

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GABRIEL LONDERO ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DOS
CUSTOS DOS VIDROS TEMPERADOS COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE
ALEGRETE/RS**

**Alegrete
2022**

GABRIEL LONDERO ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DOS
CUSTOS DOS VIDROS TEMPERADOS COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE
ALEGRETE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ederli Marangon

**Alegrete
2022**

GABRIEL LONDERO ALMEIDA

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DOS CUSTOS DOS VIDROS TEMPERADOS COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE ALEGRETE/RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. EDERLI MARANGON - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Me. MAURICIO SILVEIRA DOS SANTOS -

UNIPAMPA Enga. CAMILA VARGAS CARDOSO

- Membro externo

Assinado eletronicamente por **EDERLI MARANGON, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/08/2022, às 11:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAMILA VARGAS CARDOSO, Usuário Externo**, em 18/08/2022, às 12:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAURICIO SILVEIRA DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/08/2022, às 14:04, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0900935** e o código CRC **25740769**.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela proteção ao longo desta jornada.

Aos meus pais Dirceu e Joice, pelo amor e carinho incondicional, pelo exemplo de como ser uma pessoa melhor para com os outros e pela oportunidade de estudar e realizar o meu sonho.

A minha namorada Cássia, pelo amor, companheirismo, carinho e incentivo, sempre tentando estar ao meu lado ajudando-me.

À minha família, que com certeza foi a base para que eu pudesse estar aqui hoje, com a educação e confiança que sempre tive em toda minha vida.

Agradeço também a todos os meus amigos que perto ou longe sempre me ajudaram e que estão contentes com minha realização.

Aos meu orientador e amigo, professor Dr. Ederli Marangnon, pela dedicação, auxílio, orientações e amizade neste período de faculdade, por acreditar no meu potencial, auxiliando e me fazendo seguir em frente, pelas orientações de última hora e pelas leituras nos feriados e fins de semana.

A equipe do laboratório da engenharia civil por toda a ajuda nos ensaios, orientações e dicas ao longo do meu trabalho.

Aos meus amigos, Alexander Ian, Guilherme Lena, Guilherme Delgado e Rafael Assis pelo companheirismo, e ajuda nas cadeiras e trabalhos, quando parecia que não ia conseguir.

Agradeço também todos os professores que me auxiliaram nesta longa jornada, que me ensinaram não apenas a ser um engenheiro, mas principalmente a ser um melhor profissional.

RESUMO

O uso do vidro temperado como elemento estrutural é bastante recente, tal forma de utilização reúne muitas qualidades e receios ao mesmo tempo que precisam ser melhor estudados. Pela falta de ductilidade, o vidro temperado, é pouco utilizado de forma estrutural, por conta disso, esse trabalho buscou, através do embasamento teórico e ensaios mecânico e térmico, a avaliação da resistência à tração na flexão com seus deslocamentos, e a condutividade térmica do material, com os ensaios atendendo as prescrições normativas vigentes no Brasil. Os resultados mostraram que o vidro de 8 milímetros (mm) tem um regime elástico maior comparado com as outras espessuras estudadas, e com isso uma menor resistência. Já as placas de 10 mm apresentaram um menor deslocamento e a resistência mais elevada. E as placas de 12 mm de espessura apresentaram uma resistência cerca de duas vezes maior que as placas de 8 mm e seu deslocamento muito parecido com as placas de 10 mm. Nos ensaios de condutividade térmica os resultados obtidos sugerem que as amostras tinham composições um pouco diferentes, uma vez que a condutividade térmica do vidro não poderia mudar de acordo com a espessura. Por fim, essa pesquisa sugere que a utilização do vidro temperado de 10 mm é a opção com melhor relação custo-benefício para construção de quadras de padel que o mercado da cidade de Alegrete – RS oferece. Quanto as outras ocupações que visam somente a segurança e estética, que usualmente não sofrem impactos significativos, como: janelas, portas, vitrines, fachadas das construções, parapeitos de escadas e varandas, o vidro temperado de 8 mm pode ser a melhor escolha.

ABSTRACT

The use of tempered glass as a structural element is quite recent, this kind of use brings together many qualities and fears at the same time that they need to be better studied. Due to the lack of ductility, tempered glass is little used in a structural way, because of this, this work sought, through theoretical basis and mechanical and thermal tests, the evaluation of the tensile strength in bending with its displacements, and the thermal conductivity of the material, with the tests meeting the normative prescriptions in force in Brazil. The results showed that the 8 millimeters (mm) glass has a higher elastic regime compared to the other thicknesses studied, and therefore a lower resistance. On the other hand, the 10 mm plates presented a smaller displacement and the highest resistance. And the 12 mm thick plates showed a resistance about twice as high as the 8 mm plates and their displacement very similar to the 10 mm plates. In the thermal conductivity tests, the results obtained suggest that the samples had slightly different compositions, since the thermal conductivity of the glass could not change according to the thickness. Finally, this research suggests that the use of 10 mm tempered glass is the most cost-effective option for the construction of padel courts that the market in the city of Alegrete - RS offers. As for other occupations that aim only at safety and aesthetics, which usually do not suffer significant impacts, such as: windows, doors, shop windows, building facades, stair and balcony parapets, 8 mm tempered glass may be the best choice.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício com fachada de vidro em Guatemala	14
Figura 2 - Quadra de Padel de vidro	14
Figura 3 - Escala de Mohs.....	18
Figura 4 - Efeito do processo de temperamento do vidro.	21
Figura 5 - Exemplo de vidro comum e temperado quando levados a ruptura.	22
Figura 6 - Equipamento EMIC DL 2000.....	25
Figura 7 - Dimensões das amostras.....	26
Figura 8 - Esquema do ensaio.....	27
Figura 9 – Corpo de prova antes do ensaio posicionado no equipamento EMIC 2000.	28
Figura 10 – Exemplo de gráfico do comportamento da aplicação das cargas.....	29
Figura 11 – Aparelho LVDT sendo utilizado no ensaio de tração na flexão.	30
Figura 12 - Equipamento LaseComp FOX 304.....	31
Figura 13 – Gráfico geral da ruptura corpos de prova submetidos à tração na flexão.....	33
Figura 14 – Gráfico dos Resultados do Ensaio de Condutividade Térmica.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Densidade dos tipos de vidro	17
Tabela 2 - Dimensões dos corpos de prova do ensaio de condutividade térmica.	31
Tabela 3 – Resultados obtidos dos CPs de 8, 10 e 12 mm.	34
Tabela 4 – Resultados obtidos dos CPs de 8, 10 e 12 mm.	35
Tabela 5 – Desvios Padrão e Coeficientes de Variação.....	36
Tabela 6 – Orçamentos das placas de vidro temperado (2x3m).	38
Tabela 7 – Razão entre preço e resistência dos vidros estudados.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C - Antes de Cristo

