

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Jonathan Rangel Ebert

**ANÁLISE DE ENSAIO DE INCOMBUSTIBILIDADE EM AMOSTRAS DE FORRO  
DE POLICLORETO DE VINILA - PVC**

Santa Cruz do Sul

2016

Jonathan Rangel Ebert

**ANÁLISE DE ENSAIO DE INCOMBUSTIBILIDADE EM AMOSTRAS DE FORRO  
DE POLICLORETO DE VINILA - PVC**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Dra Rosí Cristina Espíndola da Silveira

Santa Cruz do Sul

2016

Jonathan Rangel Ebert

**ANÁLISE DE ENSAIO DE INCOMBUSTIBILIDADE EM AMOSTRAS DE FORRO  
DE POLICLORETO DE VINILA - PVC**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, na área Planos de Prevenção contra Incêndio, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Comissão examinadora:**

---

Prof. Dr. Eng. Rosi Cristina Espíndola da Silveira

Professor Orientador – UNISC

---

*M. Sc.* Professor Examinador – UNISC

---

*M. Sc.* Professor Examinador - UNISC

Santa Cruz do Sul

2016

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Sildo e Lediane, meu irmão Douglas e minha noiva Victória, pelo apoio e incentivo para enfrentar as mais diversas barreiras e dificuldades durante o período de graduação e realização deste trabalho de pesquisa.

A minha amada avó Eva, por todas as orações e palavras de conforto.

A professora orientadora Rosí Cristina Espíndola da Silveira, pelo suporte e atenção que foi me dado para a realização do trabalho.

A todos empregados e responsáveis pelo laboratório ITT Performance, pela realização do ensaio e suporte durante os ensaios.

Aos torneiros mecânicos Lair da Cruz e Diego Santos, pelo apoio para confecção dos corpos de prova.

Aos demais familiares, amigos e colegas de empresa e de aula pelo apoio durante este período.

## RESUMO

Há uma crescente incidência de incêndios no território brasileiro, muitas vezes com vítimas fatais. Embora tenha aumentado a preocupação quanto à Prevenção e Proteção Contra Incêndio - PPCI ainda não se pode ver grande melhora nas condições de desempenho contra o fogo das construções. Recentemente, o incêndio da boate Kiss, em Santa Maria – RS comoveu o país e desencadeou no RS a criação da Lei Complementar 14.376, de 2013. Ainda assim, existe um certo descaso com alguns aspectos muito importantes em um incêndio. No Brasil, engenheiros assinam ART's de Laudos de Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento dos mais diversos tipos de materiais, atestando que estes atendem as características de reação ao fogo requeridos, sem que ao menos realizem um ensaio para comprovar tal fato. Ao mesmo tempo, o Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul - CBMRS não cobra nem a realização destes ensaios, nem do fabricante do material, e tampouco do engenheiro responsável pelo laudo. Nesse contexto, o presente trabalho visou analisar o desempenho contra o fogo de um material bastante utilizado pelo país, Policloreto de Vinila, muitas vezes dado como incombustível. Foi utilizado o método de análise experimental, através de um ensaio de incombustibilidade, para obtenção de dados para caracterização do material como combustível ou não-combustível. Através da realização do ensaio de incombustibilidade constatou-se uma grande perda de massa das amostras, com perdas de até 86%; uma variação térmica nos pontos analisados muito maior que os 30°C estabelecidos pela norma regulamentadora do ensaio; e ocorrências de chamejamento que superaram 150 segundos, quando o máximo permitido para um material incombustível é 10 segundos. Assim, percebeu-se que este material tende a ser não apenas combustível, mas também um grande emissor de gases tóxicos, devido a sua composição, além de possuir um elevado poder calorífico. Este estudo não visa condenar o uso do material, mas sim chamar a atenção ao fato que este pode ser um potencial causador de mortes, quando da ocorrência de incêndios.

Palavras-chave: P.V.C., incombustibilidade, PPCI, incêndio, construção civil.

