



## **APLICAÇÃO DOS MATERIAIS VÍTREOS COMO MARCAS DE COMBUSTÃO**

**Américo Blasi Frison**

*Cadete do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Perito em Incêndio e Explosão.  
Graduado em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina.  
Email: frison@cbm.sc.gov.br*

**Markus Vinicius Silveira**

*1º Ten do Corpo de Bombeiro Militar de Santa Catarina. Perito em Incêndio e Explosão.  
Graduado em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina.  
Email: vinicius.s@cbm.sc.gov.br*

### **RESUMO**

Tendo em vista que os vidros estão presentes na maioria dos incêndios, pesquisa-se sobre a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), a fim de possibilitar ao perito ou inspetor, características necessárias para elucidação do incêndio, tratando o vidro como uma marca de combustão. Para tanto, é necessário definir o que é um material vítreo, temperatura de transição vítrea e identificar os vidros mais utilizados. Realiza-se, então, uma pesquisa bibliográfica. Diante disso, verifica-se que os vidros mais usuais são: comum, laminado e temperado. Cada um possui uma temperatura de transição vítrea, porém, são próximas, o que dificulta a sua utilização como marca de combustão.

**Palavras-chave:** Vidro, Materiais Vítreos, Temperatura de Transição Vítrea, Marca de Combustão.

### **ABSTRACT**

Bearing in mind that glass is present in most fires, research is done on the transition glass temperature ( $T_g$ ), in order to provide the expert or inspector with the necessary characteristics to elucidate the fire, treating the glass as a combustion mark. Therefore, it is necessary to define what is a glassy material, transition glass temperature and identify the most used glasses. A bibliographic search is then carried out. Therefore, verify that the most common glasses are: common, laminated and tempered. Each one has a transition glass temperature, however, they are close, making it difficult to use as a combustion mark.

**Keywords:** Glass, Glassy Materials, Transition Glass Temperature, Combustion Mark.

## **1 INTRODUÇÃO**

Os materiais vítreos são utilizados em diversos contextos, desde elementos decorativos a um elemento estrutural. Material vítreo é a designação dada aos materiais sólidos cuja estrutura é amorfa, isto é, não tem a ordenação espacial das partículas constituintes que caracteriza um cristal. São por vezes designados por vidros, embora na sua maioria sejam opacos e não se assemelham aos vidros normais utilizados em janelas ou em louças. Possuem diversas formas de composição, porém, há uma característica que os definem, a temperatura de transição vítrea.

Todo material possui uma temperatura de fusão característica, ou seja, acima de sua temperatura de fusão o material estará no seu estado líquido e abaixo estará no estado sólido. A transição vítrea é a transição reversível em materiais amorfos (ou em regiões amorfas de materiais semi-cristalinos) entre



um estado sólido e relativamente rígido e um estado líquido e borrachoso. Um sólido amorfo (vidro) que exibe uma transição vítrea é dito vítreo.

Em se tratando das perícias realizadas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), é esta característica que poderá auxiliar o perito na identificação e elucidação sobre o comportamento do fogo e quais temperaturas o incêndio atingiu. Atualmente existem diversos tipos de vidros, dentre eles os temperados, laminados e comuns. Alguns são utilizados como elementos estruturantes e podem sofrer com as elevadas temperaturas ocasionadas nos incêndios. De modo geral, os vidros apresentam padrões de queima que os caracterizam como amolecimento, torção e até depósitos que identificam o correto ambiente de onde as fuligens/depósitos surgiram.

Portanto, a análise dessas características poderá auxiliar o investigador do CBMSC na elucidação dos casos de incêndio, na descoberta de uma possível zona de origem ou até mesmo o foco inicial. A ausência de estudos direcionados para os resultados que esses comportamentos do fogo sobre os materiais vítreos fortalece a análise desse material, que tem extrema importância pois pode ser usado até sob forma estrutural, sendo responsável pela sustentação de determinadas partes de um edifício. Atualmente não há uma pesquisa que direciona os estudos referente ao trabalho proposto, porém, há artigos e bibliografia que auxiliarão na compilação do trabalho. A utilização destas referências contribuiu para atingir o objetivo do trabalho proposto. Além disso, o artigo tem como razão a análise do comportamento dos vidros expostos a elevadas temperaturas, identificando as temperaturas críticas que ocorrem determinados fenômenos e também as temperaturas que esses materiais se fundem, auxiliando assim, o crescimento do banco de dados da pessoa responsável por analisar o pós incêndio. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento dos materiais vítreos em elevadas temperaturas e utilizá-lo na identificação de combustão.