CP - Corpo de Prova

CV - Coeficiente de Variação

DP - Desvio Padrão

LEMAC - Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção Civil

LVDT - Transdutores de Deslocamento Variável Linear

mm – Milímetros

MPa – Mega Pascals

NBR - Norma Brasileira

RS - Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 VIDROS	16
2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	17
2.2.1 DENSIDADE.....	17
2.2.2 DUREZA	17
2.2.3 RESISTENCIA À ABRASÃO	18
2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	18
2.3.1 ELASTICIDADE.....	18
2.3.2 RESISTENCIA À TRAÇÃO	18
2.3.4 RESISTENCIA À COMPRESSÃO.....	19
2.3.5 RESISTENCIA À FLEXÃO	19
2.3.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS.....	19
2.4 VIDRO TEMPERADO	20
2.5 DESEMPENHO TÉRMICO DOS VIDROS.....	22
2.5.1 CONDUTIVIDADE TÉRMICA	23
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	25
3.1.1 EQUIPAMENTO	25
3.1.2 DEFINIÇÃO DAS PLACAS DE VIDRO TEMPERADO	26
3.1.3 PROCEDIMENTOS	27
3.2 ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA	30
3.2.1 EQUIPAMENTO	30

3.2.2 AMOSTRAS	31
3.2.3 REALIZAÇÃO	31
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	32
4.1 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	33
4.2 ENSAIOS DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	37
4.3 CUSTO DOS VIDROS TEMPERADOS NA CIDADE DE ALEGRETE-RS	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O vidro foi descoberto a cerca de 5000 a.C, e está cada vez mais presente em nosso dia-a-dia tanto nas construções quanto em suas atribuições de uso. Há alguns anos, havia pouco aproveitamento do vidro, visto a falta de recursos e tecnologia limitada. Hoje ele pode ser moldado de várias formas, cores e características diferentes: geometria, dureza, resistência mecânica etc., sendo que esses avanços garantem grande diversidade de uso.

Na construção civil sua aplicação destina-se a oferecer adequada iluminação nos ambientes e multifuncionalidades: como transparência, isolamento térmico e acústico. De um modo geral, ele é muito usado em janelas, portas, vitrines, fachadas das construções, quadras esportivas, parapeitos de escadas e varandas etc. Seu uso concede um toque de sofisticação e beleza onde é empregado.

Conforme Torres (2015), mesmo sendo bastante utilizado nas construções, o uso do vidro de forma estrutural é recente. Tal material e função reúnem muitas qualidades aos olhos dos arquitetos, mas perante os olhos dos engenheiros é sinônimo de dúvidas e receios que precisam ser melhor estudados.

Por ser um material considerado frágil, o vidro quando submetido a grandes esforços de tração na flexão possui ruptura sem aviso prévio, preocupando os engenheiros projetistas. A falta de ductilidade é sinônimo de insegurança e fez com que por muito tempo ele não fosse utilizado de forma estrutural. Porém, com o avanço da tecnologia, processos de transformação do vidro foram criados, trazendo maiores níveis de segurança a composição dos vidros, como é o caso dos vidros temperados e laminados (BARROS, 2010).

O vidro temperado é considerado vidro de segurança porque depois que ele sofre o processo da têmpera, a sua resistência mecânica é elevada através da pré-tensão que ele sofre, e principalmente quando sujeito à ruptura, o vidro temperado se fragmenta em pequenas partículas de bordas não cortantes e geralmente sem pontas, minimizando o risco de ferimentos graves (TORRES, 2015).

É sabido que o vidro temperado tem sua resistência à tração na flexão aumentada em aproximadamente 5 vezes, comparada ao vidro comum. Esse acréscimo de resistência à tração foi um dos grandes motivos que levaram ao

aumento de sua utilização. Contudo a resistência à tração na flexão do vidro temperado está ligeiramente associada às suas dimensões. As placas de vidro são mais resistentes e rígidas quanto maior a sua espessura, porém esse acréscimo de espessura torna o seu custo e peso elevados.

Uma importante aplicação dos vidros temperados, e que cresceu muito no Brasil inteiro nos últimos 5 anos, foi na composição das novas quadras de Padel. Muitas dessas quadras de vidro estão sendo construídas com espessura mínima dos vidros temperados, que é de 10 milímetros, sem um estudo prévio ou critérios de norma para dar suporte as construções.

Em relação ao isolamento térmico e condutividade térmica, sabe-se que o vidro não possui propriedades adequadas. Mesmo assim, muitas obras estão sendo construídas com fachadas de vidro temperado, pela sua beleza e conceito moderno, mas sem levar em consideração o aquecimento causado por ser um material que não reflete as radiações ultravioleta e radiação infravermelho, as quais são fonte de calor e interferem nas condições climáticas internas do ambiente. Tais problemas já possuem algumas soluções, dentre elas, a utilização de uma camada de metal na parte exterior, e uma fina camada de prata na parte interna dos vidros é uma boa escolha, porém qualquer uma das duas soluções eleva significativamente o custo dos vidros.

Desse modo, o intuito deste trabalho será verificar as propriedades mecânicas e térmicas dos vidros temperados com variação da espessura através de ensaios pertinentes, visto que seu uso está diretamente associado a utilização em portas e janelas das construções, muros, fachadas e também as quadras esportivas de Padel, como é mostrado na Figura 1 e 2:

Figura 1 – Edifício com fachada de vidro em Guatemala



Fonte: <https://blog.brasilbrokers.com.br/2013/07/17/edificios-com-pele-de-vidro/>.

Figura 2 - Quadra de Padel de vidro



Fonte: <http://skypadel.com.br/>

1.1 OBJETIVO GERAL

Comparar com base em ensaios mecânicos e térmicos a influência da espessura dos vidros temperados na resistência mecânica e na condutividade térmica, e fazer uma análise dos custos desses produtos comercializados na cidade de Alegrete-RS.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a resistência à flexão de placas de vidro temperado de 8, 10 e 12 milímetros de espessuras.

- Determinar a condutividade térmica dos vidros temperados de acordo com as espessuras.

- Realizar um comparativo entre a resistência à tração na flexão com o custo das placas de vidro temperado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VIDROS

Para Barsa (2010), o vidro é uma substância inorgânica, que é obtida por resfriamento de uma massa em fusão, que por sua vez endurece pelo aumento contínuo de viscosidade, até atingir a condição de rigidez, sem sofrer cristalização. A partir desse processo, o vidro se torna uma substância amorfa e fisicamente homogênea, análoga ao estado líquido e, também possui uma viscosidade tão elevada que pode ser considerado rígido para fins práticos.

O vidro é utilizado desde a antiguidade e ainda nos dias atuais possui um grande espaço nas construções, o principal motivo é a sua transparência, onde a luz consegue passar através dele e também possibilita a comunicação entre os ambientes. Tal material já se transformou em símbolo de modernidade arquitetônica desde o século XIX, sendo considerado um material tecnológico, refinado e funcional. Devido à grande facilidade em ser cortado, lapidado e moldado, ele possui extrema versatilidade nas obras de construção civil (CASTRO, 2006).

