

## **ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO COM VIDRO ESTRUTURAL**

JOSÉ JONAS TABOSA DE SOUZA<sup>1\*</sup>, AUDELIS DE OLIVEIRA MARCELO JÚNIOR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Civil, UEVA, Sobral-CE. Fone: (88) 99255-3842, eng.tabosa@gmail.com

<sup>2</sup>Msc. Professor Engenharia Civil, UEVA, Sobral-CE. Fone: (85) 99621-0399, audelisjr@yahoo.com.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015  
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

**RESUMO:** Esta pesquisa procura analisar o vidro estrutural, como material e o seu uso inovador na construção civil, abordando suas técnicas e suas diversas formas de aplicação. É comum observar materiais vítreos estampados em fachadas; de muitos edifícios, mas o seu uso vai além de simples fachadas, em coberturas também é comum observar, contudo a notoriedade é evidenciada em pisos como os de escadas, pontes e passarelas. As técnicas de aplicação vem crescendo, mas sempre cabe ao profissional competente analisar por meio de normas e recomendações de fabricante, além de verificar a eficácia através de ensaios de laboratório. Os procedimentos para seguir na obtenção de um painel de vidro adequado a aplicação solicitada, começa com dimensionamento por meio de cálculos, com auxílio de recomendações de normas e fabricantes, segue-se com modelagem computacional, que evidencia a ação de tensões ao longo do painel, chegando ao final com ensaios laboratoriais. No trabalho foi exemplificado um dimensionamento utilizando cálculos normatizados e modelagem computacional e, ao final verificou-se os resultados, na qual as deformações encontradas tiveram diferenças com menos de 1mm, mostrando que normas bem como o software computacional possuem recursos para se chegar a resultados semelhantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fachada, pavimento, dimensionamento, software.

## **ANALYSIS AND SIZING WITH STRUCTURAL GLASS**

**ABSTRACT:** This research aims to analyse the structural glass as material and its innovator use in the middle of civil construction. Its techniques and different ways of application. Is usual to see glassy materials printed on the facades of many buildings, but its use goes beyond simple facades, on roofs is also common to see, but its notoriety is evidenced in floors such as stairs, bridges and walkways. The apply techniques has been growing but always depends to the professional to analyse manufacturer recommendations and verify the effectiveness through laboratory testing by norms and standards. The procedures to follow to obtain a suitable glass panel to the requested loads begins in the dimensioning by calculation, with the help of manufacturers recommendations and standards, followed by a computer modeling, which shows the action of tensions along the panel, coming to the end with laboratory tests. At this work was exemplified a dimensioning using standards calculations and computer modeling and at the end was verified the results, where the deformations found had differences of less than 1 mm, showing that standards and software have the computational resources to reach similar results.

**KEYWORDS:** facade, pavement, dimensioning, software.

## **INTRODUÇÃO**

Na busca por materiais utilizados na construção civil, o vidro mostra-se inovador com suas aplicações modernas e sofisticadas, na qual sua utilização vai desde fachadas, coberturas e ainda destacando-se em pisos de passarelas e escadas. O uso em projetos dá-se por suas características naturais de luminosidade e transparência e a confiança no seu uso está em sua resistência mecânica, com resistências à tensões de tração variando de 50 MPa até 200 MPa (VALARINHO, 2010).

A pesquisa é justificada pelos crescentes estudos relacionados ao vidro e como pode ser feito o seu dimensionamento, sendo tomados como base normas regulamentadoras, destacam-se a francesa

NF DTU 39/2006, as brasileiras ABNT NBR 7199/1989 e ABNT NBR 6123/1988, sendo elas de grande importância para aplicação do vidro.

O principal objetivo do trabalho é demonstrar o dimensionamento de placas de vidro através de normas, principalmente internacionais, sendo tomado como exemplo fachada e pavimento. Para efeitos comparativos duas normas foram abordadas para os cálculos, a NF DTU 39/2006 e ABNT NBR 7199/1989 e assim analisando suas eficiências, contudo o trabalho pode ser complementado com análise computacional e ensaios laboratoriais, para ter um produto final capaz de atender as solicitações de cargas.

