	30
FIGURA 20 - Cargas de vento a 0° no prisma de vidro 1.....	30
FIGURA 21 - Cargas de vento para a cobertura no prisma de vidro 2	31
FIGURA 22 - Cargas de vento a 90° no prisma de vidro 2	31
FIGURA 23 - Cargas de vento a 0° no prisma de vidro 2.....	32

FIGURA 24 - Seção da viga utilizada para a verificação do dimensionamento	35
FIGURA 25 - Seção da coluna utilizada para a verificação do dimensionamento	36
FIGURA 26 – Peça de vidro monolítico com seus eixos.....	38
FIGURA 27 - Seção típica das vigas principais dos prismas de vidro.....	39
FIGURA 28 - Ligação das vigas secundárias na viga principal.....	40
FIGURA 29 – Detalhe de base da coluna de vidro	43
FIGURA 30 – Ligação no topo da coluna de vidro	43
FIGURA 31 – Seção típica das colunas de vidro	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Momentos máximos para as vigas principais.....	33
TABELA 2 - Forças normais máximas para as vigas principais.....	34
TABELA 3 - Valores obtidos para vidro com espessura total de 24mm e comprimento de flambagem igual a 3,35m	46
TABELA 4 - Valores para comprimento de flambagem considerado pelo projetista.....	47
TABELA 5 - Valores para solução com o acréscimo de mais uma lâmina de 12mm	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	GENERALIDADES.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	13
1.3	METODOLOGIA.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	CARACTERÍSTICAS DO VIDRO	15
2.2	TIPOS DE VIDRO UTILIZADOS NO PROJETO	16
2.2.1	VIDRO TEMPERADO	16
2.2.2	VIDRO LAMINADO.....	17
2.3	INTERLAYER SENTRYGLAS®	18
3	MODELO DE CÁLCULO.....	22
3.1	CONDIÇÕES DE APOIO.....	23
3.2	CONDIÇÕES DE LIGAÇÕES	24
3.3	CARREGAMENTOS.....	26
3.3.1	CARGA PERMANENTE – PESO PRÓPRIO.....	28
3.3.2	CARGA PERMANENTE – PESO DOS PAINÉIS DE VIDRO	28
3.3.3	SOBRECARGA	28
3.3.4	VENTO.....	28
3.4	RESULTADOS	33
4	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM VIDRO.....	35
4.1	CRITÉRIOS DE PROJETO	35
4.2	VIGAS DE VIDRO.....	39
4.3	COLUNAS DE VIDRO	42

5	PROPOSTA PARA DIMENSIONAMENTO	47
6	CONCLUSÃO.....	49
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	51
8	REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Vivemos em uma sociedade bastante preocupada com as questões ambientais e econômicas, buscando utilizar os recursos disponíveis afetando minimamente o ambiente. A partir destas preocupações a arquitetura atual procura a realização de construções sustentáveis. Com isso, o uso do vidro nos projetos tem crescido, assim como os desafios lançados aos engenheiros civis para concretização destes projetos.

O vidro é um material utilizado na construção civil há muito tempo, mas seu uso com função estrutural é recente. Este material reúne várias qualidades aos olhos de um arquiteto, enquanto traz ao engenheiro civil receios e provocação a estudar esta nova função. Dentre as diversas qualidades temos o fato de que o vidro possui transparência, possibilitando o uso da luz natural. Além de ser um material composto basicamente por sílica que pode ser encontrada em abundância na natureza em locais como leitos de rios e pedreiras. Também podemos destacar que o vidro é um material reciclável, logo o vidro quebrado pode ser transformado em um novo vidro e este processo pode ser repetido inúmeras vezes. Outras qualidades são: possui grande durabilidade, é essencialmente inerte, biologicamente inativo e é fabricado com superfícies impermeáveis.

No entanto, existem outras características que preocupam. O vidro é um material frágil, apresentando ruptura sem aviso prévio. O fato de que o vidro não possui ductibilidade traz inseguranças e fez com que por muito tempo o mesmo não fosse utilizado estruturalmente.

Com o avanço da tecnologia, vários processos de transformação do vidro passaram a existir levando à formação dos chamados vidros de segurança, como os vidros temperados e vidros laminados. Este último, por exemplo, permite superar, em partes, o problema da falta de ductibilidade.

Nas imagens abaixo podemos observar estruturas em vidro estrutural.

Figura 1- Apple Store – Xangai



Fonte: <http://thenextweb.com/apple/2011/10/04/opening-weekend-at-apples-shanghai-store-drew-100000-visitors/>

Figura 2- Apple Store – Nova York



Fonte: <http://conexaomundo.com.br/wp-content/uploads/2014/06/conexao-mundo-apple-store-lojas-da-apple-new-york-1.jpg>

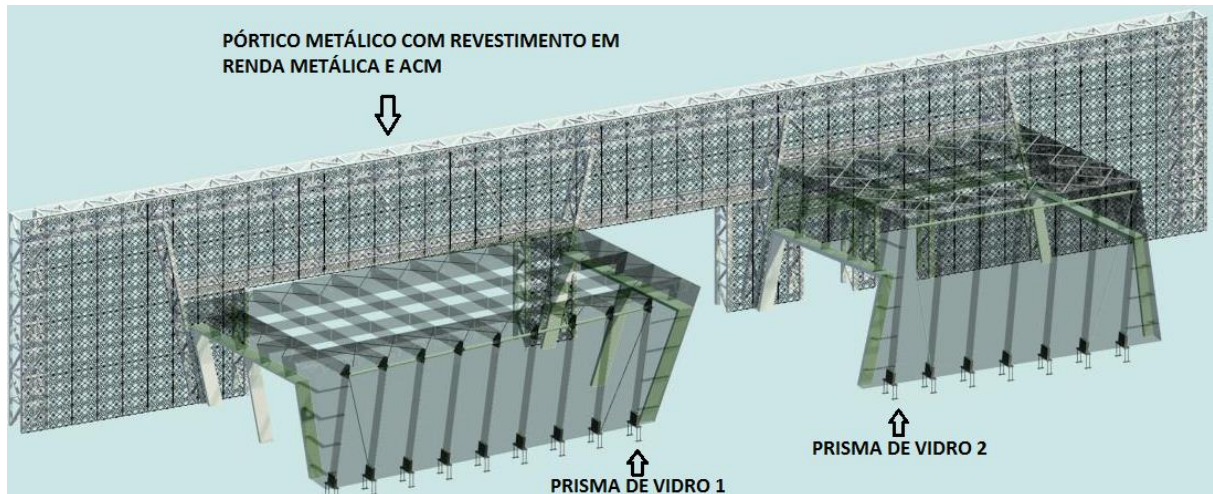
Neste trabalho é desenvolvido um estudo de caso de um projeto estrutural realizado pela empresa RCM Estruturas Metálicas, em que pude participar como estagiária. o projeto estrutural ainda está em andamento e modificações podem ser realizadas. É um projeto para a entrada de um edifício localizado no Rio de Janeiro, o empreendimento Reserva Golf. O conceito proposto pela arquitetura é de estruturas leves e transparentes compostas em sua maioria por vidro.

No projeto em questão temos uma estrutura mista, com trechos em vidro e outros em aço. Para o trabalho em questão não haverá uma verificação completa do projeto, como, por exemplo, verificação de ligações, tensões locais, dentre outros, pois não é o foco do trabalho. Serão realizados os dimensionamentos apenas das vigas principais e pilares em vidro, considerando o restante da estrutura adequadamente dimensionada.

O projeto consiste em duas estruturas que foram denominadas “primas de vidro” que são estruturas com pilares e vigas de vidro e trechos com fechamento em painéis de vidro. Nas aberturas laterais foram utilizados vigas e pilares metálicos. Os apoios dos prismas de vidro são no piso, assim como temos apoios em um pórtico metálico situado atrás dos primas. Este pórtico possuirá revestimento em renda metálica, ou seja, chapas metálicas com recortes imitando a aparência de uma renda e alguns trechos serão revestidos em ACM (material composto por alumínio).

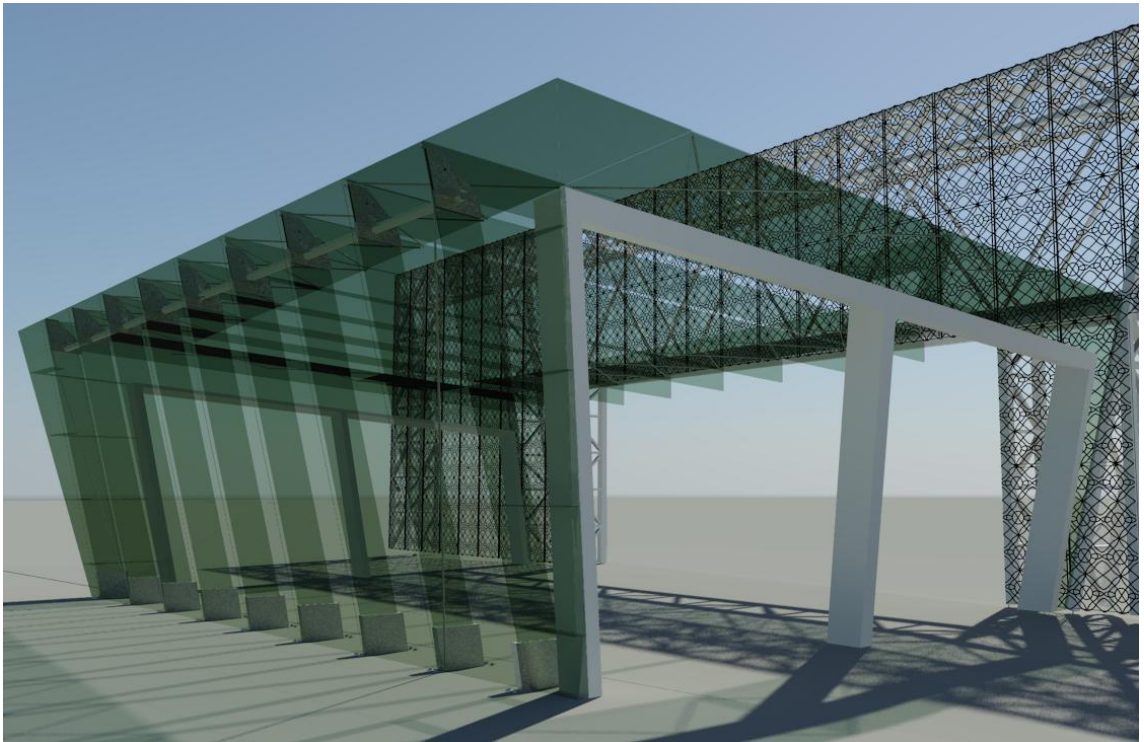
Seguem imagens tridimensionais da estrutura.

Figura 3 – Imagem tridimensional da estrutura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 4 – Imagem de um prisma de vidro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são o estudo do vidro como componente estrutural e dimensionamento das vigas principais e pilares em vidro (verificação) da estrutura citada.

1.3 METODOLOGIA

A partir da escolha do projeto a ser realizado, foram obtidas do projeto (através do detalhamento de ligações) as condições de apoios e de ligações da estrutura.

Posteriormente foram realizados os cálculos dos carregamentos que atuam sobre a estrutura, assim como foi elaborado o modelo para o cálculo dos esforços e tensões.

O dimensionamento da estrutura foi realizado de acordo com o livro “Structural use of glass in buildings. Second edition, 2014” publicado pelo “The Institution of Structural Engineers”. O livro citado utiliza as considerações de ações de acordo com a norma: “EN 1991-1-1: Eurocode 1: Actions on structures”.