No início do século XX, a redução da geometria dos elementos estruturais e sua separação dos elementos de vedação permitiram a utilização do vidro em superfícies cada vez maiores, até chegar às fachadas totalmente transparentes. Sua utilização proporciona transparência e integração visual dos espaços internos e externos, além de um efeito visual plástico adequado aos princípios da arquitetura moderna. Porém, essas vantagens eram acompanhadas da perda de qualidades anteriormente oferecidas pelas paredes maciças, como a inércia térmica e a proteção solar. Ao mesmo tempo, técnicas naturais e estruturais de controle ambiental foram esquecidas e substituídas pelas possibilidades de incorporação de outras técnicas de calefação e climatização (MARAGNO, 2001).

Os vidros mais comuns, como embalagens e garrafas, são basicamente formados por Sílica (SiO_2), Cálcio (Ca), Sódio (Na). Uma composição muito parecida com a crosta terrestre, talvez por isso, seja tão popular e duradoura (BARROS, 2010).

As suas características físicas são variadas, tais como: densidade, dureza, resistência a abrasão. E as suas características mecânicas são: elasticidade,

resistência à tração, resistência à compressão e resistência à flexão. Tais características são avaliadas a seguir e apresenta-se uma breve descrição das mesmas a serem estudadas nesse trabalho:

2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

2.2.1 DENSIDADE

A densidade dos vidros é controlada pelo volume livre da rede vítrea e pelas massas dos íons presentes. Geralmente, a adição de espécies que entram nos interstícios da rede vítrea tenderá a aumentar a densidade, reduzindo o volume livre (SHELBY, 2000).

A sua densidade varia de acordo com o tipo de vidro e sua utilização, de acordo com a Tabela 1, mas usualmente, para fins de cálculo, sua densidade adotada é de 2500 kg/m³.

Tabela 1- Densidade dos tipos de vidro

Tipos de vidro	kg/m ³
Vidro Ordinário	2560
Vidro para garrafas	2640
Vidro para óculos	2460
Cristal Ordinário	3330

Fonte: Adaptado de BARROS (2010)

2.2.2 DUREZA

De acordo com a Barros (2010), para determinar a dureza superficial, que é a resistência ao ser riscado por outro material, é utilizada a escala de Mohs. A dureza característica do vidro é de 6,5, ficando entre a Ortose (6) e o Quartzo (7), como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Escala de Mohs.



Fonte: Apostila de vidros (Barros, Carolina 2010).

2.2.3 RESISTENCIA À ABRASÃO

De acordo com Barros (2010), a resistência a abrasão do vidro é cerca de 16 vezes maior que a resistência do granito, tal característica influencia bastante na hora de escolher o material para elementos estruturais ou autoportantes.

2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

2.3.1 ELASTICIDADE

O vidro é um material perfeitamente elástico: nunca apresenta deformação plástica. No entanto é frágil, quando submetido a flexão constante se rompe sem aviso prévio. Seu módulo de elasticidade, segundo a NBR 7199, é de 75 ± 5 GPa. Para critério de comparação, o módulo de Elasticidade do concreto é aproximadamente 65 GPa.

Com base no Manual Técnico do Vidro Plano (2000), adota-se o valor de 0,22 para o Coeficiente de Poisson, que é a relação entre a deformação transversal relativa e a deformação longitudinal relativa.

2.3.2 RESISTENCIA À TRAÇÃO

Sua resistência à tração depende muito de fatores externos (Duração da carga aplicada, Humidade, Temperatura, Componentes, Fabricação) por isso, estima-se que ela varia de 30 a 70 MPa (BARROS, 2010).

2.3.4 RESISTENCIA À COMPRESSÃO

A resistência do vidro a compressão é muito elevada, está situada na ordem de 1000 MPa. Essa propriedade não é um fator limitante em termos de aplicação (MANUAL DO VIDRO, 2000).

2.3.5 RESISTENCIA À FLEXÃO

Devido a sua diferença de comportamento entre tração e compressão, sua resistência a ruptura por flexão está na ordem de 40 ± 5 MPa para um vidro recozido e polido. Para um vidro temperado, essa resistência tem um grande aumento, sendo elevado para ordem de 180 ± 20 MPa. Estes valores de resistência à flexão podem variar de acordo com a espessura, manufatura dos bordos e tipo de fabrico. Levando em conta os fatores de redução e segurança, tem a tensão admissível dos vidros reduzida para aproximadamente 13 ± 2 MPa para o recozido e 60 ± 4 MPa para o temperado. (NBR 7199, 1989).

2.3.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS

Segundo a NBR 7199:1989, as propriedades térmicas dos vidros são:
A variação de uma das dimensões de um material decorrente da variação de temperatura é conhecida por dilatação térmica. Nos vidros, esse coeficiente é expresso pela letra grega alpha (α):

- Coeficiente de dilatação linear entre 20°C e 220°C: $\alpha = 9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

Outra propriedade, é a condutibilidade térmica que é a capacidade que um certo material homogêneo tem de transferir calor através de seu corpo. É medida em quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura de área unitária desse material por unidade de diferença de temperatura entre as duas faces. Esse coeficiente é representado pela letra "K":

- Coeficiente de condutibilidade térmica a 20°C: $K = (0,8 \text{ a } 1) \text{ kcal/m.h}^\circ\text{C}$
(vidro incolor);

A quantidade de calor que é fornecida para que uma grama de substância tenha a sua temperatura elevada em 1°C é dada por calor específico. Cada substância possui um determinado valor de calor específico. Quanto maior for esse valor, maior será a quantidade de calor que deve ser colocada ou retirada para que haja variação de temperatura do material. Esse valor é expresso pela letra “c”:

- Calor específico entre 20°C e 100°C: $c = 0,19 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$;

2.4 VIDRO TEMPERADO

Nas últimas décadas a preocupação com a segurança das construções e principalmente de seus usuários tem crescido bastante, juntamente à necessidade de poupar recursos que vem se tornando cada vez mais presente no nosso dia a dia. Devido a isso, a necessidade de encontrar soluções que atendam esses requisitos de segurança e economia está cada vez maior.

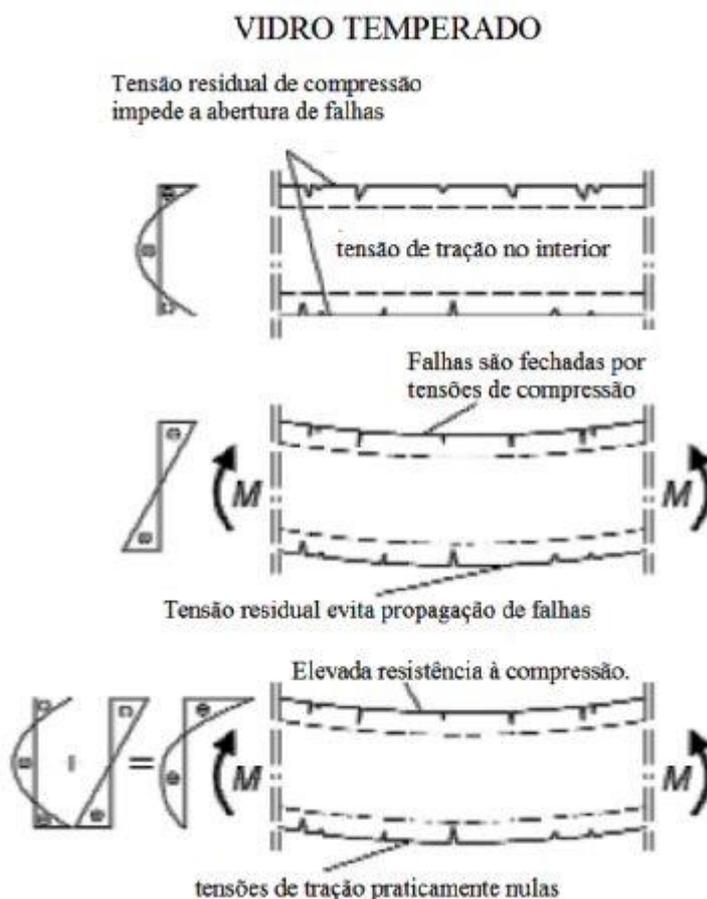
Um dos produtos que mais oferece segurança na construção civil é o vidro temperado, a sua alta resistência a impacto e temperatura oferecem essa segurança. Este tipo de vidro oferece uma ampla variedade de aplicações: portas e fachadas, box de banheiro, vitrines, tampo de mesa, quadras esportivas, entre outros (DIVINAL, 2017).