## **2 COMPORTAMENTO DOS VIDROS EM ELEVADAS TEMPERATURAS**

### **2.1 MÉTODO DE COLETA DE DADOS**

Neste trabalho é utilizada uma pesquisa bibliográfica para obtenção dos dados e conceitos vigentes e pode ser classificada como exploratória, visando obter maior familiaridade e conhecimento com o assunto em destaque. O método utilizado é o científico dedutivo, que de acordo com o entendimento clássico, é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular, “Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.” (GIL, 2008, p. 9).

Para atingir o objetivo deste estudo, serão coletadas informações e análise de estudos relacionados ao assunto proposto, a fim de elucidar e enfatizar a importância do conhecimento sobre o comportamento dos materiais vítreos em elevadas temperaturas. A coleta de dados se dará através de artigos, monografias, pesquisas científicas e bibliografias a respeito do tema, podendo assim estruturar informações e extrair as que complementam o artigo em questão. Essas informações abarcarão o que é o material vítreo, quais as



temperaturas de transição vítrea e temperatura de fusão, os diferentes tipos de vidros utilizados e a ação do calor em suas propriedades.

Será dada ênfase nas informações contidas nas seguintes literaturas: *Ciência e Engenharia de Materiais – Uma introdução* (2008), *Behavior of Glass at Elevated Temperatures* (1992), Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2018) e do Estado de Goiás (2017) e *Behaviour of structural glass at high temperatures* (2016).

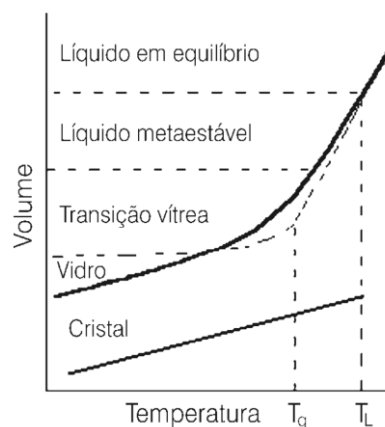
Posteriormente à coleta de informações, será realizada uma filtragem, elencando os pontos principais que servem de argumentos, iniciando o trabalho com a descrição do tipo de material analisado, caracterizando-o. Em seguida, será abordada a definição de marca de combustão, a fim de que seja possível a avaliação da utilização dos materiais estudados como caracterização de marca de combustão.

## 2.2 MATERIAIS VÍTREOS

De acordo com Callister (2000), os vidros são um grupo familiar de materiais cerâmicos como recipientes, janelas, lentes etc. Eles constituem em silicatos não-cristalinos que também contém outros óxidos, notavelmente CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> os quais influem nas suas propriedades.

Os materiais vítreos, ou seja, não cristalinos, não se solidificam da mesma maneira que os materiais cristalinos. Durante seu resfriamento estes vão se tornando gradativamente mais viscosos com a diminuição da temperatura. Não há uma temperatura definida na que o líquido se transforma em sólido como ocorre nos materiais cristalinos (Callister, 2000). Nos materiais cristalinos ocorre um decréscimo descontínuo do volume na temperatura de fusão. Porém, para materiais vítreos, o volume diminui continuamente com a redução da temperatura, ocorrendo um pequeno decréscimo na inclinação da curva o qual é chamado temperatura de transição vítrea, T<sub>g</sub>. Abaixo desta temperatura o material é considerado como vidro. Já acima desta, o material é primeiro um líquido super-resfriado e depois um líquido (no sentido crescente da temperatura). O gráfico 1 ilustra a variação de volume com a temperatura.

Gráfico 1- Relação do volume com a variação de temperatura de materiais vítreos e cristalinos



Fonte: VIDROS,2001.



## 2.3 TIPOS DE VIDROS

Os vidros possuem uma variedade de classes. As características finais do vidro dependem não só do tratamento, mas, sobretudo, do produto inicial e da sua espessura (Ferreira et al, 2006). Dependendo de sua composição e do tratamento térmico sofrido, o vidro irá se comportar de maneira distinta, podendo auxiliar assim, a identificação desse material e até caracterizar a qual temperatura o vidro atingiu em determinados incêndios, amparando assim o investigador na elucidação da zona de origem ou até mesmo do foco inicial.