Para a análise estrutural foi utilizado o software Strap, baseado no método de elementos finitos, fornecido pela empresa SAE (Sistemas de Análise Estrutural).

Após o cálculo observou-se os esforços atuantes em toda a estrutura. Por se tratar de um projeto no qual a arquitetura solicitou que todas as peças estruturais de vidro principais (vigas principais e pilares) possuíssem as mesmas dimensões, foi decidido dimensionar a estrutura através da combinação de esforços atuantes mais desfavoráveis, pois estaríamos a favor da segurança.

Os estudos iniciais revelaram que as normas brasileiras ainda não regulamentam o uso de vidro estrutural, porém existem alguns países que já possuem normas para este tipo de estrutura, logo, no presente trabalho foram utilizados os conceitos de dimensionamento de acordo com o livro citado acima que utiliza para o dimensionamento a norma australiana AS 1288-2006: *Glass in buildings – Selection and installation*.

A partir da escolha da situação de combinação de esforços atuantes mais desfavoráveis selecionamos seus valores para o uso no dimensionamento. Foram elaboradas planilhas com o auxílio do software Excel para a efetiva verificação do dimensionamento da estrutura, utilizando os critérios da norma citada acima.

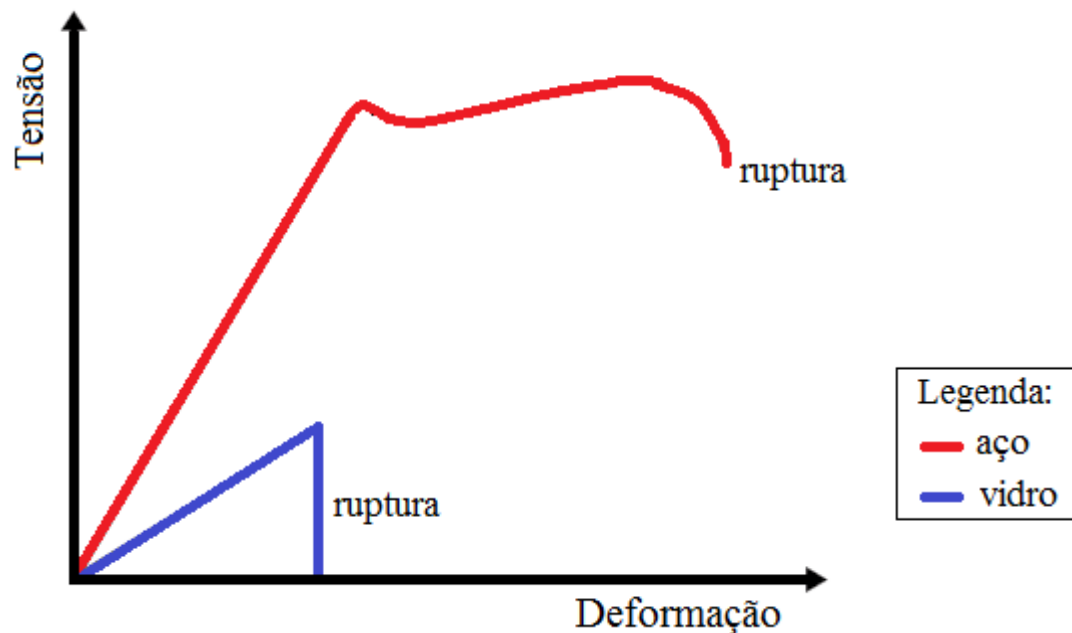
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DO VIDRO

Quando se trata da construção de estruturas que no caso de falha colocam em risco vidas, o mais usual é a utilização de materiais que apresentem grandes deformações antes de um provável colapso, ou seja, que apresentem um aviso prévio de que vão entrar em colapso, antes que o mesmo aconteça. O vidro é um material que contraria este conceito se comportando diferente de materiais como, por exemplo, o aço e o alumínio. Trata-se de um material que possui uma relação praticamente linear entre tensão e deformação, além de ser um material frágil, não apresentando sinais de aviso quando próximo de sua ruína.

Uma comparação entre tensão *versus* deformação dos materiais vidro e o aço pode ser observada na Figura 5.

Figura 5- Comparativo tensão *versus* deformação entre vidro e aço.



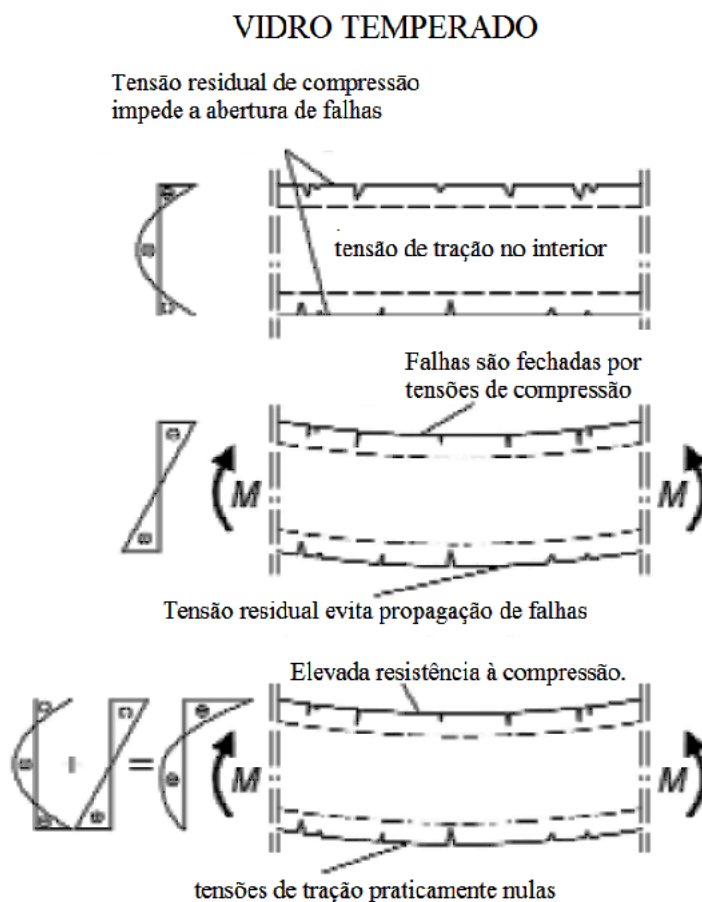
Fonte: Adaptado de (7).

2.2 TIPOS DE VIDROS UTILIZADOS NO PROJETO

2.2.1 VIDRO TEMPERADO

A fabricação de vidro temperado pode ser realizada por meio de fornos de têmpera ou alterações químicas, porém este último processo requer um alto custo, logo o processo mais utilizado é o de fornos de têmpera. O processo consiste em um aquecimento do vidro até que o mesmo se torne flexível, então é realizado um resfriamento rápido. As fibras da superfície esfriam mais rápido que as fibras internas, assim, são geradas tensões de compressão na superfície e tensões de tração no interior (Figura 6).

Figura 6 – Efeito do processo de temperamento do vidro.



Fonte: Adaptado de OVEREND (2010).

Este processo torna o vidro mais resistente à quebra por impacto, assim como mais resistente em relação ao vidro comum, chegando a uma resistência até cinco vezes maior.

O vidro temperado é considerado um vidro de segurança, pois além de ser mais rígido, é um vidro que ao chegar à ruína se estilhaça em fragmentos pequenos e não cortantes.

Uma desvantagem do vidro temperado é que após o processo não é possível fazer nenhuma alteração no vidro, como furos, cortes, etc. Na figura 7 podemos observar os estilhaços de um vidro temperado após a quebra.

Figura 7 – Vidro temperado após a quebra



Fonte: http://www.mineiravidros.com.br/produtos/vidros_temperados/index.php

2.2.2 VIDRO LAMINADO

O processo de transformação do vidro comum em vidro laminado consiste na união de duas ou mais lâminas de vidro através de um material viscoelástico como, por exemplo, resinas, PVB(Polivinil butiral), dentre outros.

O vidro laminado é considerado um vidro de segurança por ser mais resistente que o vidro comum. Além disso, possui a capacidade de manter os estilhaços de vidro unidos e

aderidos à película do material viscoelástico ao serem quebrados. Assim, quando o material quebrar possibilitará ao usuário realizar a troca do vidro quebrado, evitando acidentes graves.

Segue abaixo a imagem de um vidro laminado após a quebra.

Figura 8 – Vidro laminado após a quebra



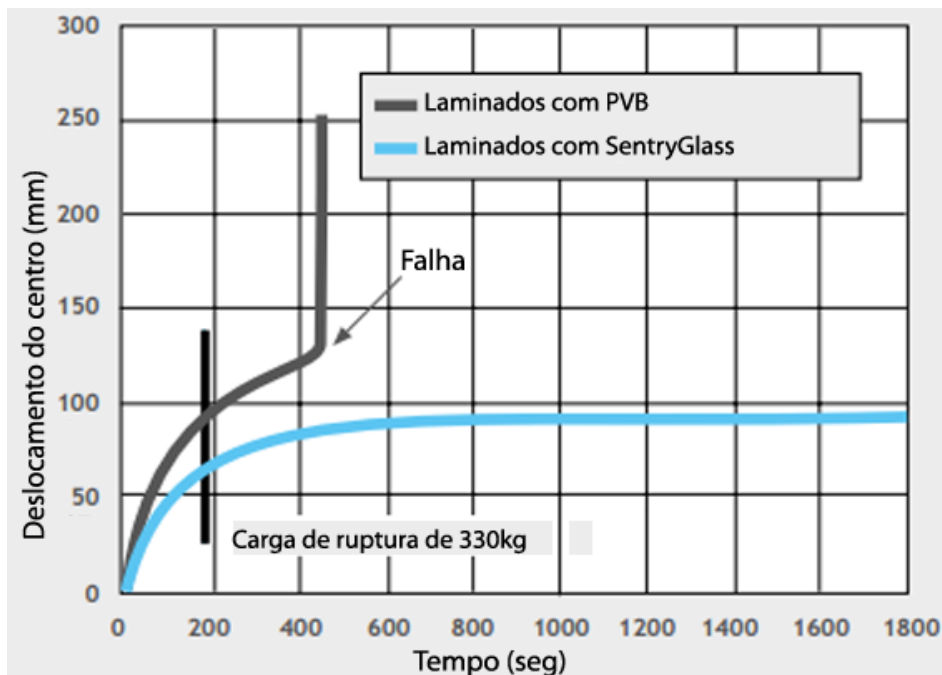
Fonte: <http://www.claccividros.com.br/produtos/vidros/>

2.3 MATERIAL INTERCALAR: SENTRY GLAS® IONOPLAST

O material intercalar SentryGlas® ionoplast é significativamente mais resistente que materiais comuns como o PVB. Como resultado, o vidro laminado constituído por ele pode suportar cargas maiores ou ter sua espessura reduzida sem comprometer a segurança.

Segundo a empresa fabricante Kuraray, este material possui uma resistência até 5 vezes maior e uma rigidez até 100 vezes maior que os materiais comuns, podendo desempenhar uma função estrutural. A figura 9 mostra um teste com laminados utilizando PVB e outro com SentryGlas mostrando o deslocamento ao longo do tempo.