## MATERIAL E MÉTODOS

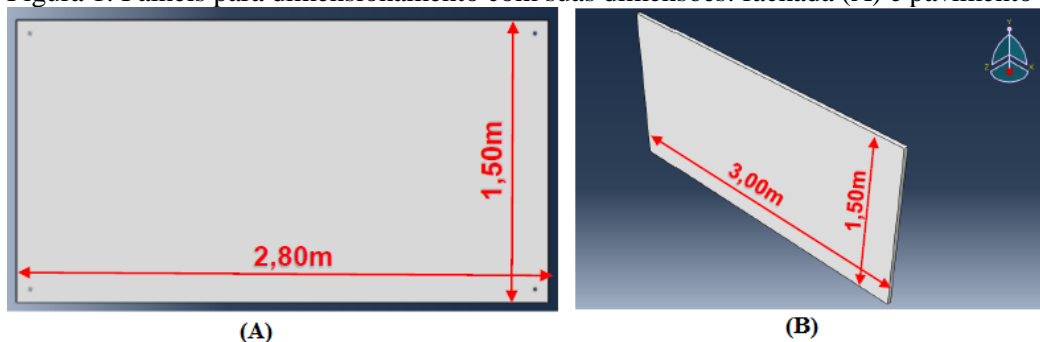
Para utilização do vidro é importante conhecer suas propriedades: químicas, físicas e mecânicas. De acordo com Sanches (2013), o vidro sílica soda cálcico, usado para dimensionamento onde haja grandes tensões, possui algumas propriedades físicas como: densidade igual a 2500 kg/m<sup>3</sup>, elasticidade igual a 70 GPa e coeficiente de Poisson com valor igual a 0,23.

Na realização do trabalho foi usado exemplos numéricos para dimensionamento das chapas de vidro, para fachada, que possui furos próximos as vértices para os fixadores, e pavimento, na qual foi utilizado o apoio de normas, sendo a brasileira ABNT NBR 7199/1989 e a francesa NF DTU 39/2006.

Para melhor verificação no dimensionamento métodos computacionais na modelagem também foram adotados. Para este procedimento o software aplicado foi o Abaqus 6.14-1, dando suporte aos cálculos e a visualização das deformações e concentração de tensões.

Os modelos das chapas para o dimensionamento estão representados na (figura 1), com suas respectivas dimensões, para a fachada (2,80m x 1,50m) e para o pavimento (3,00m x 1,50m).

Figura 1: Painéis para dimensionamento com suas dimensões: fachada (A) e pavimento (B)



Para o cálculo da fachada às (eq. 1) e (eq. 2) foram aplicadas de acordo com as normas:

$$e_1 = \frac{Lx\sqrt{Pe}}{6,3} \times 0,625 \quad \text{eq. 1 (norma NF DTU 39/2006)}$$

$$e_1 = \frac{a \cdot b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot \sqrt{\frac{p_e}{2\sigma_{adm}}} \quad \text{eq. 2 (norma ABNT NBR 7199/1989)}$$

Onde:

$e_1$  – espessura, encontrado em (mm) para NF DTU 39/2006 e em (cm) para ABNT NBR 7199/1989;

$L$  – maior dimensão da chapa (m);

$Pe$  – pressão de cálculo, encontrado pela combinação da pressão de vento e peso próprio, de acordo com as normas ABNT NBR 7199/1989 e ABNT NBR 6123/1988 (Pa);

$a$  e  $b$  – dimensões da chapa (cm).

Para o cálculo da espessura do pavimento foi tomado como base na norma NF DTU 39/2006, com a (eq. 3). Não foi considerado a ABNT NBR 7199/1989, devido seu uso restrito apenas à fachadas tornando-a inviável para pavimentos.

$$e_1 = \frac{Lx\sqrt{Pe}}{6,3} \quad \text{eq. 3 (item 7.2.3 da norma NF DTU 39/2006)}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dimensionamento segue as normas ABNT NBR 7199/1989 e da NF DTU 39/2006.

(a) Dimensionamento da fachada de acordo com norma ABNT NBR 7199/1989:

Cálculo da espessura Vidro recozido:  $\sigma_{adm} = 13 \text{ Mpa}$  (norma ABNT NBR 7199/1989)

$$e_1 = \frac{150 \cdot 280}{\sqrt{150^2 + 280^2}} \cdot \sqrt{\frac{1664}{2 \times 13 \times 10^6}} = 1,06 \text{ cm} \rightarrow 10,6 \text{ mm} \rightarrow 12 \text{ mm}$$

- Pressão de cálculo ( $P_e$ ) = 1664 Pa (normas ABNT NBR 7199/1989 e NBR 6123/1988).

O vidro para a aplicação acima foi considerado o laminado composto por duas chapas de recozido normal com 6mm, com um total de 12mm de espessura.

(b) Dimensionamento da fachada de acordo com a NF DTU 39/2006:

$$\text{Cálculo da espessura } (e_1): e_1 = \frac{2,8 \times \sqrt{1664}}{6,3} \times 0,625 = 11,33 \text{ usar } 12 \text{ mm}$$

Verificação da resistência ( $e_R$ )

Não foi possível a utilização da espessura calculada acima de 12mm, pois na verificação seu valor foi inferior ao calculado, sendo então o valor da espessura aumentado para 16mm. Para este caso foi usado vidro laminado com duas chapas de 8mm, totalizando espessura total de 16mm.