## ABSTRACT

There is an increasing incidence of fires in Brazilian territory, with fatal victims or not. Although there has been increased concern with Fire Prevention and Protection still can not see much improvement in the fire performance of buildings. Recently, the fire of Kiss nightclub, in Santa Maria –RS moved the country and triggered in the RS the creation of the Complementary Law 14.376, of 2013. Still, there is a certain disregard for certain very important aspects of a fire. In Brazil, engineers sign technical liability annotations of finishing and coating materials control reports of the most diverse types of materials, attesting that they meet the required fire reaction characteristics, without at least performing a test to prove this fact. At the same time, the Rio Grande do Sul Military Fire Brigade does not demand the implementation of these tests, nor from the manufacturer of the material, nor of the engineer responsible for the report. In this context, the present work aimed to analyze the fire performance of a material used around the country, Polychloride of Vinyl, often given as incombustible. The experimental analysis method was used, through an incombustibility test, to obtain data to characterize the material as combustible or non-combustible. With the incombustibility test, it was observed a great loss of mass of the samples, with losses of up to 86%; a thermal variation at the analyzed points much greater than 30°C as established by the test regulatory standard; and blaze occurrences that exceed 150 seconds when the maximum allowed for an incombustible material is 10 seconds. Thus, it was realized that this material tends not only to be combustible, but also a great emitter of toxic gases, due to its composition. This study is not intended to condemn the use of the material, but to draw attention to the fact that this can be a potential cause of death when the occurrence of fires.

Key-words: P.V.C., incombustibility, fire, building construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Triângulo do Fogo. ....	14
Figura 2- Tetraedro do Fogo.....	15
Figura 3- Evolução da temperatura em um ambiente compartimentado.....	17
Figura 4- Equipamento de ensaio para teste de incombustibilidade. ....	23
Figura 5- Equipamento de ensaio. Determinação de densidade óptica de fumaça.....	24
Figura 6- Equipamento de ensaio. Single Burning Item. ....	25
Figura 7- Ilustração de um forro de P.V.C. ....	28
Figura 8- Forro de P.V.C. utilizado para o ensaio. ....	33
Figura 9- Exemplo de disco de uma amostra. ....	33
Figura 10- Discos para confecção de amostras. ....	33
Figura 11- Amostra de P.V.C. ....	35
Figura 12- Furadeira de bancada com serra-copo. ....	35
Figura 13- Paquímetro Convencional.....	36
Figura 14 - Paquímetro Digital.....	36
Figura 15- Estufa com Circulação e Renovação de Ar Forçado. ....	37
Figura 16- Amostras condicionadas no dessecador.....	38
Figura 17- Balança digital. ....	38
Figura 18 - Acionador manual para registro de chamejamento.....	39
Figura 19- Máscara de respiração com filtro.....	39
Figura 20- Medidor Multi-parâmetros.....	40
Figura 21- Forno cerâmico cilíndrico.....	41
Figura 22- Localização de termopares.....	42
Figura 23- Monitorador de termopares e de acionador de chamejamento. ....	43
Figura 24 - Dados de estabilização inicial do forno para ensaio 1 .....	44
Figura 25- Gráfico de estabilização inicial do forno nos últimos 10 minutos antes do ensaio 1. .....	44
Figura 26- Perfuração do corpo de prova para inserção do termopar. ....	44
Figura 27 - Pesagem do corpo de prova para inserção do termopar.....	45
Figura 28- Posicionamento de amostra no mecanismo de inserção ao forno.....	45
Figura 29- Momento de inserção do corpo de prova no forno. ....	46
Figura 30- Decorrer do ensaio, com chamejamento mais intenso.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos materiais de acordo com seu $I_p$ .....	24
Tabela 2 - Dados obtidos através dos ensaios .....	48
Tabela 3- Dados obtidos através dos ensaios .....	48
Tabela 4 - Perda de massa das amostras.....	49
Tabela 5- Temperaturas extraídas dos ensaios.....	50
Tabela 6- Tempo de ocorrência de chamas.....	51
Tabela 7- Comparação de resultados obtidos com as exigências da norma.....	51