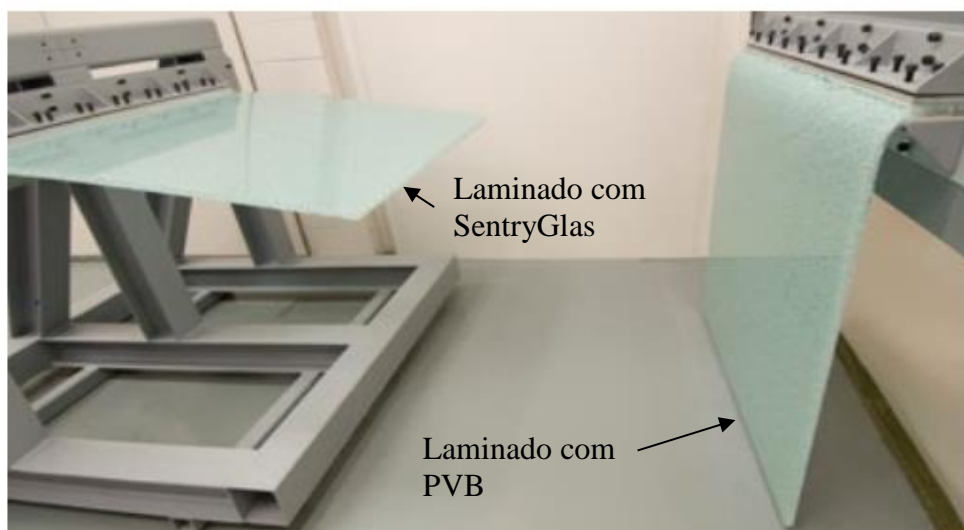
Figura 9 – Comparativo de deslocamento ao longo do tempo entre laminados com PVB e SentryGlas®.



Fonte: Adaptado de (5).

Os resultados mostram que os laminados com o intercalar SentryGlas® possuem um alto desempenho pós-quebra em relação ao PVB. O comparativo do comportamento pós-quebra pode ser visualizado na imagem abaixo.

Figura 10 – Comportamento pós-quebra de laminados com PVB e SentryGlas®.



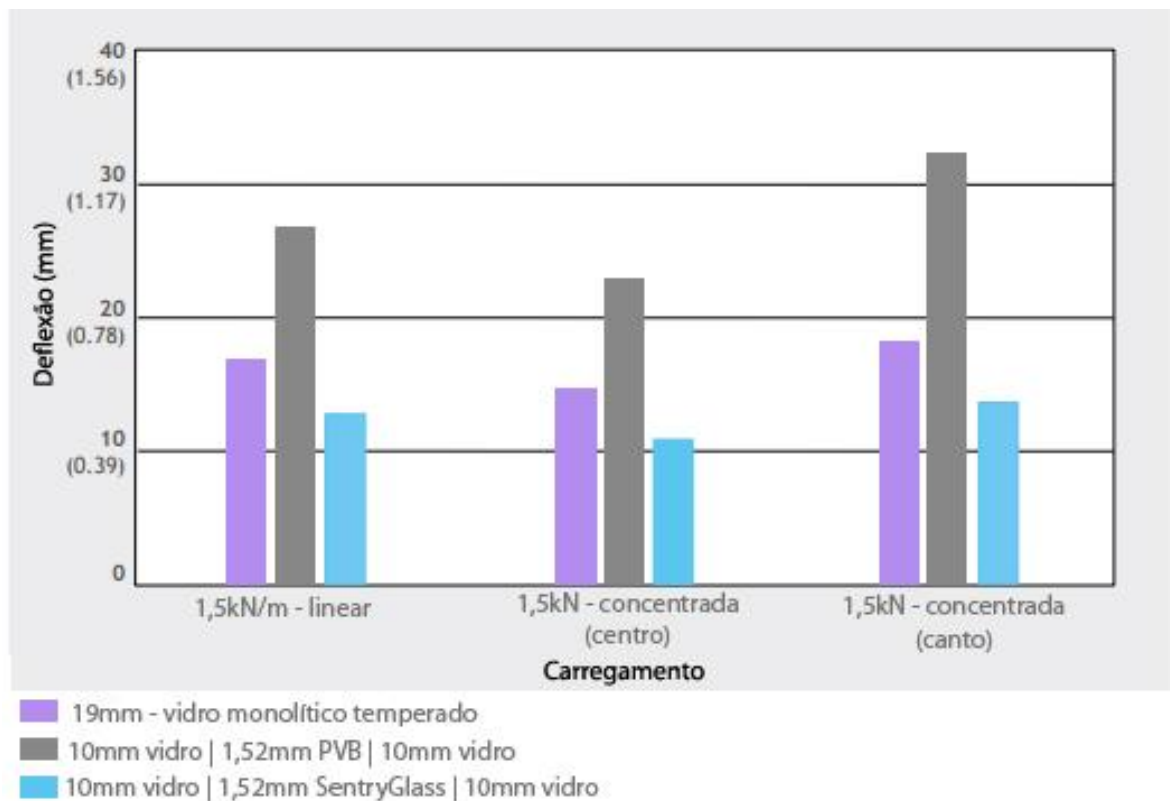
Fonte: Adaptado de (5).

Logo, quando o vidro laminado com SentryGlas® quebra, é possível observar o ocorrido e realizar a troca do material sem grandes consequências ou acidentes, pois o vidro laminado com este material intercalar possui uma considerável integridade no pós-quebra do vidro.

Também existem testes realizados pela empresa fabricante. Os testes consistem na aplicação de cargas perpendiculares às placas de vidro. Os vidros utilizados e as cargas aplicadas, assim como os resultados obtidos podem ser observados nas figuras 11 e 12.

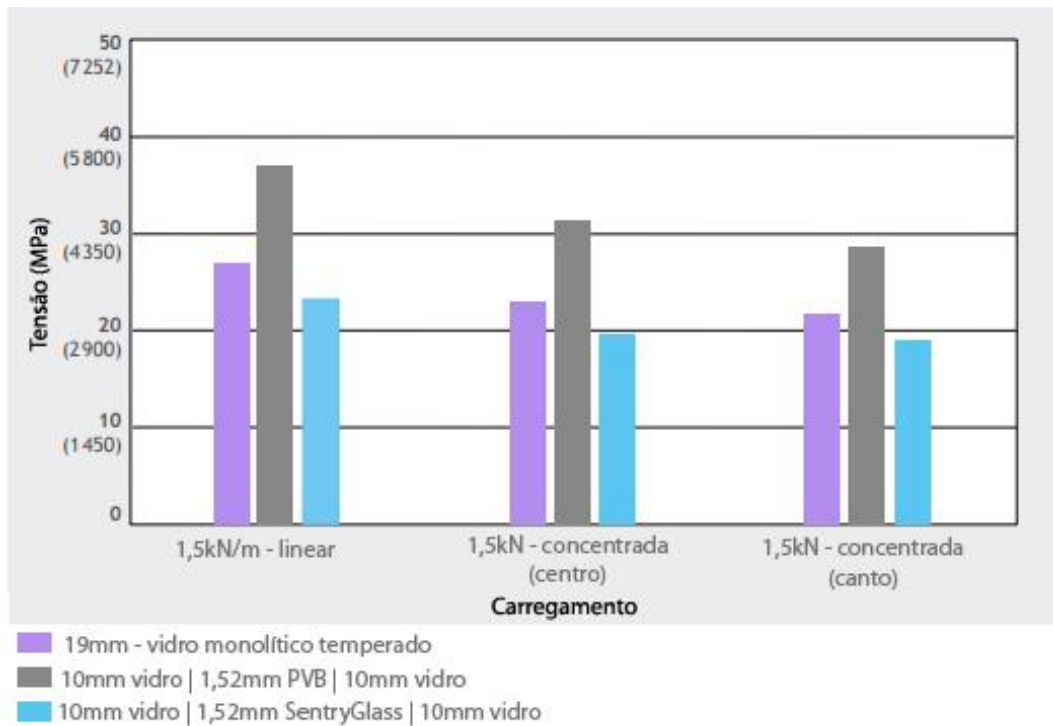
Os resultados mostram que laminados com o intercalar SentryGlas® desenvolvem menores deflexões e tensões sob as mesmas condições de carga.

Figura 11 – Comparativo de deflexões entre vidros monolíticos, laminados com PVB e laminados com SentryGlas®.



Fonte: Adaptado de (5).

Figura 12 – Comparativo de tensões entre vidros monolíticos, laminados com PVB e laminados com SentryGlas®.



Fonte: Adaptado de (5).

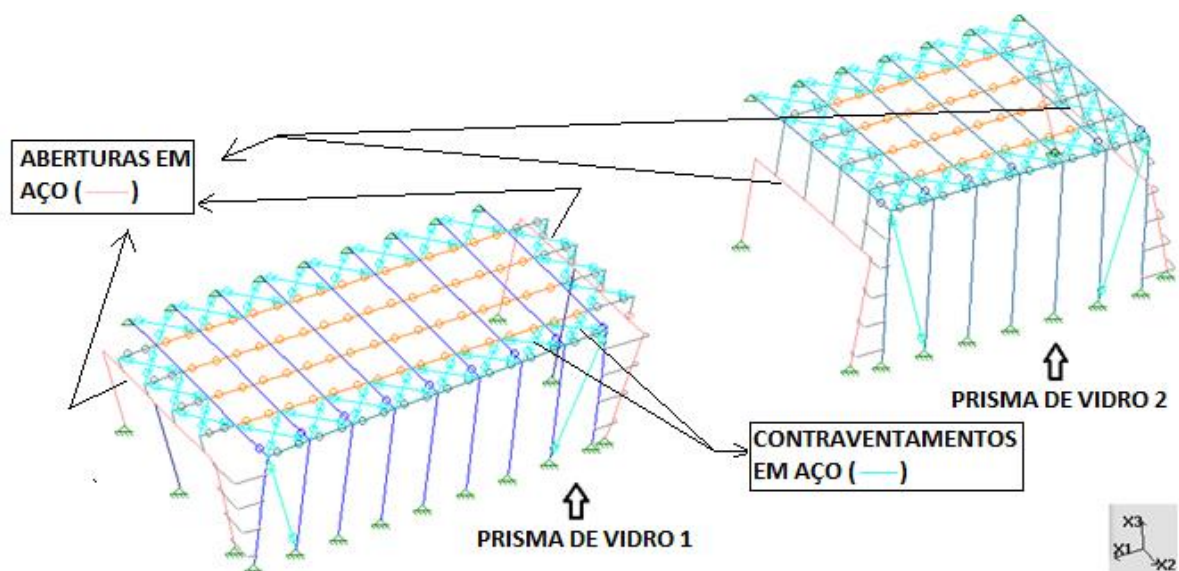
3. MODELO DE CÁLCULO

O foco deste trabalho é o dimensionamento das estruturas de vidro (vigas e colunas), logo, partimos do pressuposto que a estrutura metálica auxiliar (pórtico metálico) está com seus membros dimensionados corretamente, assim como os painéis de vidro do fechamento.

Então foram elaborados modelos de cálculo apenas para os prismas de vidro.

Na figura 13 podemos visualizar a estrutura com suas ligações e apoios, além do sistema de coordenadas adotado pelo programa.