Diferentes tipos de vidro podem apresentar uma variedade de características e propriedades quando expostos a uma determinada carga de incêndio, que vai desde o vidro recozido comum, que fratura quase imediatamente quando exposto ao fogo, a materiais fabricados especificamente, que podem ter resistência ao fogo medido em horas. O aumento da resistência do vidro é atingido através de tratamento térmico (têmpera) e a redução do diferencial de transferência de calor através do vidro (laminação) (Henriques, 2010).

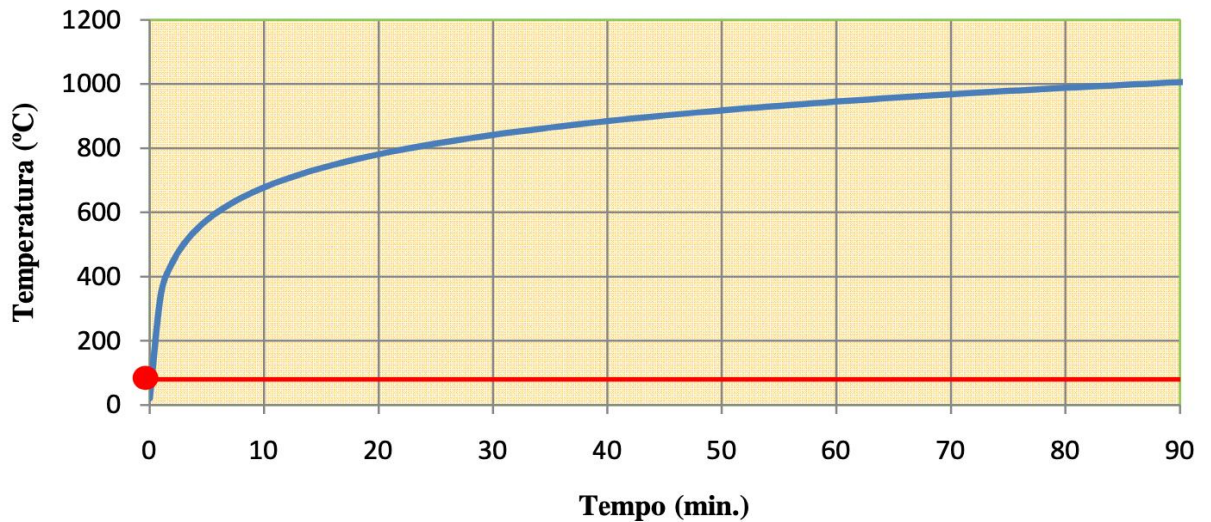
Eles podem ser afetados nos incêndios através dos mecanismos de transmissão de calor, por condução, convecção e radiação. A temperatura que este vidro atingirá dependerá da proximidade com que estará do foco inicial, da carga de combustível presente entre outros fatores.

### 2.3.1 VIDRO RECOZIDO

O vidro recozido, geralmente chamado de vidro comum, após sua saída do forno e resfriamento gradual, não recebe nenhum tratamento térmico ou químico. Este vidro é utilizado em fachadas, janelas, portas, divisórias, entre outros. Devido a essa falta de tratamento, considera-se um vidro de grande fragilidade, pois com baixas temperaturas atinge-se a Tg (cerca de 400°C) e com uma pequena variação de temperatura este acaba por quebrar. Esse comportamento pode ser percebido em incêndios em que há o aquecimento na parte interna do ambiente onde encontra-se o foco inicial, quando na presença de ventos que geram essa variação de temperatura nas superfícies do vidro. Como consequência há uma variação das tensões internas as quais geram trincas suficientes para quebrar o vidro exposto. O vidro recozido sofre fratura para um diferencial de temperatura num intervalo de 40°C a 100°C (Henriques, 2010).



Gráfico 2- Temperatura crítica para o vidro recozido.