Vidro temperado: Vidro que foi submetido a um tratamento térmico, constituído num aquecimento seguido de um resfriamento rápido, o qual aumenta sua resistência mecânica e que, em caso de quebra, se fragmenta em pedaços pequenos sem bordas cortantes. Resiste temperaturas de trabalho de até 250 °C. (NBR NM 293, 2004, p.17).

Conforme a Barros (2010), o vidro temperado é conhecido por sua elevada resistência, cerca de 5 vezes mais que o vidro comum, devido a sua passagem pela têmpera que consiste em aquecer o material a uma certa temperatura e logo

depois resfriá-lo rapidamente. A têmpera no vidro produz um sistema de tensões que aumenta a resistência, induzindo tensões de compressão na superfície do vidro. Isso ocorre devido ao vidro ter uma boa resistência a compressão e pouca resistência a tração, como podemos ver na Figura 4:

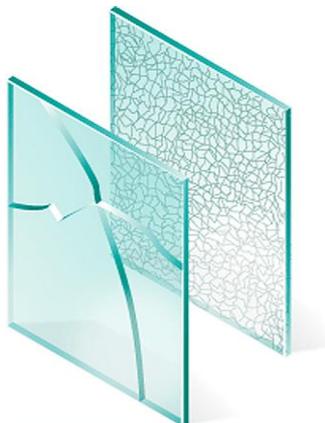
Figura 4 - Efeito do processo de temperamento do vidro.



Fonte: Adaptado de OVEREND, 2010 apud Torres, 2015

Concordante com Barros (2010), como a fratura do vidro temperado geralmente ocorre por um defeito na superfície, que provoca uma concentração de tensões, a pré-compressão da superfície permite uma resistência muito maior. Uma distribuição típica das tensões na espessura de uma peça de vidro temperado é quase que parabólica, sendo a compressão na parte externa compensada pela tração no interior. Na ruptura, toda chapa de vidro temperado se quebra em pequenos fragmentos sem arestas cortantes e lascas pontiagudas, devido a essas tensões induzidas no material, conforme mostra a Figura 5:

Figura 5 - Exemplo de vidro comum e temperado quando levados a ruptura.



Fonte: claccividros.com.br/produtos/vidros

O vidro temperado é indicado para locais que requerem resistência elevada, como boxes de chuveiro, porta de vidro, vitrine de lojas e quadras esportivas. Ele oferece segurança por evitar ferimentos graves quando levado a ruptura. (NBR 7199, 1989).

2.5 DESEMPENHO TÉRMICO DOS VIDROS

No início do século XX, a redução dimensional dos elementos estruturais e sua separação dos elementos de vedação permitiram a utilização do vidro em superfícies cada vez maiores, até chegar às fachadas totalmente transparentes. Sua utilização proporciona transparência e integração visual dos espaços internos e externos, além de um efeito plástico adequado aos princípios da arquitetura moderna. Porém, essas vantagens eram acompanhadas da perda de qualidades anteriormente oferecidas pelas paredes maciças, como a inércia térmica e a proteção solar. Ao mesmo tempo, técnicas naturais e estruturais de controle ambiental foram esquecidas e substituídas pelas possibilidades de incorporação de outras técnicas de calefação e climatização (MARAGNO, 2001).

Conforme a Rivero (1986), os fechamentos transparentes são um ponto fraco da envoltória de um edifício, apresentando uma série de inconvenientes: possuem elevada transmitância, obrigando a aumentar o dimensionamento dos equipamentos condicionadores de ar para verão e inverno, e incrementando as despesas de instalação e funcionamento.

O vidro é um material mal condutor de calor, isto é, se por exemplo em um dos lados de uma vidraça se aquece, a face do vidro deste lado esquenta, porém, o calor leva um certo tempo até atravessar a espessura e aquecer a outra face, pois o vidro oferece resistência à passagem do calor. (AKERMAN, 2000, p.29).

Segundo Akerman (2000), quando o vidro se dilata ao ser aquecido a sua resistência ao choque térmico diminui de maneira inversamente proporcional a dilatação térmica. Isto é, quanto mais aquecido o vidro for, menor a sua resistência ao choque térmico.

O embasamento teórico da condutividade térmica foi baseado na norma brasileira de desempenho térmico NBR 15.220 (ABNT, 2005) e em alguns estudos que se assemelham ao trabalho realizado.

2.5.1 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Conforme a NBR 15.220 (ABNT, 2005) a condutividade térmica é uma característica específica de cada material, ela quantifica a capacidade que o material possui de conduzir calor através de sua estrutura. Materiais de alta condutividade térmica conduzem o calor de forma mais rápida que os materiais de baixa condutividade térmica. Dessa forma, materiais com alta condutividade térmica são usados para dissipar calor enquanto os materiais com baixa condutividade térmica são utilizados para isolamento térmico.

A condutividade térmica é uma propriedade intrínseca do material, não varia de acordo com o meio e/ou condições em que se encontra. A NBR 15.220 (ABNT, 2005) define a condutividade térmica como uma propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, onde tem-se um fluxo de calor constante quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme. Sua unidade é expressa em Watt/ (Metro x Kelvin ($W/(m.K)$)) e o símbolo utilizado para identificação é a letra grega lambda (λ). Para os vidros comuns, a norma NBR 15.220: 2003 define o valor da condutividade térmica (λ) = 1 $W/(m.K)$.

A entrada de radiação solar nas construções pelos vidros é rapidamente transformada em calor dentro do ambiente, acontecendo de forma contrária a transferência térmica das paredes. O efeito térmico de aquecimento excessivo que acontece devido à entrada de radiação solar pelas superfícies transparentes é chamado de *efeito estufa*. CASTRO (2006).