Figura 13 – Visualização geral das estruturas dos prismas de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

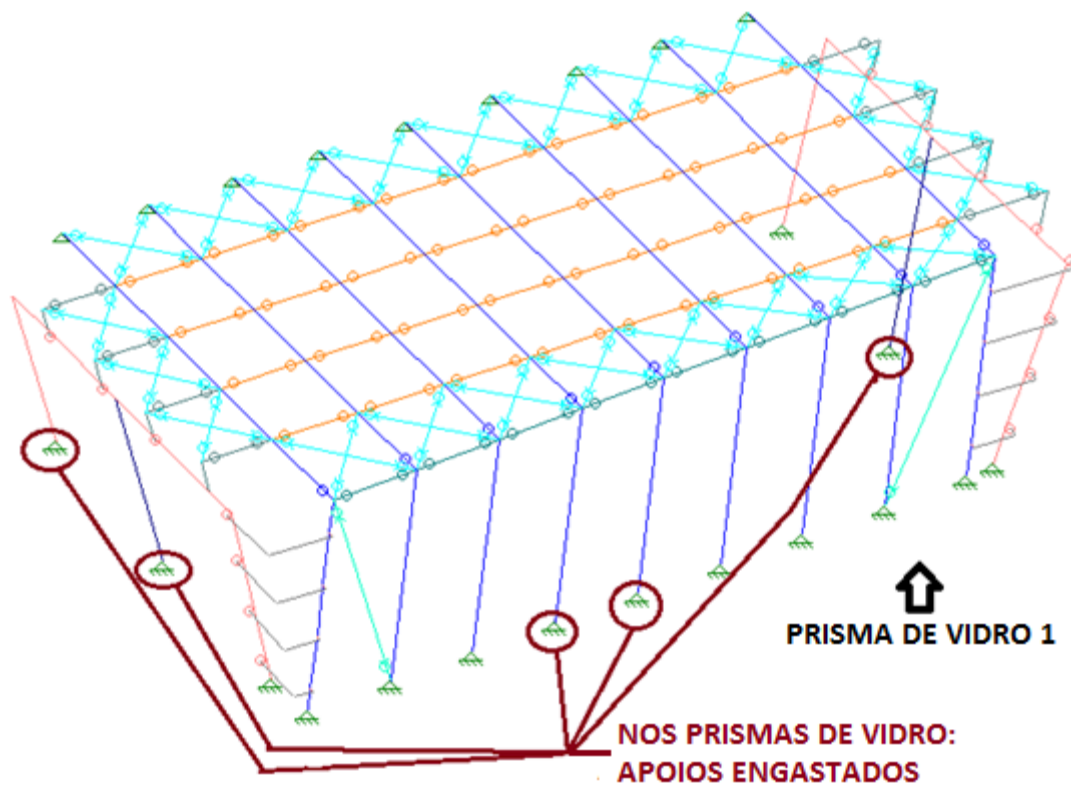
A estrutura mostrada na Figura 13 é composta por peças em vidro, com exceção das aberturas e contraventamentos.

3.1 CONDIÇÕES DE APOIO

Para o modelo de cálculo foram utilizados os apoios definidos a partir das ligações mostradas em projeto. Todos os pilares dos prismas de vidro possuem apoios engastados. Já os apoios no pórtico metálico são rotulados.

Na figura 14 podemos visualizar um trecho da estrutura (prisma de vidro 1) com os tipos de apoios nos prismas e pórtico. As representações de apoios e ligações estão conforme é mostrada pelo *software* Strap.

Figura 14 –Trecho da estrutura com os tipos apoios utilizados.



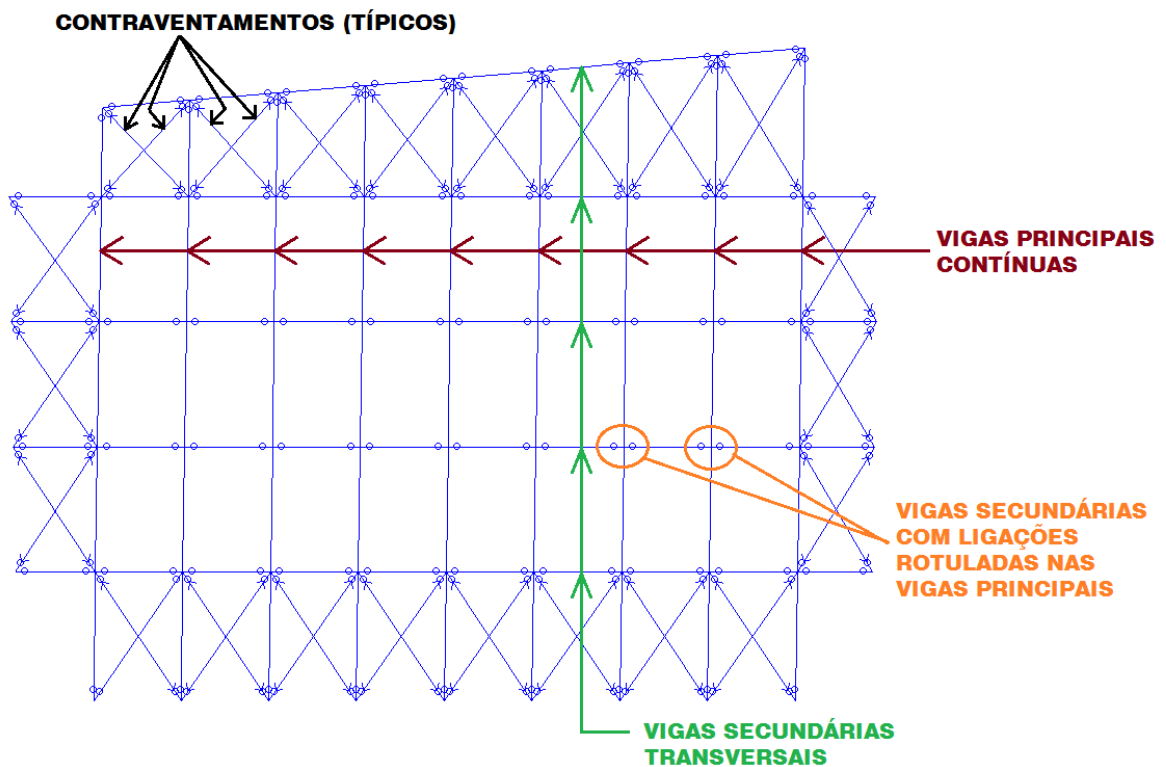
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

3.2 CONDIÇÕES DE LIGAÇÕES

Para os prismas de vidro temos vigas principais contínuas. As vigas transversais são vigas secundárias que estão rotuladas nas vigas principais. Também temos contraventamentos, que são barras metálicas, trabalhando apenas ao esforço de tração.

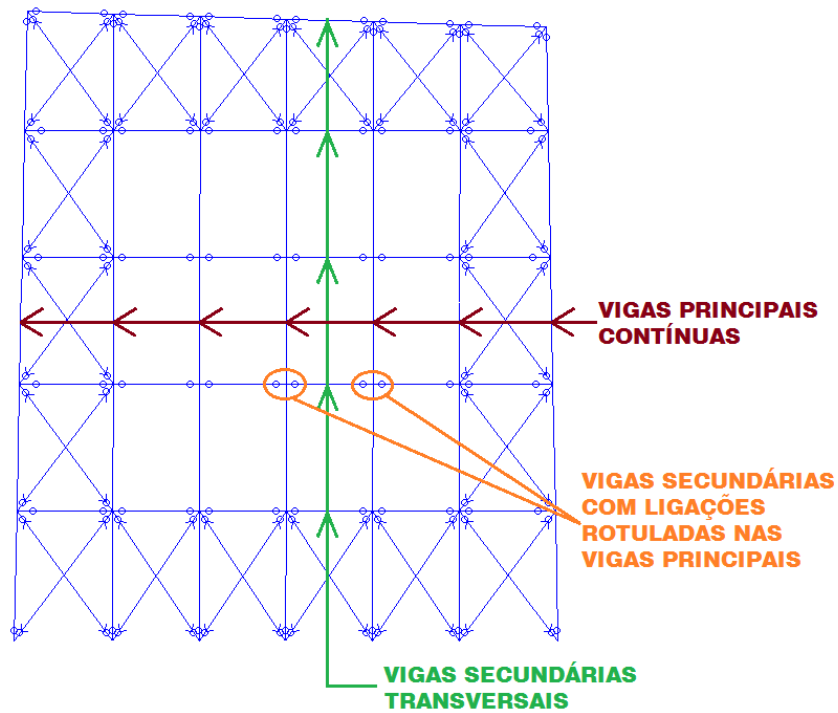
Nas imagens a seguir podemos visualizar as vistas superiores dos dois prismas de vidro e uma seção típica da ligação entre a viga principal e o pilar de vidro.

Figura 15 - Vista superior do prisma de vidro 1 com suas ligações.



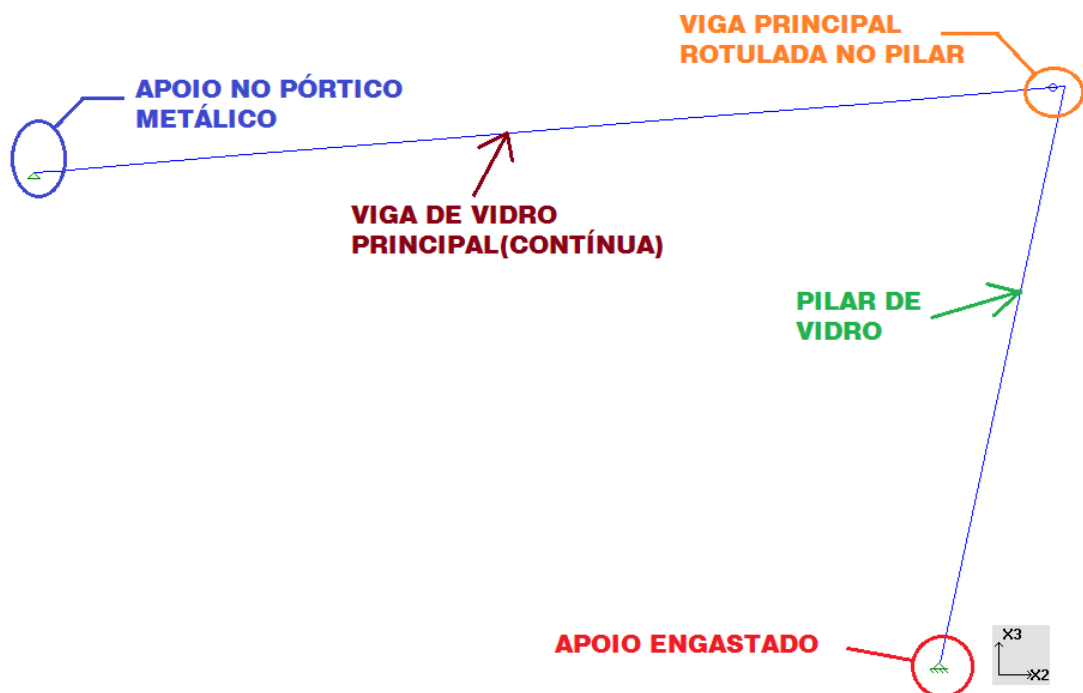
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 16 - Vista superior do prisma de vidro 2 com suas ligações.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 17: Seção típica da ligação entre viga principal e pilar dos prismas de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

3.3 CARREGAMENTOS

Foram considerados apenas os carregamentos atuantes nos prismas de vidro.

Foram utilizadas combinações para o Estado Limite Último conforme a norma “EN 1991-1-1: Eurocode 1: Actions on Structures”. As combinações seguiram a equação a seguir.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

E_d → Valor de cálculo dos efeitos das ações especificadas no critério de utilização, determinado com base na combinação em causa.