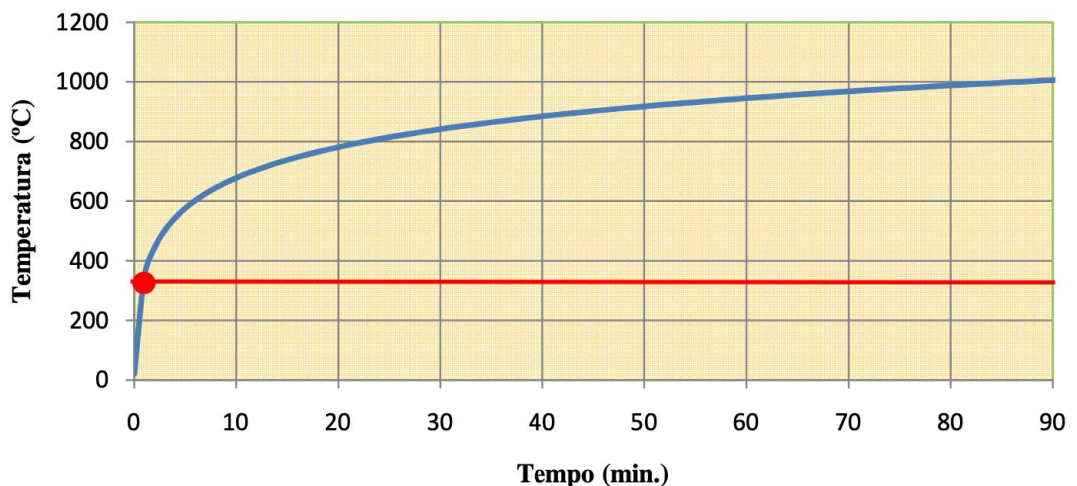
Fonte: Vidro estrutural em incêndio, 2010.

### 2.3.2 VIDRO TEMPERADO

Segundo Callister (2000), a resistência de uma peça de vidro pode ser melhorada através da indução intencional de tensões residuais de superfície de natureza compressiva. Apesar de melhorar as propriedades do vidro, esse tratamento não é suficiente para obter resistência ao fogo. As tensões de tração, causadas pela expansão térmica ou por influências mecânicas causadas pelos incêndios, ocasionam a fratura somente quando superar as tensões criadas pelo processo de têmpera, ou seja, tensões compressivas.

Quando o vidro temperado é submetido ao *Standard Fire Test* ele comporta-se da seguinte maneira: entre 300-350°C, estável (vulnerável as variações de temperatura nessa faixa); endurece acima de 400°C; acima de 600°C que corresponde à temperatura de transição vítrea, amolece e ocorre a queda do vidro (Henriques, 2010).

Gráfico 3- Temperatura crítica do vidro temperado.



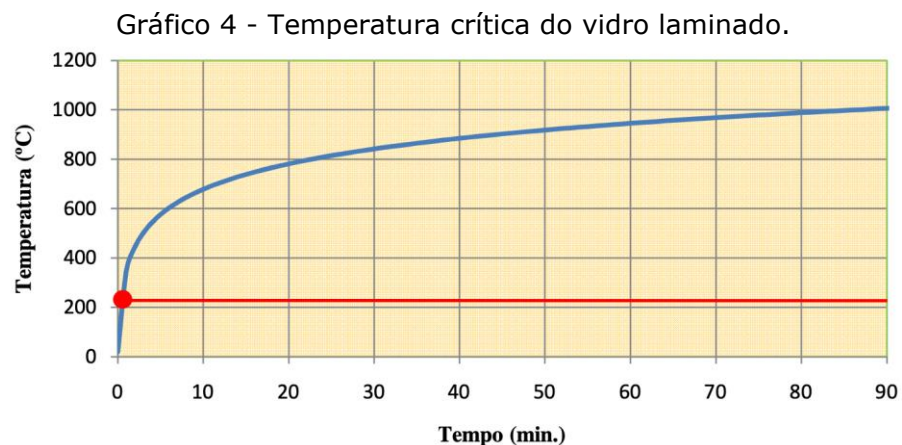
Fonte: Vidro estrutural em incêndio, 2010.



### 2.3.3 VIDRO LAMINADO

Conforme Pinheiro (2007), o vidro laminado é composto por duas ou mais chapas de vidro intercaladas com uma ou mais películas de material plástico denominado Polivinil Butiral (PVB) ou através da aplicação de resina entre os vidros. O tipo de resina e de polímero utilizado definirá as propriedades que este vidro possuirá, como resistência ao fogo, à variação de tensões geradas em um incêndio e também a rajadas de ventos que ocasionam a variação brusca de temperatura, ocasionando assim possíveis tensões que poderão provocar a trinca deste vidro em questão.

Quando submetido ao teste *Standard Fire Test*, o vidro laminado com o polímero PVB suporta temperaturas à 250 °C, onde a partir deste ponto é atingida a temperatura de amolecimento do polímero e começa a derreter, ocasionando a queda de pedaços do vidro (Henriques, 2010).