Dessa forma, os vidros funcionam como “armadilhas” para o calor, proporcionando um superaquecimento do ambiente interno. Em países de climas frios essa técnica é muito útil para captar e conservar a energia solar durante o dia e aproveitá-la à noite. (CASTRO, 2006, p. 40.).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas as características geométricas dos vidros utilizados na pesquisa e os procedimentos adotados para realização dos ensaios. O trabalho é dividido em ensaios de resistência à tração na flexão, ensaios de condutividade térmica e os custos das placas de vidro.

3.1 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

3.1.1 EQUIPAMENTO

Seguindo a norma NBR 12067 (ABNT, 2017), o equipamento que foi utilizado atende as suas recomendações que é o “EMIC DL 2000 – Máquina de Ensaio universais Eletromecânica” disponível no Laboratório LEMAC (Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção Civil) da UNIPAMPA, mostrada na Figura 6:

Figura 6 - Equipamento EMIC DL 2000.



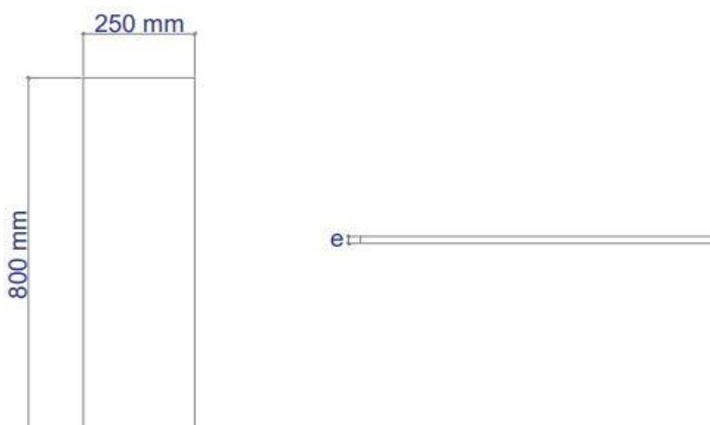
Fonte: Elaboração própria.

3.1.2 DEFINIÇÃO DAS PLACAS DE VIDRO TEMPERADO

Conforme a Figura 7, para a execução dos ensaios foram seguidas as instruções da norma NBR 12067 (ABNT, 2017) que recomenda as dimensões de comprimento e largura das placas de vidro a serem utilizadas, sendo estas:

- a) Comprimento (L) = 800 mm \pm 5 mm;
- b) Largura (b) = 250 \pm 2 mm;

Figura 7 - Dimensões das amostras.



Fonte: Elaboração própria.

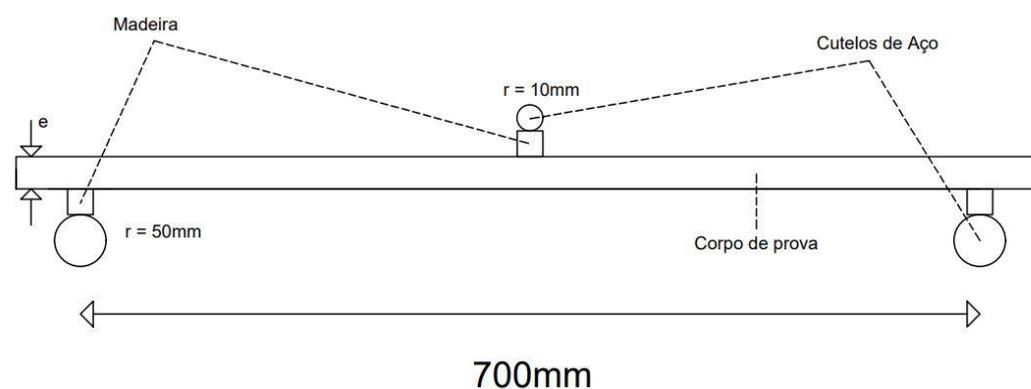
As espessuras escolhidas foram as mesmas que são utilizadas atualmente em janelas, vitrines e nas quadras de padel: 8, 10 e 12 milímetros (mm). A espessura de 14 milímetros estava no projeto para ser estudada, mas não estava disponível na cidade de Alegrete. Foram adquiridos três corpos de prova de dimensões de 80 centímetros por 25 centímetros para cada uma das espessuras mencionadas anteriormente.

3.1.3 PROCEDIMENTOS

A realização do ensaio seguiu os itens da NBR 12067 (ABNT, 2017) que tem como objetivo determinar a Resistência de Tração à Flexão das amostras de vidro temperado. O ensaio seguiu o seguinte esquema conforme mostrado na Figura 8:

Figura 8 - Esquema do ensaio.

a) Perfil do esquema do ensaio.



b) Vista superior do modelo do corpo de prova com marcação no centro da peça.



Fonte: Adaptado de NBR 12067 (ABNT, 2017).

A NBR 12067:2017 (ABNT, 2017) não estabelece as dimensões necessárias e nem o material que deve ser utilizado como amortecedor entre os cutelos de apoio e aplicação de carga com a placa de vidro ensaiada, somente indica que deverá ser utilizado um material flexível. Com isso, a madeira que foi utilizada é classificada como dicotiledônea de nome científico “Dipteryx Odorata”, cujo nome popular é “Cumaru” e apresenta densidade aparente de 1090 Kg/m³, resistência à compressão e módulo de elasticidade paralela as fibras de 94,2 MPa e 19306 MPa, respectivamente (ITF, 2013).

É mostrado na Figura 9 o corpo de prova posicionado e pronto para o ensaio sobre a prensa do equipamento EMIC 2000. O posicionamento dos apoios e a madeira utilizada como material flexível amortecedor entre a amostra e os cutelos de aço também fica evidente.

Figura 9 – Corpo de prova antes do ensaio posicionado no equipamento EMIC 2000.



Fonte: Elaboração própria.

A resistência à tração na flexão do vidro (f_t, f_l) é calculada através da Equação 1:

$$f_t, f_l = \frac{3 * Pr * Li}{2 * b * e^2} \quad \text{Equação(1)}$$

Onde:

Pr é a carga de ruptura, expressa em Newtons (N);

Li é a distância entre os eixos dos apoios inferiores, expressa em milímetros (mm);

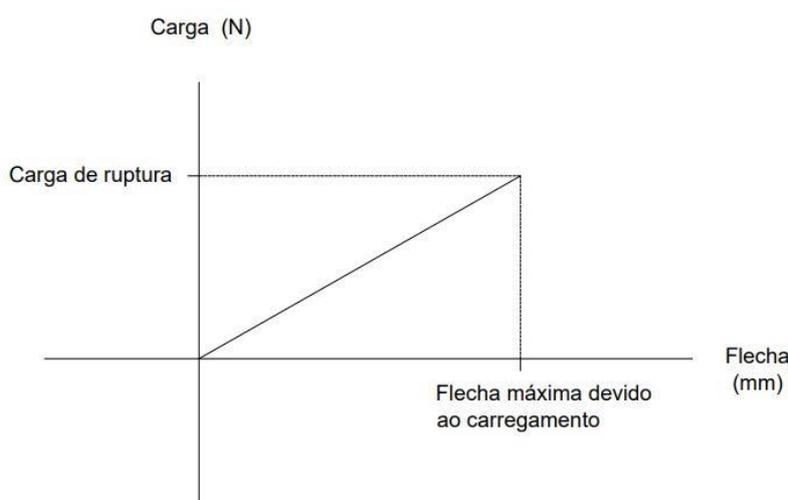
“e” é a espessura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

b é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

f_t, f_l é a resistência à tração na flexão, expressa em Mega Pascais (MPa).