$\gamma_{G,j}$ → Fator para carga permanente
 Situações favoráveis → $\gamma_{G,j}=1,15$
 Situações desfavoráveis → $\gamma_{G,j}=1,35$

$G_{k,j}$ → Carga permanente
 γ_P → Fator para carga de protensão
 P → Carga de protensão
 $\gamma_{Q,1}$ → Fator para carga variável principal
 Situações favoráveis → $\gamma_{Q,1}=0$
 Situações desfavoráveis → $\gamma_{Q,1}=1,5$

$Q_{k,1}$ → Carga variável principal
 $\gamma_{Q,i}$ → Fator para cargas variáveis secundárias
 Situações favoráveis → $\gamma_{Q,i}=0$
 Situações desfavoráveis → $\gamma_{Q,i}=1,5$
 $\psi_{0,i}$ → Fator para cargas variáveis secundárias
 Para sobrecarga de coberturas em edifícios → $\psi_{0,i}=0$
 Para ação do vento em edifícios → $\psi_{0,i}=0,6$
 $Q_{k,i}$ → Cargas variáveis secundárias

Os coeficientes foram utilizados de acordo com os valores fornecidos por norma e resultaram nas seguintes combinações:

$$\text{Combinação 1: } \mathbf{1,35CP+1,5SC} \quad \text{Equação 3.2}$$

$$\text{Combinação 2: } \mathbf{1,35CP+1,5V} \quad \text{Equação 3.3}$$

$$\text{Combinação 3: } \mathbf{1,15CP+1,5V} \quad \text{Equação 3.4}$$

$$\text{Combinação 4: } 1,35CP+1,5SC+1,5*0,6*V = \mathbf{1,35CP+1,5SC+0,9V} \quad \text{Equação 3.5}$$

Onde:

CP → Carga permanente;

SC → Sobrecarga;

V → Carga de vento.

Para o cálculo dos carregamentos, a seguinte consideração foi utilizada: 1KN = 100Kgf.

De acordo com a NBR 6120, temos:

$$\text{Peso específico do aço} = 78,5\text{KN/m}^3 = 7850\text{Kgf/m}^3$$

$$\text{Peso específico do vidro} = 26,0\text{KN/m}^3 = 2600\text{Kgf/m}^3$$

Para o cálculo da carga por área foi utilizada a Equação 3.6:

$$C = Pe * e \quad \text{Equação 3.6}$$

Onde:

C – carga por área;

Pe – peso específico do material;

e – espessura do material.

3.3.1 CARGA PERMANENTE – PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA

Calculado automaticamente pelo programa.

3.3.2 CARGA PERMANENTE – PESO DOS PAINÉIS DE VIDRO

Espessura do vidro indicada em projeto = 16mm

Para o cálculo da carga por área aplicou-se a equação 3.1. O valor encontrado foi:

$$CP(\text{vidro}) = 42 \text{ Kgf/m}^2$$

3.3.3 SOBRECARGA

Segundo NBR 8800, anexo B.5. , temos que para cobertura comum deve-se considerar sobrecarga igual a $0,25\text{KN/m}^2 = 25\text{Kgf/m}^2$.

3.3.4 VENTO

O carregamento de vento foi calculado de acordo com NBR 6123/1988.

Os valores dos parâmetros adotados para o cálculo foram:

Velocidade básica do vento para Rio de Janeiro temos : **$V_0 = 35\text{m/s}$**

Fator topográfico - $S_1 \rightarrow$ Terreno plano

$S_1=1$

Fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e de sua altura sobre o terreno (S_2):

Categoria V: centro de grandes cidades e Classe A: menor que 20m de altura

$$S_2=0,74$$

Fator baseado em conceitos probabilísticos - $S_3 \rightarrow$ grupo 2: edificação para residência.

$$S_3=1$$

Logo a velocidade característica do vento (V_k) será dada pela expressão:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad \text{Equação 3.7}$$

$$V_k=25,9\text{m/s}$$

A pressão dinâmica do vento é determinada pela expressão a seguir.

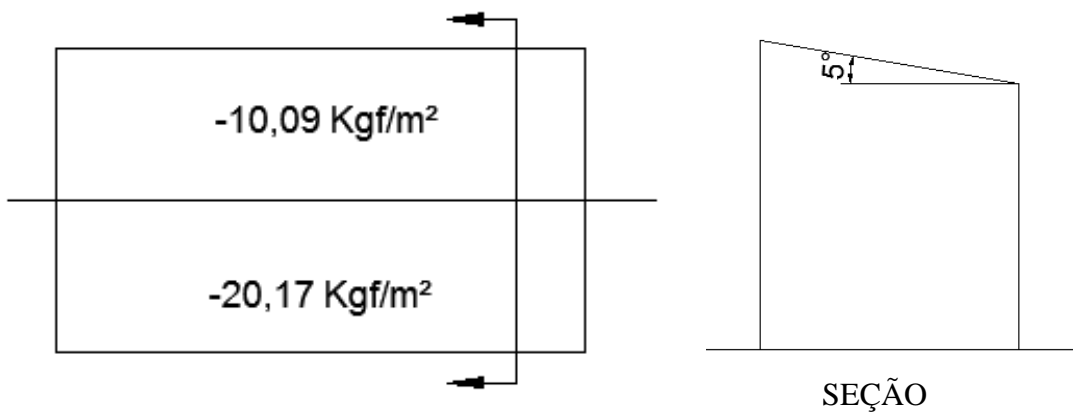
$$q=0,613 \times V_k^2 \quad \text{Equação 3.8}$$

$$q = 411,21 \text{ N/m}^2$$

Para a cobertura, temos um ângulo de inclinação igual a 5° . O carregamento tem os mesmos valores para vento a 0° e vento a 90° .

Prisma de vidro 1:

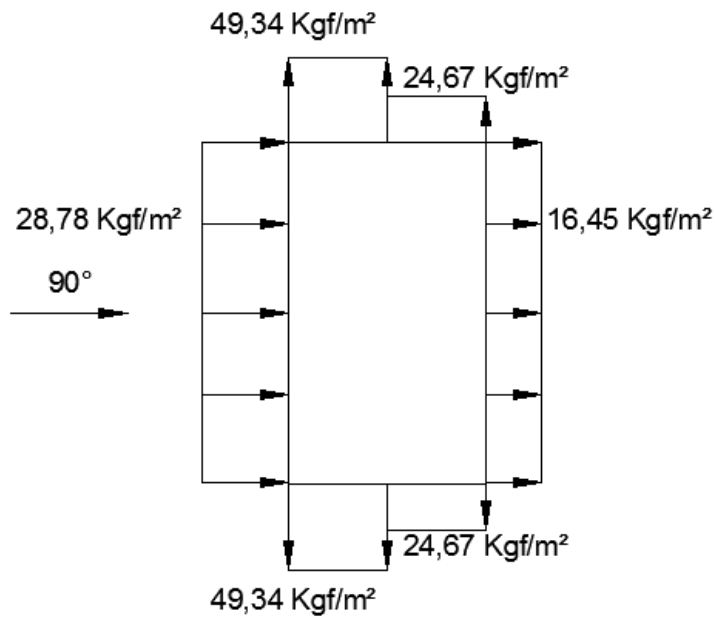
Figura 18 – Cargas de vento para a cobertura no prisma de vidro 1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

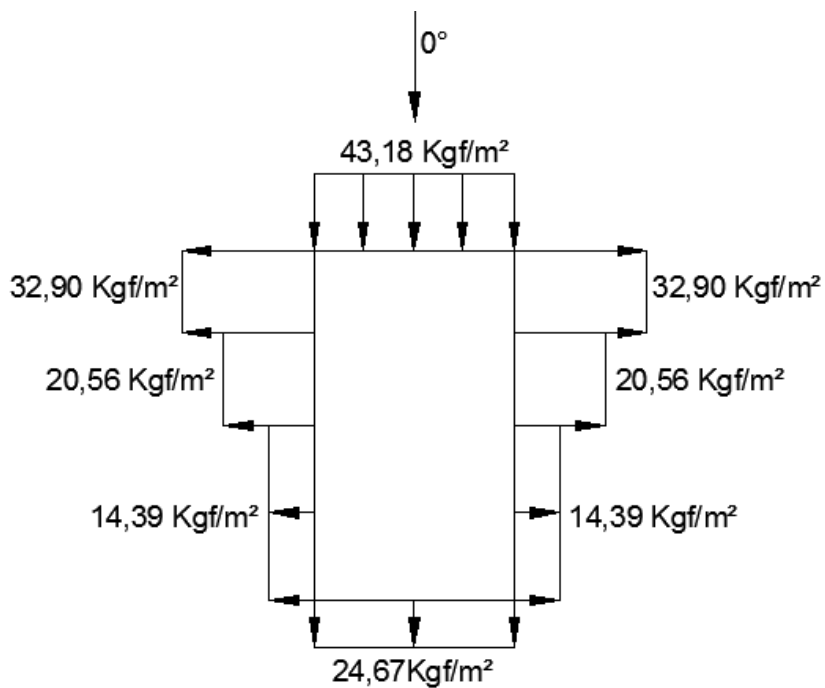
A carga de pressão interna para os casos de vento A 90° é igual a -797,91Kgf.

Figura 19 – Cargas de vento a 90° no prisma de vidro 1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 20 – Cargas de vento a 0° no prisma de vidro 1.

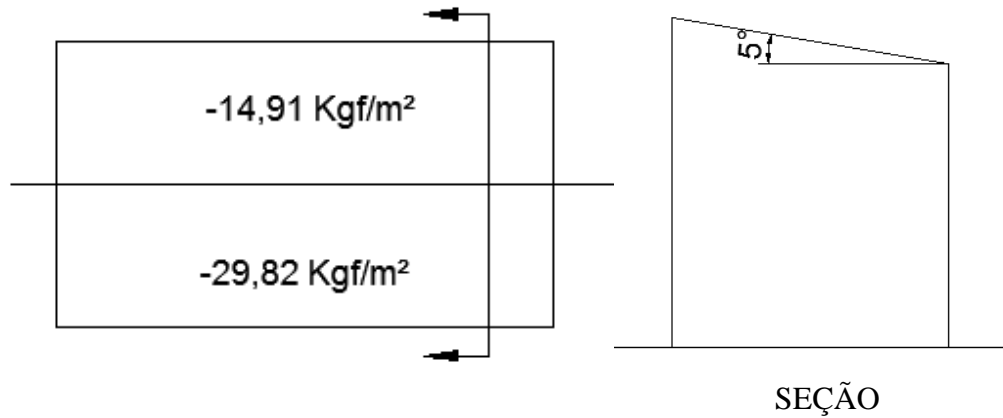


Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A carga de pressão interna para os casos de vento a 0° é igual a 531,94 Kgf.

Prisma de vidro 2:

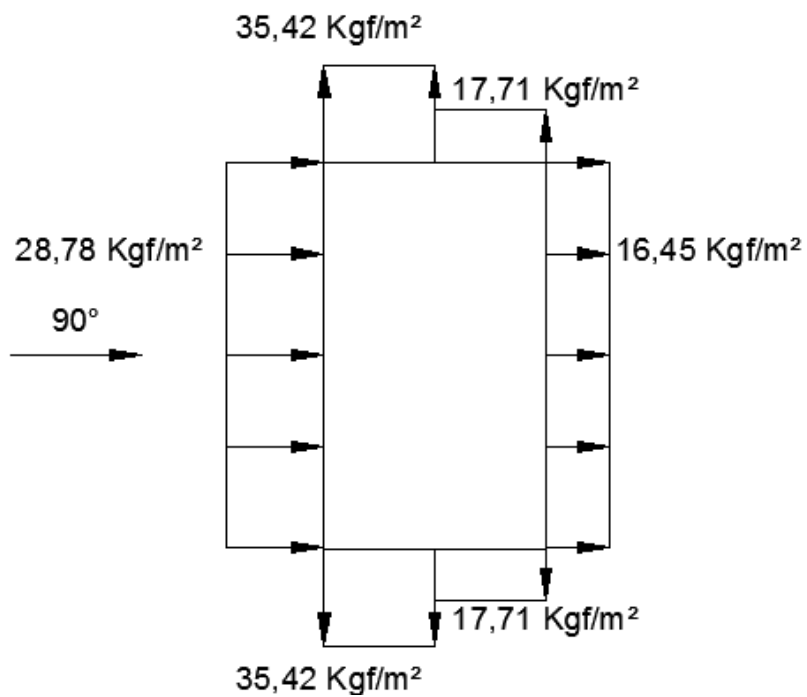
Figura 21 – Cargas de vento para a cobertura no prisma de vidro 1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A carga de pressão interna para os casos de vento a 90° é igual a 531,94 Kgf.