Fonte: Vidro estrutural em incêndio, 2010

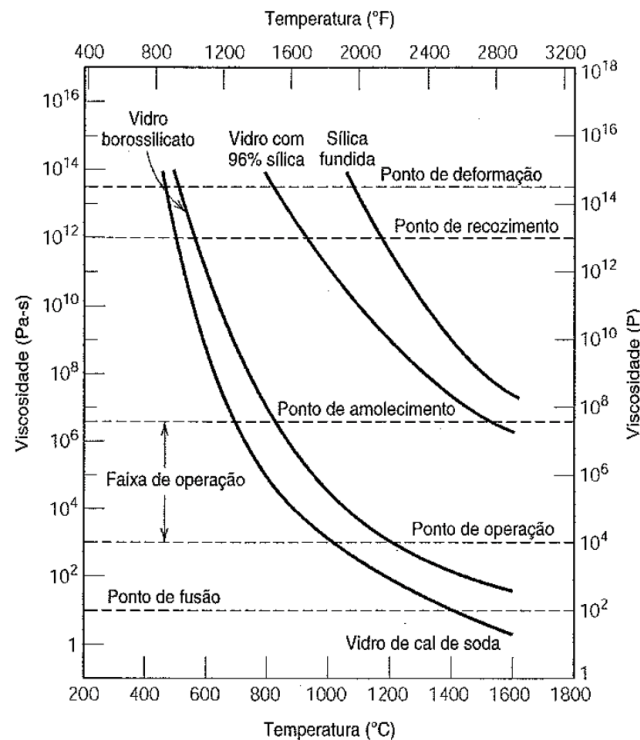
### 2.3.4 DEMAIS VIDROS

Além dos vidros descritos acima, há também outros nos quais variam a composição e são comumente utilizados no dia a dia e podem ser divididos nas seguintes famílias:

- Sílica Vítreo = utilizada para produção de fibras óticas;
- Silicatos Alcalinos;
- Sodo-Cálcicos = utilizados em garrafas, frascos, potes, janelas, bulbos e tubos de lâmpadas;
- Borossilicatos = são empregados em produtos de mesa que podem ser levados ao forno como o caso do Pyrex e do Marinex;
- Chumbo = copos e taças finas conhecido como "cristal";
- Alumínioborossilicato = são utilizados em tubos de combustão, fibras de reforço, vidros com alta resistência química e vitro-cerâmicos.



Gráfico 5- Logaritmo da viscosidade em função da temperatura para vidros a base de sílica fundida e vários vidros a base de sílica



Fonte: Callister, 2000.

Analisando o gráfico 5, pode-se verificar a temperatura em que ocorre a deformação do vidro, ocasionando assim a variação de sua forma, possibilitando a sua identificação, pois cada tipo de vidro possui uma temperatura específica para a ocorrência do fenômeno. Para os vidros de cal de soda essa temperatura é cerca de 500-550°C e para o vidro de borossilicato cerca de 550-600°C. Pode-se perceber que são temperaturas muito próximas, as quais são facilmente alcançadas em incêndios, fazendo com que dificulte a diferenciação entre os tipos de vidro.

### 3 MARCAS DE COMBUSTÃO

Os sinais no ambiente de um incêndio identificam e caracterizam como foi a dinâmica do fogo. Cores, traços, posições podem auxiliar o perito ou inspetor na identificação da origem do incêndio.

A marca de combustão nada mais é que um padrão de queima. Os padrões de queima são mudanças físicas visíveis ou mensuráveis, ou formas identificáveis, formadas por um efeito do incêndio ou grupo de efeitos do incêndio (Perícia de Incêndio, 2017).

Quando se compara o material vidro com uma marca de combustão, busca-se identificar algumas características como:

- qual temperatura que o incêndio atingiu;
- qual lado do ambiente estava o fogo;



→ a quebra deste vidro.

Como dito em seções anteriores, através da temperatura de transição vítrea de determinados vidros, é possível identificar a qual temperatura o incêndio possa ter atingido. Há grande variedade de temperatura de transição vítrea para os vidros, mas é possível identificar alguns que possam auxiliar na reconstituição do incêndio, como visto nos estudos anteriores.

Geralmente os vidros não se quebram por diferença de pressão causada nos incêndios, mas sim pela variação brusca de temperatura, seja ela originada por vento e até mesmo resfriamento do ambiente.

A deposição de fuligem no vidro auxilia na identificação do ambiente em que o incêndio se deu. Podem ser uma evidência, caso haja vidro quebrado ou retorcido, de que a fratura foi ocasionada após algum tempo de incêndio, fatos que poderão elucidar na construção da história do incêndio, no objetivo de encontrar vestígios para a solução da origem do foco inicial do incêndio. Ainda, a deposição de fuligem pode indicar o tempo que o vidro ficou exposto ao incêndio antes de sofrer a fratura.