Como recomenda a norma NBR 12067 (ABNT, 2017), um gráfico foi plotado com a flecha no eixo das abcissas e a carga no eixo das ordenadas. Com o auxílio deste gráfico, deve-se determinar a flecha máxima devido ao carregamento, no momento da ruptura, como mostra o exemplo na Figura 10:

Figura 10 – Exemplo de gráfico do comportamento da aplicação das cargas.



Fonte: Adaptado de NBR 12067.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 12067 (ABNT, 2017), onde três corpos de prova de cada espessura (08, 10, 12 milímetros) foram testados no equipamento EMIC DL20000. Para a obtenção dos deslocamentos foram utilizados Transdutores de Deslocamento Variável Linear (LVDTs), com mostrado na Figura 11:

Figura 11 – Aparelho LVDT sendo utilizado no ensaio de tração na flexão.



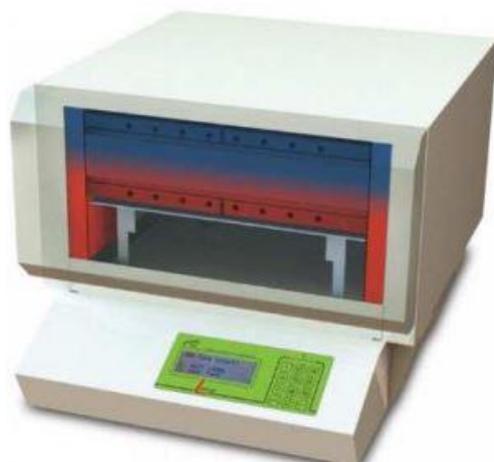
Fonte: Elaboração própria.

3.2 ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA

3.2.1 EQUIPAMENTO

Para o ensaio de condutividade térmica foi utilizado o equipamento, Figura 12, LaserComp modelo FOX 304, presente no laboratório de engenharia civil, cujo a precisão de temperatura é de $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ e a condutividade térmica absoluta tem precisão de $\pm 2\%$.

Figura 112 - Equipamento LaseComp FOX 304.



Fonte: TA INSTRUMENTS, 2021

3.2.2 CORPOS DE PROVA

Seguindo as recomendações de uso do equipamento, os corpos de prova (CP) utilizados possuíam dimensões apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Dimensões dos corpos de prova do ensaio de condutividade térmica.

	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
CP 1	25	25	0,8
CP 2	25	25	1,0
CP 3	25	25	1,2

Fonte: Elaboração própria

3.2.3 REALIZAÇÃO

As amostras foram colocadas no equipamento, uma por vez, e um gradiente de temperatura de 10°C à 35°C foi programado. Para encontrar o valor da condutividade térmica do vidro temperado em estudo, foi utilizada a seguinte Equação 2 :

$$\lambda = \frac{Q * L}{A * \Delta T} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

λ – Coeficiente de Condutividade térmica (W/(m.K))

Q - Quantidade de calor (W)

L – Espessura da amostra (m)

A – Área de contato da amostra (m²)

ΔT – Diferença de temperatura (K)

Com o aparelho LaserComp FOX 304 foi realizado as leituras com dez pontos de cada amostra, um corpo de prova de cada espessura, e a média de condutividade térmica foi calculada através dessas leituras.

3.3 CUSTO DOS VIDROS TEMPERADOS NA CIDADE DE ALEGRETE-RS

A avaliação dos preços dos vidros temperados de Alegrete foi feita através de orçamentos de quatro empresas da cidade. Para a ocasião foi pedido o valor das placas de vidro temperado de 8, 10 e 12 milímetros de dimensões 3 metros por 2 metros (6 metros quadrados), retirados na empresa, sem furos e sem instalação, visto que os valores sofrem interferência de acordo com entregas, instalação e furação. Nem todas as empresas comercializam a espessura de 12 mm.

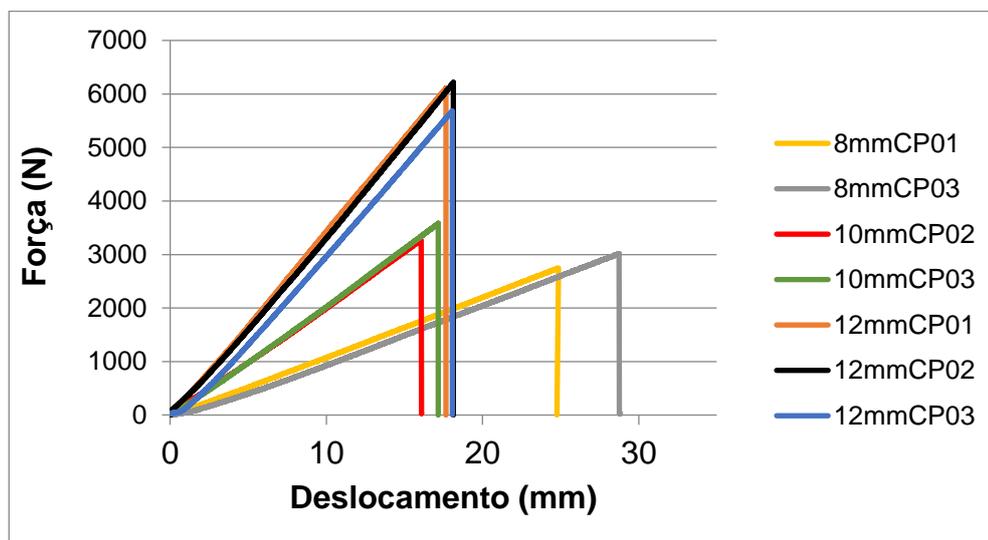
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção estão apresentados e analisados os resultados obtidos na pesquisa sobre a resistência mecânica à tração na flexão e condutividade térmica das três espessuras de vidro.

4.1 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados obtidos no ensaio foram analisados a partir de gráficos plotados, como é mostrado na Figura 13 sem os corpos de prova 8mmCP02 e 10mmCP01 uma vez que seus dados sofreram avarias.

Figura 12 – Gráfico geral da ruptura corpos de prova submetidos à tração na flexão.



Fonte: Elaboração própria

Analisando o gráfico percebe-se claramente um aumento de rigidez nos corpos de prova com o aumento da espessura, bem como o aumento de resistência e do decréscimo de deslocamento. Como o módulo de elasticidade do material teoricamente não varia, tais resultados se devem ao aumento da espessura dos corpos de prova (CP) o que leva ao aumento da inércia da seção transversal.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos CPs de 8, 10 e 12 milímetros.