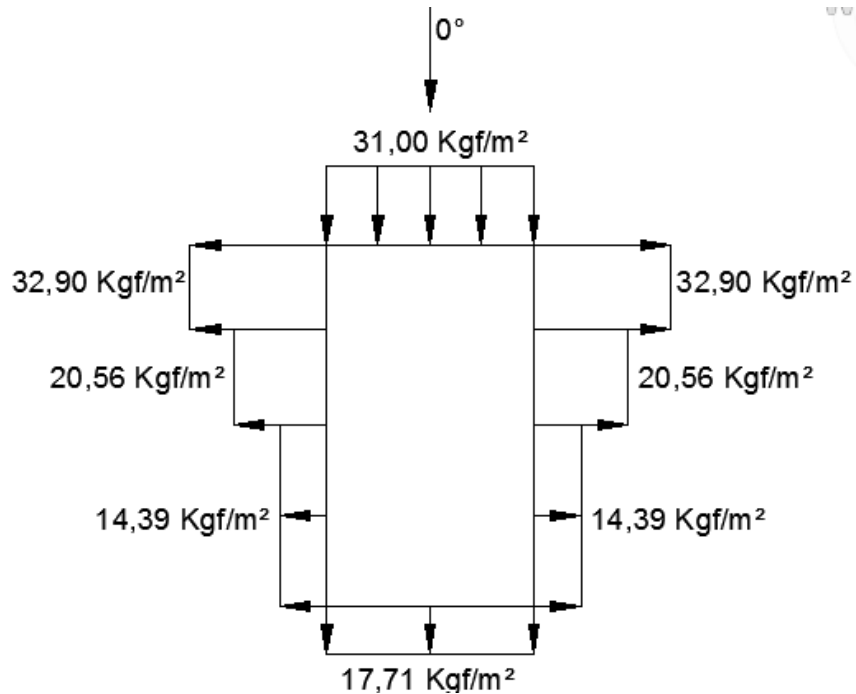
Figura 22 – Cargas de vento a 90° no prisma de vidro 1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A carga de pressão interna para os casos de vento a 0° é igual a $-797,91\text{Kgf}$.

Figura 23 – Cargas de vento a 0° no prisma de vidro 1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O carregamento relacionado ao vento foi aplicado de acordo com os eixos da estrutura mostrados na figura 13. Logo foram aplicados os ventos nas quatro direções da estrutura (+X1, -X1, +X2 e -X2), além do vento na direção X3 que atua na cobertura.

3.4 RESULTADOS

As tabelas abaixo mostram os momentos máximos encontrados nas vigas principais e as forças normais máximas encontradas para cada combinação. Os valores foram obtidos após a análise do modelo utilizando o *software* Strap.

Tabela 1 – Momentos máximos para as vigas principais

COMBINAÇÃO	MOMENTO MÁXIMO NAS VIGAS PRINCIPAIS(tf.m)
1,35CP+1,5SC	3,3 tf.m
1,35CP+1,5V(+X1)	2,0 tf.m
1,35CP+1,5V(-X1)	1,7 tf.m
1,35CP+1,5V(+X2)	1,7 tf.m
1,35CP+1,5V(-X2)	1,7 tf.m
1,15CP+1,5V(+X1)	1,8 tf.m
1,15CP+1,5V(-X1)	1,4 tf.m
1,15CP+1,5V(+X2)	1,4 tf.m
1,15CP+1,5V(-X2)	1,4 tf.m
1,35CP+1,5SC+0,9V(+X1)	3,0 tf.m
1,35CP+1,5SC+0,9V(-X1)	3,0 tf.m
1,35CP+1,5SC+0,9V(+X2)	3,0 tf.m
1,35CP+1,5SC+0,9V(-X2)	3,0 tf.m

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Logo o momento máximo atuante nas vigas principais foi encontrado na combinação: 1,35CP+1,5SC. O valor é igual a 3,3 tf.m, ou 33kN.m.

Tabela 2 – Forças normais máximas para as vigas principais

COMBINAÇÃO	FORÇA NORMAL MÁXIMA NAS COLUNAS DE VIDRO (tf)
1,35CP+1,5SC	3,4 tf
1,35CP+1,5V(+X1)	2,5 tf
1,35CP+1,5V(-X1)	3,2 tf
1,35CP+1,5V(+X2)	2,1 tf
1,35CP+1,5V(-X2)	3,5 tf
1,15CP+1,5V(+X1)	2,5 tf
1,15CP+1,5V(-X1)	2,8 tf
1,15CP+1,5V(+X2)	1,9 tf
1,15CP+1,5V(-X2)	3,1 tf
1,35CP+1,5SC+0,9V(+X1)	2,7 tf
1,35CP+1,5SC+0,9V(-X1)	3,2 tf
1,35CP+1,5SC+0,9V(+X2)	2,8 tf
1,35CP+1,5SC+0,9V(-X2)	3,9 tf

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Logo o esforço normal máximo atuante nas colunas de vidro foi encontrado na combinação 1,35CP+1,5SC+0,9V(-X2). O valor encontrado é igual a 3,9 tf, ou 39kN.

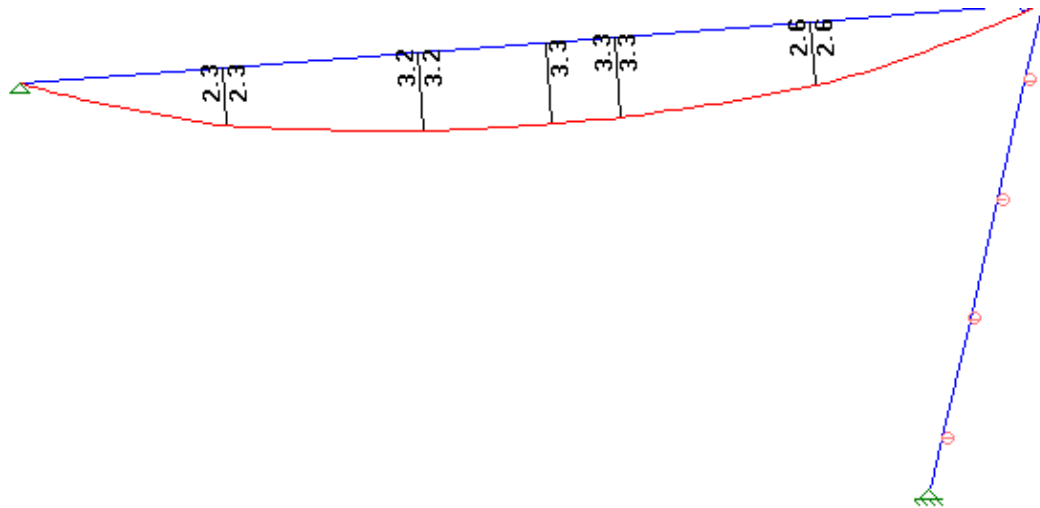
4. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM VIDRO

4.1 CRITÉRIOS DE PROJETO

Por definição da arquitetura todas as vigas principais devem ter as mesmas dimensões, assim como as colunas de vidro. Logo, o dimensionamento foi guiado a favor da segurança, ou seja, a verificação do dimensionamento foi realizada para os casos onde temos os maiores esforços.

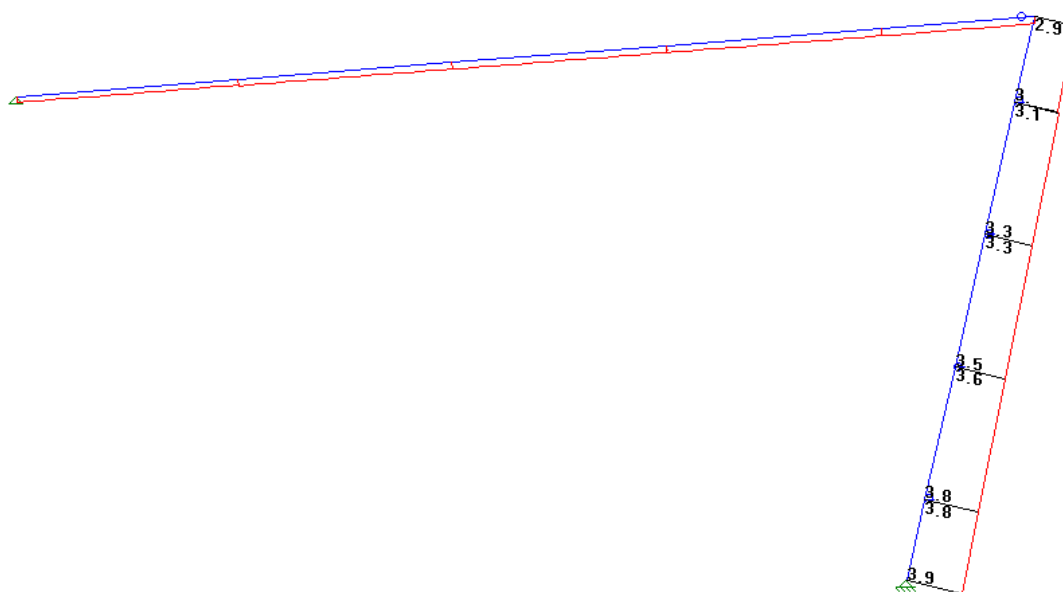
A seção com a combinação escolhida para dimensionamento da viga encontra-se na Figura 24 que está com as unidades em tf.m. Já na Figura 25, que possui suas unidades em tf, temos a seção com o esforço normal atuante na coluna selecionada para guiar o dimensionamento.

Figura 24 – Seção da viga utilizada para a verificação do dimensionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 25 – Seção da coluna utilizada para a verificação do dimensionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A norma utilizada para os dimensionamentos a seguir foi a norma australiana AS 1288-2006: *Glass in buildings – Selection and installation*.

De acordo com a norma utilizada, ainda está sendo estudado o dimensionamento de vigas de vidro laminado, logo adotamos as estruturas como um elemento monolítico.

A consideração feita acima não afetará a segurança, pois conforme foi visto no capítulo 2 deste trabalho a laminação com o material intercalar SentryGlas® faz com que o vidro temperado tenha um desempenho melhor do que o do vidro monolítico.

Para o uso de vidro laminado recomenda-se no mínimo 3 lâminas de vidro, assim como deve-se ter no mínimo uma lâmina de segurança para o caso de falha de uma das lâminas.

Os valores utilizados para as dimensões das vigas principais e colunas de vidro foram os valores indicados no projeto. São vidros temperados e laminados com a seguinte especificação:

VIDRO TEMPERADO LAMINADO 36mm (121212.2)

INTERLAYER SENTRYGLAS® e=0.89mm

A numeração indicada em parêntesis após a espessura do vidro “(121212.2)” significa que temos 3 lâminas de vidro de 12mm cada e duas camadas do material SentryGlas® entre as lâminas.

Considerando que uma das lâminas será a lâmina de segurança, restam duas de 12mm. Para o cálculo do vidro como monolítico foi considerada a espessura total de 24mm. A altura destas peças que consta em projeto é de 450mm.

É necessário o cálculo da tensão admissível já que as tensões nos elementos não devem exceder a tensão admissível do vidro.

O cálculo da tensão admissível é baseado no valor encontrado para a resistência do vidro temperado que é dado pela Equação 4.1:

$$f_{g;d} = \frac{K_{mod}K_{sp}f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{K_V(f_{b;k}-f_{g;k})}{\gamma_{M;V}} \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

$f_{g;d}$ - Tensão admissível para o vidro temperado;

K_{mod} - fator para duração da carga;

K_{sp} - fator para o tipo de vidro;

$f_{g;k}$ - resistência característica do vidro temperado;

$\gamma_{M;A}$ - fator para recozimento do vidro;

K_V - fator para o processo de fortalecimento de fabricação;

$f_{b;k}$ - resistência à flexão do vidro temperado;

$\gamma_{M;V}$ - fator para superfície do vidro temperado.