$$e_R = \frac{e_i + e_j + \dots + e_n}{0,9 \times \varepsilon_2 \times (\max \varepsilon_3)} = \frac{8+8}{0,9 \times 1,3 \times 1} = 13,68 \text{ mm} \quad (\text{Para espessura igual a 16mm})$$

$$e_R \geq e_1 \times c_R \rightarrow 13,68 \text{ mm} \geq 12 \times 1 \rightarrow 13,68 \text{ mm} \geq 12 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Verificação e cálculo da flecha

$$f = \alpha \times \left( \frac{p_e}{1,5} \right) \times \frac{b^4}{e_F^3} = 2,1143 \times \left( \frac{1664}{1,5} \right) \times \frac{1,5^4}{12,31^3} = 6,37 \text{ mm} \leq 7,5 \text{ mm (OK)}$$

$\alpha = 2,1143$  e  $b = 1,5\text{m}$

$$e_F = \frac{e_i + e_j + \dots + e_n}{\varepsilon_2} = \frac{8+8}{1,3} = 12,31 \text{ mm}$$

Verificando flecha máxima através da recomendação de Dodd (2004):

$$f \leq \frac{l}{200} = \frac{1500}{200} = 7,5 \text{ mm}$$

Comparando nota-se uma semelhança de resultados entre as normas, nos dois casos os cálculos obtiveram resultado das espessuras próximos a 12 mm, tendo esse como resultado final. A diferença está na análise, na qual é feita uma verificação de resistência por parte da norma francesa, e assim a espessura teve que ser aumentada para 16mm. Além de verificar a flecha no centro do painel.

(c) Dimensionamento de pavimento pela norma NF DTU 39/2006:

$$\text{Cálculo da espessura: } e_1 = \frac{3 \times \sqrt{6000}}{6,3} = 36,88 \text{ mm, usar } 40 \text{ mm}$$

Verificação da resistência ( $e_R$ )

$$e_R = \frac{e_i + e_j + \dots + e_n}{0,9 \times \varepsilon_2 \times (\max \varepsilon_3)} = \frac{10 + 10 + 10 + 10}{0,9 \times 1,6 \times 0,61} = 45,54 \text{ mm} > 40 \text{ mm OK}$$

Verificação e cálculo da flecha

$$f = \alpha \times \left( \frac{p_s}{1,5} \right) \times \frac{b^4}{e_F^3} = 2,1143 \times \left( \frac{6000}{1,5} \right) \times \frac{1,5^4}{25^3} = 2,74 \text{ mm} \leq 7,5 \text{ mm (OK)}$$

$\alpha = 2,1143$  e  $b = 1,5\text{m}$

Verificação da flecha máxima através da norma alemã TRLV (2006):  $f \leq \frac{l}{200} = \frac{1500}{200} = 7,5 \text{ mm}$

A aplicação computacional, com modelagem, foi feita através do software Abaqus 6.14-1, usando as dimensões estabelecidas anteriormente junto com as espessuras calculadas.

Tabela 1: Deformações e tensões no painel

	Fachada	Pavimento
<b>Deformação</b>	6,75mm – No centro do painel 0,13mm – Nas bordas	2,87mm – No centro do painel. Não houve deformação nas bordas.
<b>Tensão</b>	42,9MPa – No centro do painel; 203MPa – No entorno do furo.	4,38MPa – No centro do painel; 15,1Mpa – Nas bordas do painel.

Observa-se que por meio do software detectou-se que as tensões que envolvem os furos próximos das vértices chega a ultrapassar os 200 MPa. O vidro temperado é capaz de suportar uma tensão máxima de acordo com a norma ABNT NBR 7199/1989 de 180 MPa, com variação de 20 MPa para mais ou para menos. Em todo caso a utilização do vidro dá-se por sua tensão admissível que é em torno de 60 MPa, tornando-se inviável a utilização dessa chapa.

## CONCLUSÕES

Para o processo de dimensionamento do vidro como estrutura, faz-se por meio de normas, hoje usual normas internacionais, pois a brasileira é desatualizada e restrita a fachadas, e como foi verificado não é tão eficaz. Uma análise computacional torna-se necessário, como observado no exemplo de fachada, mesmo estando conforme a norma francesa NF DTU 39/2006, não foi viável sua utilização, devido a grandes tensões provocadas entorno dos furos. Para uma melhor aplicação a análise laboratorial deve ser feita, passando por todos esses procedimentos o vidro poderá ser usado com segurança.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Nov. 1980.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações. Nov. 1988.
- DODD, G. Structural glass walls, floors and roofs, *Structural Engineering International*. 2. ed. Vol. 14. 2004. pp. 88-91.
- NF DTU 39-4 - Glass in Building - Glass and glazing work - Part 4: Memorandum for glass thickness calculation. 2006.
- SANCHES, José Maria C. P. de Noronha. Análise e dimensionamento de sistemas estruturais de vidro. Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
- TRLV - Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen. Technical rules for the use of glazing with linear supports. 2006.
- VALARINHO, Luís Guilherme da C. S. Construção em vidro estrutural: Comportamento estrutural de vigas mistas vidro-GFRP. Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa. 2010. 231f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).