Tabela 3 – Resultados obtidos dos CPs de 8, 10 e 12 mm.

e (mm)	CP	P (N)	Desl Max (mm)	Ft,Fl(MPa)	Média		
					P (N)	Desl (mm)	Ft,Fl (Mpa)
8	1	2741,4	27,19	179,90	2558,23	24,10	167,74
	2*	1913,6	16,30	125,58			
	3	3019,7	28,82	197,72			
10	1*	2741,4	27,19	115,14	3198,33	20,15	134,33
	2	3270,7	16,10	137,37			
	3	3582,9	17,16	150,48			
12	1	6114	17,66	178,13	6005,40	17,95	175,09
	2	6215,7	18,13	181,29			
	3	5686,5	18,07	165,86			

* - Possíveis Erros de execução dos ensaios.

Fonte – Elaboração própria.

Antes de ser analisado o quadro resumo apresentado, repara-se nos dados que contém os sinais de “ * “. No CP02 de 8 mm, onde está localizado o primeiro sinal, acredita-se que tenha ocorrido algum problema ou erro na execução do ensaio e/ou alguma possível perda de dados, pois seus dados estão muito abaixo da média encontrada com todos os valores, como fica evidenciado especificamente com os dados na Tabela 3. Os dados do CP01 de 10 mm também foi motivo de atenção pela diferença dos valores obtidos nos outros corpos de prova, sendo muito abaixo da média, pois seus dados estão iguais aos CP01 de 8 mm, algo que não poderia ser possível pois dois corpos de prova de diferentes espessuras não poderiam se comportar de maneira idêntica nos ensaios de ruptura. Algum erro no programa, ou de operação foi ocorrido no momento de salvar. Então serão analisados os resultados dos ensaios sem considerar os CP02 de 8 mm e CP01 de 10 mm, como é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados obtidos dos CPs de 8, 10 e 12 mm.

e (mm)	CP	P (N)	Desl Max (mm)	Ft,Fl(MPa)	Média		
					P (N)	Desl (mm)	Ft,Fl (Mpa)
8	1	2741,4	24,86	179,90	2880,55	26,84	188,81
	2*						
	3	3019,7	28,82	197,72			
10	1*				3426,80	16,63	143,93
	2	3270,7	16,10	137,37			
	3	3582,9	17,16	150,48			
12	1	6114	17,66	178,13	6005,40	17,95	175,09
	2	6215,7	18,13	181,29			
	3	5686,5	18,07	165,86			

Fonte: Elaboração própria

Os CPs com 8 milímetros (mm) de espessura apresentaram maior deslocamento com uma média de 26,84 mm, e sua carga de ruptura (P) do CP mais resistente chegou a 3019,7 Newtons (N) com uma média de 2880,55 N. Os CPs com 10 mm de espessura tiveram o seu deslocamento médio de 16,63 mm, sendo o menor dentre as espessuras analisadas, e o P médio de 3426,80N. Ao observar os dados obtidos para os vidros de 12 mm é notado um comportamento bastante homogêneo, com um P médio de 6005,4 N, o maior entre vidros analisados, e deslocamento médio de 17,95 mm. Os dados de P médio foram aumentando de acordo com as espessuras, um acréscimo significativo de quase 20% foi evidenciado entre as amostras de 8mm e 10mm, já o aumento de P médio de 10 mm para 12 mm foi de 75%. Já o aumento do P médio dos CPs de 8mm para 12mm foi de 108%. Os dados obtidos nos Desl Médio sugerem que os CP de 10 mm tiveram um processo de fabricação diferente dos CP de 12 mm, pois era esperado, segundo a literatura, que os deslocamentos das amostras de 12 mm fossem menores que as amostras de 10 mm.

Com os resultados obtidos no ensaio de ruptura dos corpos de prova, foi feita uma média dos P_r e depois utilizada a Equação (1) para encontrar a resistência à tração na flexão (ft, fl). Os CP com 8 mm de espessura obtiveram um ft, fl médio de 188,81 MPa. No que tange aos vidros com 10 mm de espessura a média obtida através dos ensaios foi de 143,93 MPa. Por fim, os

vidros analisados com espessura de 12 mm obtiveram o resultado médio de resistência a flexão de 175,09 MPa. Era esperado que todos os resultados de tensão de tração na flexão ficassem na ordem de 180 ± 20 MPa, conforme a NBR 7199 (ABNT, 1989) indica.

Para ajudar na análise dos resultados, foi optado em calcular o Desvio Padrão (DP) e o Coeficiente de Variação (CV), Equação 3 e Equação 4 respectivamente, dos resultados das amostras. O Desvio padrão é uma medida que expressa o grau de variação de um conjunto de dados ou amostras, ou seja, o quanto o conjunto de dados é uniforme. O Coeficiente de Variação é o DP expresso como uma porcentagem média.

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - Ma)^2}{n}} \quad \text{Equação (3)}$$

$$CV = 100. (DP / Ma) (\%) \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo:

Σ : Símbolo do somatório;

X_i : valor da posição i no conjunto de dados;

Ma : média aritmética dos dados;

n : quantidade de dados;

DP: desvio padrão.

Tabela 5 – Desvios Padrão e Coeficientes de Variação

e (mm)	P		Desl Max		Ft,fl	
	DP	CV (%)	DP	CV (%)	DP	CV (%)
8	196,79	6,83	2,80	10,45	12,60	6,67
10	220,76	6,44	0,75	4,51	9,27	6,44
12	280,82	4,68	0,25	1,41	8,15	4,66

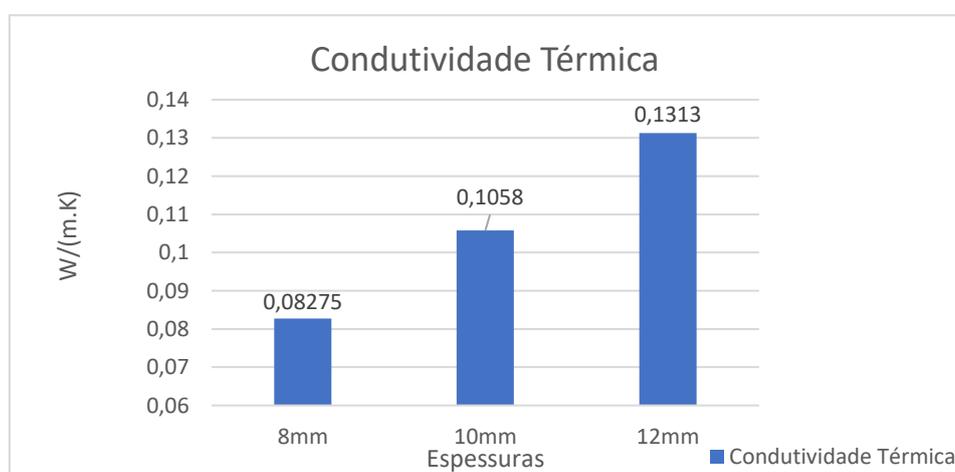
Fonte: Elaboração própria

Os desvios padrão foram usados para calcular os coeficientes de variação, onde todos obtiveram variações menores que 15%, o que pode ser caracterizado como baixa dispersão dos dados.

4.2 ENSAIOS DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Nesta seção estão apresentados os resultados obtidos na pesquisa sobre a condutividade térmica das três espessuras de vidro. Como é apresentado na Figura 14, o coeficiente de condutividade térmica aumentou gradativamente conforme a espessura das placas de vidro temperado.