Os valores adotados para cada uma das variáveis estão a seguir:

Para carga permanente com duração de 50 anos , temos $K_{mod} = 0,29$.

Para o tipo de vidro comum encontramos o valor $K_{sp} = 1$.

A resistência característica do vidro temperado é: $f_{g;k} = 45\text{N/mm}^2$.

Os valores $\gamma_{M;A}$ e $\gamma_{M;V}$ são definidos por norma como: $\gamma_{M;A} = 1,6$ e $\gamma_{M;V} = 1,2$.

O fator para o processo de fortalecimento de fabricação se dá pelo modo em que a formação do vidro temperado é feita (vertical ou horizontal). Para processo de produção horizontal temos $K_V = 1$.

A resistência à flexão do vidro temperado é: $f_{b;k} = 120\text{N/mm}^2$.

Aplicando os valores descritos acima na Equação 4.1 encontramos o valor da tensão admissível para o material. O valor aproximado é:

$$f_{g;d} = 70,656\text{N/mm}^2 \text{ ou } f_{g;d} = 70,656 \text{ MPa.}$$

As propriedades do material também estão descritas em norma:

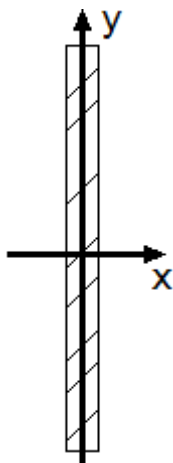
Módulo de Elasticidade Longitudinal $\rightarrow E = 70000 \text{ N/mm}^2$ ou 70000000 KN/m^2

Módulo de Elasticidade Transversal $\rightarrow G = 28700 \text{ N/mm}^2$ ou 28700000 KN/m^2

Coefficiente de Poisson $\rightarrow \nu = 0,22$

Na imagem abaixo, que está sem escala, podemos observar a seção transversal de uma peça de vidro monolítico com seus eixos 'x' e 'y'.

Figura 26 – Peça de vidro monolítico com seus eixos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Os momentos de inércia nas direções 'x' e 'y' são:

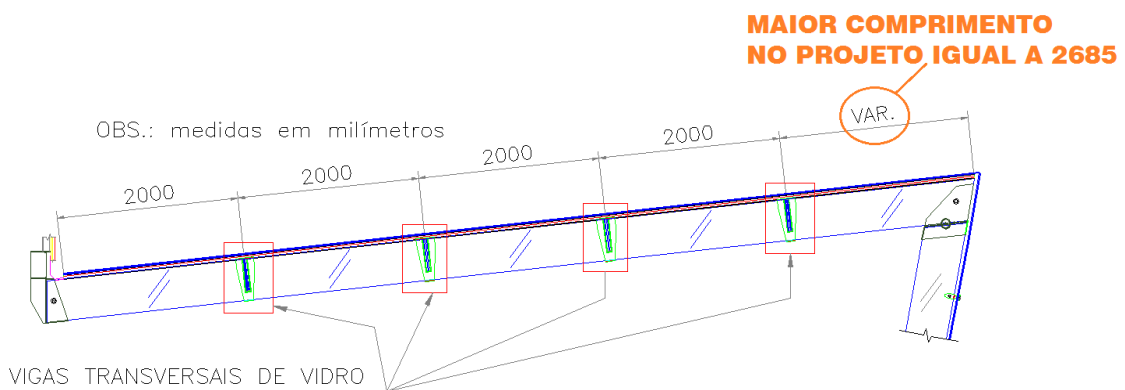
$$I_x = 1,8225 * 10^{-4} m^4 \quad e \quad I_y = 5,184 * 10^{-7} m^4 .$$

4.2 VIGAS DE VIDRO

Como as vigas de vidro são esbeltas, a flambagem guiará o dimensionamento.

As equações para a flambagem das vigas de vidro são baseadas nas suas restrições, ou seja, precisamos verificar se as vigas estão totalmente restringidas, parcialmente restringidas ou sem restrições. Na Figura 27, podemos ver uma seção que mostra a viga em questão.

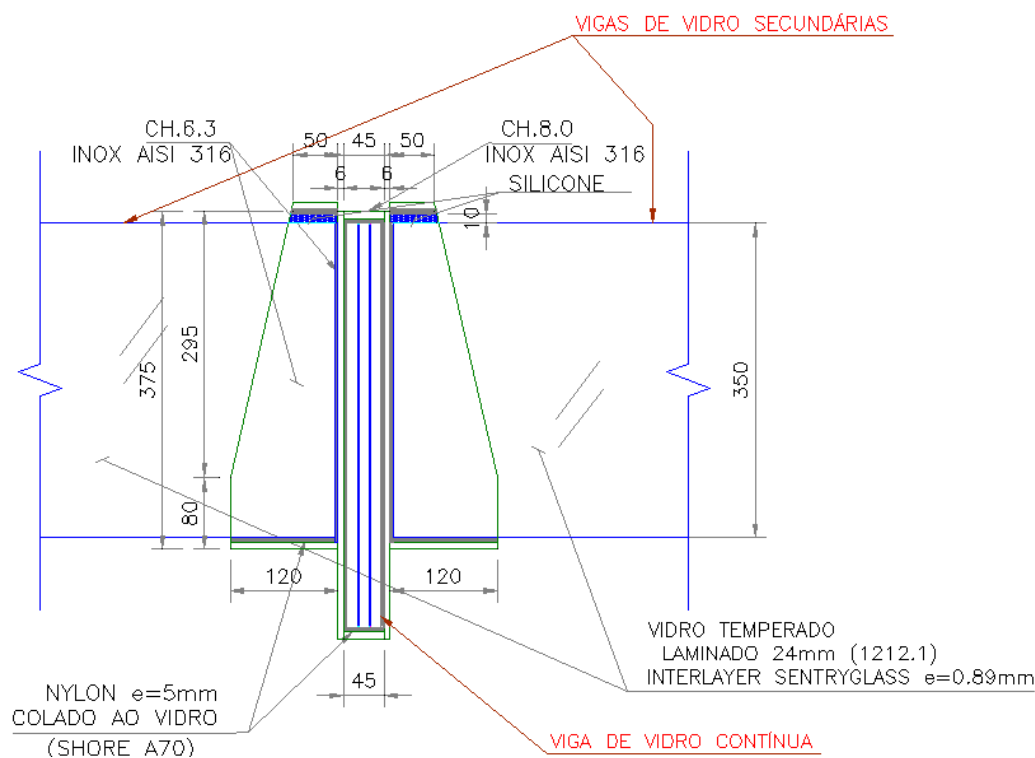
Figura 27 – Seção típica das vigas principais dos primas de vidro



Fonte: Adaptado do projeto, 2015.

Na Figura 28 temos uma seção que mostra a ligação das vigas transversais (secundárias) na viga contínua principal.

Figura 28 – Ligação das vigas secundárias na viga principal.



Fonte: Adaptado do projeto, 2015.

Na figura 27 podemos observar que existem vigas de vidro secundárias (vigas transversais) como travamento lateral da viga principal. Na figura 28 temos o detalhe da ligação que configura uma ligação rotulada das vigas secundárias na viga principal visto que na parte superior temos uma folga de 10mm entre a chapa metálica e a viga de vidro preenchida com silicone. A viga secundária possui liberdade de rotação na vertical, pois o silicone é um material flexível que é comprimido ou tracionado no momento da rotação.

De acordo com as condições de ligações entre as vigas, consideraram-se as vigas principais como parcialmente restringidas e o comprimento de flambagem igual a maior distância destravada da viga principal. Esta distância corresponde a 2,7m.

A Equação 4.2 é utilizada para calcular o momento crítico de flambagem para vigas parcialmente restringidas (M_{CR}).

$$M_{CR} = \left(\frac{g1}{L_{ay}} \right) \sqrt{(EI_y) * (GJ)} \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde:

L_{ay} - Comprimento de flambagem

$g1$ - coeficiente de esbeltez

Os valores utilizados foram: $L_{ay}=2,7\text{m}$ e $g1= 3,1$.

O valor de J é determinado pela Equação 4.3.

$$J = \frac{db^3}{3} \left(1 - \frac{0,63b}{d} \right) \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

d – altura da viga

b – espessura da viga

Para $d = 0,45\text{m}$ e $b = 0,024\text{m}$, temos:

$$J = 2,00393 \times 10^{-6} \text{ m}^4.$$

A partir dos valores encontrados acima utilizou-se a Equação 4.2 para o cálculo do momento crítico (M_{cr}). Logo $M_{cr} = 52,452 \text{ KN.m}$

O momento atuante na estrutura deve ser comparado ao momento crítico de flambagem, aplicado um coeficiente de segurança de 1,14.

Aplicando o coeficiente de segurança temos:

$$M_{cr}(C.S.) = 46,01 \text{ KN.m}$$

Para o momento atuante que pode ser encontrado na Figura 24, temos:

$$M(\text{atuante}) = 33 \text{ KN.m}$$

Conclui-se que $M_{\text{atuante}} < M_{cr}(\text{C.S.})$. Logo não haverá falha.

Para a verificação da resistência à flexão utilizamos a equação 4.4.

$$M_{F_{g,d}} = \frac{(b x h^2) x F_{g,d}}{6} \quad \text{Equação 4.4}$$

Logo: $M_{F_{g,d}} = 57,23 \text{ KN.m}$

Conclui-se que $M_{\text{atuante}} < M_{F_{g,d}}$. Logo, não haverá falha.

4.3 COLUNAS DE VIDRO

Assim como as vigas, as colunas também são peças esbeltas que estão sujeitas à flambagem. Para o dimensionamento das colunas de vidro inicialmente é realizado o cálculo da carga crítica de flambagem N_{cr} dada pela equação 4.5.

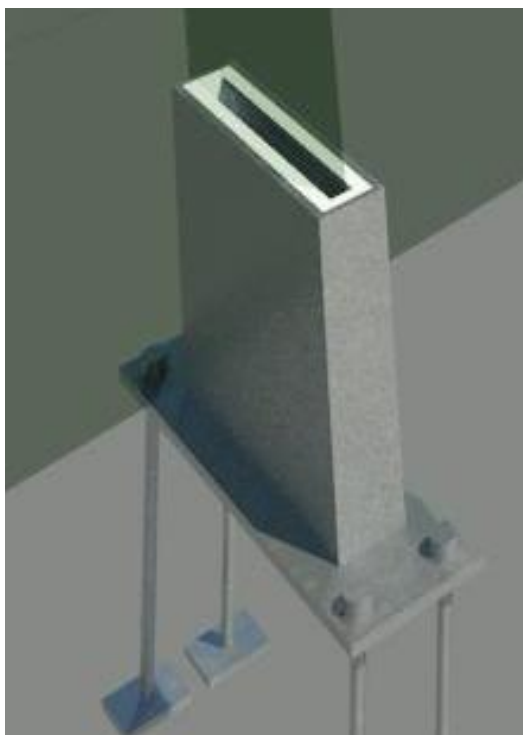
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} \quad \text{Equação 4.5}$$

Onde:

L_{cr} - comprimento de flambagem da coluna.

Para a definição do comprimento de flambagem da coluna foram analisadas as ligações na base (Figura 29) e no topo (Figura 30).