Figura 6- Marcas de combustão relacionadas ao vidro



Fonte: CBMGO (2017) e Notiserra (2018).

### **3 CONCLUSÃO**

Após referenciar e definir o que são materiais vítreos, foi possível classificar o vidro na classificação de materiais vítreos, tendo características que o definem sendo a  $T_g$  (temperatura de transição vítrea) a característica principal para esse tipo de material. Algumas das características encontradas nos vidros possibilitam ao investigador a utilização como marca de combustão.

Definido o material foram elencados os vidros utilizados no dia a dia,





*Pós-graduação em Incêndio e Explosão – Turma 2020*

sendo eles: vidro recozido(comum), vidro laminado e vidro temperado. Dos vidros analisados, sem que estejam sofrendo algum carregamento, o vidro temperado mostrou-se ter o melhor comportamento em situações de incêndio. A temperatura de transição vítrea para este vidro, como visto na literatura e em experimentos é cerca de 600 °C, o que o caracteriza em um incêndio, possibilitando ao perito ou inspetor, saber a qual temperatura aquele ambiente estava submetido.

Para o vidro recozido, ou seja, comum, uma temperatura cerca de 150 °C já é início de fissuração, tendo temperatura de quebra total do vidro cerca de 400°C. O vidro comum, muito utilizado em janelas, auxilia na identificação do sentido do fogo, possibilitando o depósito de fuligem o qual definirá em qual ambiente o incêndio tenha ocorrido. Por ser um vidro sem um tratamento térmico específico, para que suas propriedades aumentem, ele acaba sofrendo com a variação de temperatura a qual os incêndios estão submetidos, ocasionando assim trincas e possíveis estilhaçamentos.

O vidro laminado, por ser composto de outro material, dependerá do tipo de material utilizado entre as lâminas. O vidro laminado deve ser empregado em locais onde a quebra deste material não afete a segurança das pessoas que estão ao redor, pois as lâminas não estilhaçam como o vidro comum, são seguras pelo material entre lâminas. Este vidro, utilizando o material PVB suporta a temperaturas de 250 °C, onde a partir dessa temperatura, atinge a Tg do material polimérico, prejudicando assim, as propriedades físicas desse tipo de vidro.

Como foi visto, o vidro temperado apresentou uma maior temperatura de transição vítrea, devido aos tratamentos térmicos, em específico a têmpera. Apesar de ter um patamar na temperatura de transição vítrea, os outros vidros analisados apresentaram temperaturas não tão discrepantes em relação ao temperado, o que acaba afetando na identificação de qual temperatura aquele determinado incêndio foi submetido. Analisando sob este ponto, tratar do vidro como marca de combustão relacionado à Tg acaba ficando prejudicado, pela proximidade das Tg's dos diferentes vidros analisados.

## REFERÊNCIAS

AKERMAN, Mauro. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**. CETEV. Nov 2000.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2008.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual de Perícia em Incêndios e Explosões**. Volume 1. Corpo de Bombeiros Militar. Brasília. 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Manual Operacional de Bombeiros: Perícia de Incêndio**. Corpo de Bombeiros Militar. Goiânia. 2017.

Ferreira L.; Costa A.; Almeida, N.; Almeida, J.; Costa, A.; Varum, H.; Morais, M.; Lopes, N.; Cachim, P.; Vila Real, P. (2006). AveiroDomus - **Associação para o desenvolvimento da Casa do Futuro**. Sub Projecto de Engenharia Civil - 1o Relatório de progresso, pp. 19-20.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HENRIQUES, Pedro Daniel Fernandes. **Comportamentos ao fogo do vidro estrutural**. Universidade de Aveiro. Departamento de Engenharia Civil. 2010.

LENTINI, J.J., **Behavior of Glass at Elevated Temperatures**, "Journal of Forensic Sciences, JFSCA, Vol. 37, No 5, September 1992, pp. 1358-1362.

NODEHI, Zahra., **Behaviour of structural glass at high temperatures**, Master of Science in Civil Engineering at Delft University of Technology, Augusts 2016.

PINHEIRO, Fábio Carlos. **Evolução do uso do vidro como material de construção civil**. Universidade São Francisco. Itatiba. 2007.

TOFOLLI, Samuel. **Estrutura e formação dos vidros**. Fundamentos de Ciência e Engenharia de Materiais. Escola Politécnica da USP. 2014.