Figura 13 – Gráfico dos Resultados do Ensaio de Condutividade Térmica.



Fonte – Elaboração própria.

Era esperado que os resultados se mantivessem os mesmos, pois o coeficiente de Condutividade Térmica, teoricamente, não sofre interferência da espessura do material, e sim do tipo de material (NBR 15.220: 2003).

Oteve-se um resultado muito positivo na comparação entre os ensaios dos vidros temperados com os valores encontrados na literatura para vidro comum presentes na NBR 15.220 (ABNT, 2003). Os resultados encontrados nos vidros temperados são cerca de 90% menores que os dados dos vidros comuns, sugerindo que o vidro temperado tem um baixíssimo valor de condutividade térmica, assemelhando-se com o da madeira ($0,12 W/(m.k)$) (MORESCHI, 2005).

4.3 CUSTOS DOS VIDROS TEMPERADOS NA CIDADE DE ALEGRETE/RS

Os custos dos vidros temperados na cidade de Alegrete/RS estão expressos na Tabela 6:

Tabela 6 – Orçamentos das placas de vidro temperado (2x3m).

Dimensões	Empresa/ Espessura	8 mm	10 mm	12 mm
3x2m	A	R\$ 1.700,00	R\$ 2.080,00	R\$ 8.400,00
	B	R\$ 2.215,00	R\$ 2.860,00	R\$ 8.236,00
	C	R\$ 1.890,00	R\$ 2.590,00	-
	D	R\$ 1.474,00	R\$ 1.921,00	-
	Média	R\$ 1.819,75	R\$ 2.362,75	R\$ 8.318,00

Fonte: Elaboração própria.

O comparativo de valores versus a resistência à flexão dos vidros foi apresentado na Tabela 7:

Tabela 7 – Razão entre preço e resistência dos vidros estudados.

Espessura (mm)	Média		Comparativo
	Valor (R\$)	P (N)	R\$/N
8	R\$ 1.819,75	2880,55	0,63
10	R\$ 2.362,75	3426,80	0,69
12	R\$ 8.318,00	6005,40	1,39

Fonte: Elaboração própria.

Os dados obtidos na parte dos Comparativos mostram acréscimo nos valores com o aumento da espessura. No entanto se comparados os valores de Reais por Newton (R\$/N) das espessuras de 10 mm com os de 8 mm é possível observar um aumento de apenas 10%, e ao comparar os valores de Força (P) percebe-se um aumento de aproximadamente 20%. Se comparados os valores de 12 mm com os de 10 mm, teremos 201% de aumento nos valores de R\$/N e 175% no valor de P. Os valores da comparação de 12 com os de 8 mm de espessura são muito desproporcionais nas resistências, ficaram cerca de 457% maior e nos valores em R\$/N chegando quase em 220%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa buscou-se avaliar o desempenho à tração na flexão e condutividade térmica dos vidros temperados de espessura 8, 10 e 12 mm comercializados na cidade de Alegrete-RS. Para esta avaliação foi realizado o ensaio de resistência à tração na flexão e de condutividade térmica no Laboratório de Engenharia Civil. Após os ensaios serem feitos, foi realizado o comparativo de resistência à tração e custo em reais das placas de vidro temperado.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os vidros temperados de 8 mm têm um regime elástico maior comparado com as outras espessuras estudadas. As placas de vidro de 10 mm tiveram os deslocamentos menores que as placas de 8 mm e a resistência mais alta evidenciando menor ductilidade. Os vidros estudados de 12 mm de espessura apresentaram um grande acréscimo na resistência à tração, cerca de 2 vezes maior se comparado com os vidros de espessura de 8 mm, mas por outro lado, seu deslocamento foi bem menor assemelhando-se com o comportamento do vidro de 10 mm, sendo este da ordem de 17,95 mm.

Em relação aos resultados dos ensaios de condutividade térmica, conclui-se que os vidros estudados apresentam propriedades diferentes, pois os resultados obtidos, teoricamente, não poderiam variar conforme sua espessura, uma vez que a condutividade térmica é uma propriedade intrínseca do material. Tais resultados sugerem alguma pequena diferença na produção do material, que pode estar associada a temperatura de queima e ao processo de resfriamento, uma vez que a diferença dos resultados também tenha sido pequena.

Já nos resultados dos comparativos de valores de mercado, foi levado em consideração que quanto menor for o deslocamento melhor para estrutura de uma quadra de padel e que o valor do Custo/ Newton aumenta em menos de 10% entre os vidros de 8 mm e 10 mm de espessura, o vidro de 10 mm de espessura seria o com melhor custo versus benefício dentre os materiais disponíveis. Mas também temos a opção de 8 mm que é a mais econômica por seu custo ser menor e o vidro de 12 mm, é com certeza, a opção com mais benefícios que possui hoje no mercado de Alegrete-RS. Para ocupações que visam somente a segurança e estética do vidro temperado e que não sofrem impactos significativos

usualmente, como portas e janelas das construções, muros, fachadas, o vidro de 8 mm pode ser a melhor escolha.

5.1 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

Ao findar essa pesquisa, alguns questionamentos surgiram, a fim de comprovar e tornar mais abrangente este estudo, aperfeiçoando e melhorando a compreensão sobre o tema da pesquisa, assim se sugerem os seguintes questionamentos para pesquisas futuras:

- a) Reavaliar as amostras com mais corpos de prova;
- b) Realizar um estudo com a espessura de 14 mm;
- c) Avaliar a resistência à tração na flexão com vidros com furos (para fixação).

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 293 – **Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios a sua aplicação**. Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7199 – **Projeto, execução e aplicação de vidros na construção civil**. Rio de Janeiro, 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12067 – **Vidro plano – Determinação da resistência à tração na flexão**. Rio de Janeiro, 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220 – **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

AKERMAN, Mauro. **Natureza Estrutura e Propriedades do Vidro**. CETEV (Centro Técnico de Elaboração do Vidro), 2000.

BARROS, Carolina. **Apostila de Vidros – Materiais de Construção – Edificações**. Pelotas, 2010.

CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva. **Desempenho Térmico de Vidros Utilizados na Construção Civil: Estudo em Célula-Teste**. Campinas, 2006.

ENCICLOPÉDIA BARSA UNIVERSAL. 3.ed. São Paulo: Barsa Planeta Internacional, 2010. 18v.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Catálogo de Madeiras Brasileiras para a construção civil**. São Paulo, 2013.

MARAGNO, G.V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS**. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Pedro, 2001.

Manual técnico do vidro plano para edificações. Organizador / Fernando Simon Westphal – São Paulo : Abividro, 2016.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª ed. Porto Alegre: DC Luzzato/UFRGS, 1986.

SHELBY, J. E. ; Lacourse, W. C. ; Clare, A. G. **Ceramics and Glasses**. Nova York, 2000.

TORRES, L. M. O. **Estudo de caso de projeto com utilização de vidro estrutural**. Florianópolis, 2015.

UFPR - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA FLORESTAL DA.
Propriedades da Madeira. 4ª ed. Curitiba, 2012.