Figura 29 – Detalhe de base da coluna de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 30 – Ligação no topo da coluna de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

De acordo com as figuras 29 e 30, conclui-se que tanto a base como o topo do pilar estão engastados, logo o comprimento de flambagem será calculado a partir da equação 4.6.

$$L_{cr} = 0,5 L_{total} \quad \text{Equação 4.6}$$

O maior pilar mede 6,7 metros. Então: $L_{cr} = 3,35$ metros.

A partir da equação 4.5, temos que $N_{cr} = 31,91$ KN.

A partir do resultado obtido podemos calcular a deflexão máxima ($w_{m\acute{a}x}$) na coluna provocada pela carga N_{cr} . O cálculo de $w_{m\acute{a}x}$ é realizado com a equação 4.7.

$$w_{m\acute{a}x} = \frac{e}{\cos(L_{cr}/2\sqrt{N/N_{cr}})} + \frac{w_0}{1-N/N_{cr}} \quad \text{Equação 4.7}$$

Onde:

e - excentricidade referente à carga N ;

N - Carga de compressão atuante na estrutura;

w_0 - variável referente às imperfeições no interior da coluna. Seus valores variam de acordo com o tratamento ao qual o vidro foi submetido.

A carga N atuante na estrutura pode ser observada na figura 25.

$$N = 39 \text{ KN}$$

Como não temos momento atuante no nó da ligação entre viga principal e pilar e também não há carga excêntrica, temos que $e = 0$.

O valor de w_0 para vidros temperados é igual a $L/300$. Logo $w_0 = 0,0223$ m.

Aplicando os valores na equação 4.7, temos:

$$w_{m\acute{a}x} = 0,10 \text{ m}$$

Então calcula-se a tensão máxima a partir da equação 4.8.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A} \pm \frac{N}{W} (w_{m\acute{a}x} + w_0 + e) \quad \text{Equação 4.8}$$

Onde:

A - Área da seção da coluna de vidro;

W - Módulo de elasticidade da seção da coluna.

O valor de W é calculado com a equação 4.9.

$$W = \frac{bt_{eff}^2}{6}$$

Equação 4.9

Onde:

b - largura da coluna de vidro;

t_{eff} - espessura efetiva da coluna de vidro.

Logo, $W = 4,32 \times 10^{-5} m^3$.

Então podemos calcular a tensão máxima com a equação 4.8.

Temos:

$\sigma_{m\acute{a}x} + = 67023,55 \text{ KN/m}^2$ ou $67,024 \text{ MPa}$.

$\sigma_{m\acute{a}x} - = - 74245,8 \text{ KN/m}^2$ ou $-74,246 \text{ MPa}$.

A tensão admissível é igual a 70656 KN/m^2 ou $70,656 \text{ MPa}$.

Na tabela abaixo pode-se observar os valores obtidos e os valores admissíveis.

Tabela 3 – Valores obtidos para vidro com espessura total de 24mm e comprimento de flambagem igual a 3,35m.

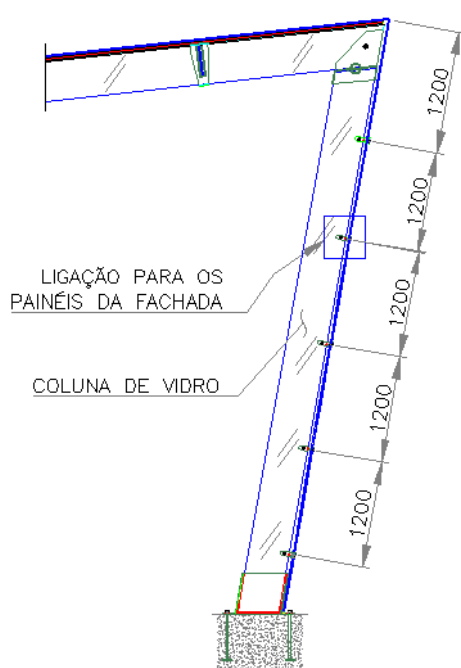
	Valores obtidos	Valores máximos admissíveis	Situação
N_{cr}	39 KN	31,91 KN	VALOR SUPERIOR AO VALOR MÁXIMO PERMITIDO
σ máx +	67,024 MPa	70,656 MPa	OK
σ máx -	74,246 MPa	70,656 MPa	VALOR SUPERIOR AO VALOR MÁXIMO PERMITIDO

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

5. PROPOSTA PARA O DIMENSIONAMENTO

O projetista responsável pelo projeto considerou em seu dimensionamento que os pilares de vidro estariam travados nos pontos de ligação dos painéis da fachada conforme a imagem abaixo.

Figura 31 – Seção típica das colunas de vidro.



Fonte: Adaptado do projeto, 2015.

Portanto, com esta consideração os pilares teriam um comprimento de flambagem igual a 1,2m. Os valores para este comprimento de flambagem estão na tabela abaixo.

Tabela 4 – Valores para comprimento de flambagem considerado pelo projetista.

	Valores obtidos	Valores máximos admissíveis	Situação
N_{cr}	39 KN	248,7 KN	OK
σ máx +	19,939,7KN/m ²	70656 KN/m ²	OK
σ máx -	12176,43 KN/m ²	70656 KN/m ²	OK

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Conclui-se que para o valor considerado pelo calculista a estrutura está com o dimensionamento correto, porém optamos por não considerar a ligação dos painéis de vidro como um travamento capaz de reduzir o comprimento de flambagem. Logo, a sugestão seria aumentar mais uma lâmina de vidro de 12mm, resultando numa espessura total de 36mm. Os valores obtidos para o dimensionamento dos pilares com esta nova dimensão estão na tabela abaixo.

Tabela 5 – Valores para solução com o acréscimo de mais uma lâmina de 12mm.

	Valores obtidos	Valores máximos admissíveis	Situação
Ncr	39 KN	107,71 KN	OK
σ máx +	25415,6 KN/m ²	70656 KN/m ²	OK
σ máx -	20600,81 KN/m ²	70656 KN/m ²	OK

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho foi motivado pelo fato de que no Brasil ainda não há uma normatização para o dimensionamento do vidro com função estrutural, enquanto que a busca por realizar obras com vidros desempenhando esta função está crescendo. A falta de normas e estudos sobre este tema faz com que o crescimento nesta área seja limitado, sendo necessário recorrer a normas internacionais para dimensionar estruturas deste tipo.

Deve-se ter cautela com o uso do vidro estrutural por este ser um material que apresenta ruína sem um aviso prévio, portanto o ideal é estar a favor da segurança levando em conta também o fator econômico.

Neste trabalho alguns temas foram abordados de forma superficial por não ser o objetivo principal do trabalho ou devido à grande complexidade, logo poderá ser fruto de estudo em outros trabalhos.

As vantagens de utilizar este material são diversas, dentre elas temos que o vidro é um material reciclável, portanto quando uma peça de vidro chega à ruína é possível reaproveitar este material evitando desperdícios, assim como sua transparência permite aproveitar a luz solar durante o dia.

Por muitos anos a fragilidade deste material trazia inseguranças aos engenheiros, porém as evoluções com os tratamentos térmicos melhorou-se a tensão resistente do vidro, assim como a laminação dos vidros permitiu reduzir o risco de uma ruptura repentina ocasionando acidentes como pode acontecer com vidros simples.

Também foi estudado um tipo de película utilizada na laminação, o material *SentryGlas®* que é uma inovação no mercado e que foi criado para melhorar o desempenho dos vidros, principalmente na função estrutural.

Para o cálculo e dimensionamento utilizou-se o software Strap e regras obtidas do livro “Structural use of glass in buildings – Second edition, 2014” publicado pelo The Institution of Structure Engineers que tem como base para dimensionamento de vigas e pilares a norma europeia “EN 1991-1-1: Eurocode 1-Actions on structures” e norma australiana “AS 1288-2006: *Glass in buildings – Selection and installation*”.

As considerações realizadas ao longo do processo de dimensionamento são de extrema importância, assim como é necessário modelar a estrutura de forma que ela funcione na realidade conforme planejado. Dependendo das condições impostas podemos chegar a resultados bem diferentes.

Para manter o padrão de espessura das lâminas de vidro já utilizada no projeto foi sugerido o acréscimo uma lâmina de 12mm, porém poderia ter sido feito testes com espessuras menores buscando um dimensionamento mais adequado.

Entendemos que é muito importante utilizar lâmina de segurança nas estruturas de vidro, pois permitirá que, caso aconteça a quebra de alguma lâmina de vidro, seja possível que a estrutura continue funcionando até que a troca desta peça seja realizada, superando o problema da não ductilidade do vidro.

O fato de decidirmos não adotar as mesmas condições que o calculista responsável pelo projeto não quer dizer que o mesmo esteja errado e sim, que realizamos considerações diferentes. Como não se tem muitas certezas em relação ao comportamento do vidro, optamos por ficar a favor da segurança e adotar uma lâmina a mais de vidro.

As obras de engenharia devem buscar a diminuição de acidentes e falhas, realizando construções cada vez mais seguras. Toda a cadeia desde a produção até o uso final deve ser estudada e aprimorada, pois as falhas durante o processo podem afetar a estrutura.

É importante que sejam aproveitados os estudos realizados por outros países e unir a estudos realizados no país a fim de começar a caminhar em direção da criação de uma normatização para regulamentar o uso do vidro estrutural no país de acordo com as tecnologias utilizadas para produção do mesmo garantindo a segurança de obras deste tipo.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante das restrições de conhecimentos em relação ao uso do vidro estrutural sugerem-se os seguintes trabalhos:

- Dimensionamento da estrutura utilizada para este trabalho com utilização de normas de outros países, como, por exemplo, a norma britânica;
- Análise da estrutura através de modelo em elementos finitos;
- Estudo do comportamento dinâmico do vidro;
- Estudo sobre métodos de fabricação e transformação dos vidros e como a qualidade deste processo poderá interferir na estrutura;
- Estudo de fadiga do vidro ao longo da vida útil da estrutura.

8. REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**. Projeto e estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11706**. Vidros na construção civil. Rio de Janeiro, 1992.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
5. **PORTAL EMPRESA KURARAY**. Disponível em:
< <http://glasslaminatingsolutions.kuraray.com/products/sentryglasr-ionoplast-interlayer/>>.
Acesso em 23 de setembro de 2015.
6. **OVEREND, M.** Recent development in design methods for glass structures', The Structural Engineer, Volume 88, Issue14, 18-26, 2010.
7. **THE INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS**. Structural use of glass in buildings. Second edition. London, 2014.
8. **PORTAL EMPRESA ABRAVIDRO**. Disponível em:
< <http://www.abravidro.org.br/>>. Acesso em 17 de setembro de 2015.
9. **PORTAL EMPRESA CLACCI VIDROS**. Disponível em:
< <http://www.claccividros.com.br/produtos/vidros/>>. Acesso em 09 de outubro de 2015.
10. **PORTAL EMPRESA MINEIRA VIDROS**. Disponível em:
< http://www.mineiravidros.com.br/produtos/vidros_temperados/index.php>. Acesso em 01 de dezembro de 2015.
11. **PORTAL CONEXÃO MUNDO**. Disponível em:
< <http://conexaomundo.com.br/wp-content/uploads/2014/06/conexao-mundo-apple-store-lojas-da-apple-new-york-1.jpg> >. Acesso em 09 de outubro de 2015.
12. **PORTAL THE NEXT WEB**. Disponível em:
< <http://thenextweb.com/apple/2011/10/04/opening-weekend-at-apples-shanghai-store-drew-100000-visitors/> >. Acesso em 09 de outubro de 2015.
13. **NORMA PORTUGUESA. NP EN 1990-2009**. Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas. 2009.
14. **AUSTRALIAN STANDARD. AS 1288-2006**. Glass in buildings - Selection and installation. 2006.