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS EN	British Standard – European Standard
CBMRS	Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul
CBMSP	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo
CMAR	Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento
CO <sup>2</sup>	Dióxido de Carbono
°C	Grau Centígrado
Dm	Densidade Específica Ótica Máxima De Fumaça
FIGRA	Fire Growth Rate
IP	Índice de Propagação Superficial de Chama
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	International Organization for Standardization
IT	Instrução Técnica
ITT	Institutos Tecnológicos
LFS	Lateral Flame Spread
MSCI	Medidas de Segurança Contra Incêndio
NBR	Norma Brasileira
NFPA	National Fire Protection Association
NIST	National Institute of Standards and Technology
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
PC	Fator de Propagação de Chama
PPCI	Plano de Prevenção Contra Incêndio
P.V.C.	Policloreto de Vinila
Q	Fator de Evolução do Calor
RTT	Resolução Técnica de Transição
SBI	Single Burning Item
SMOGRA	Smoke Growth Rate
SSCI	Sistema de Segurança Contra Incêndio
THR	Total Heat Release
TSP	Total Smoke Production

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>12</b>
<b>3 OBJETIVO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Fogo.....</b>	<b>14</b>
<b>4.2 Segurança contra incêndio.....</b>	<b>15</b>
<b>4.3 Fases de um incêndio.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4 Reação ao Fogo x Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) .....</b>	<b>17</b>
<b>4.4.1 Combustibilidade.....</b>	<b>19</b>
<b>4.4.2 Poder Calorífico .....</b>	<b>19</b>
<b>4.4.3 Inflamabilidade.....</b>	<b>19</b>
<b>4.4.4 Propagação de chama.....</b>	<b>20</b>
<b>4.4.5 Inflamação generalizada .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4.6 Produção de gases nocivos .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4.7 Densidade ótica de fumaça .....</b>	<b>21</b>
<b>4.5 Ensaios de reação ao fogo .....</b>	<b>21</b>
<b>4.5.1 Teste de Incombustibilidade .....</b>	<b>22</b>
<b>4.5.2 Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante.....</b>	<b>23</b>
<b>4.5.3 Determinação da densidade ótica de fumaça.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.4 <i>Single Burning Item</i> – SBI.....</b>	<b>25</b>
<b>4.6 Instrução Técnica nº 10/ 2011 – Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento - CMAR .....</b>	<b>25</b>
<b>4.7 Policloreto de Vinila .....</b>	<b>27</b>
<b>4.8 Uso do Policloreto de Vinila.....</b>	<b>28</b>

4.9 Riscos do Policloreto de Vinila .....	29
5. METODOLOGIA.....	31
5.1 Informações sobre o ensaio.....	32
5.2 Laboratório de ensaio.....	32
5.3 Confeção das amostras de P.V.C.....	32
5.4 Transporte e condicionamento das amostras.....	34
5.5 Materiais e equipamentos .....	34
5.5.1 Amostras cilíndricas de P.V.C.....	34
5.5.2 Furadeira de bancada e serra-copo .....	35
5.5.3 Paquímetro digital e convencional .....	36
5.4.11 Software de controle de dados do ensaio e estabilização do forno.....	37
5.5.4 Estufa ventilada .....	37
5.4.5 Dessecador .....	37
5.4.6 Balança digital .....	38
5.4.7 Cronômetro .....	39
5.4.9 Máscaras de respiração com filtro .....	39
5.4.10 Medidor Multi-parâmetros.....	40
5.4.12 Forno cerâmico cilíndrico para ensaio de incombustibilidade.....	40
5.4.13 Termopares, para monitoramento do andamento do ensaio.....	41
5.4.13 Equipamento de monitoramento dos termopares e ocorrência de chamejamento durante o ensaio.....	42
5.5 Procedimento de realização do ensaio .....	43
6. RESULTADOS .....	48
7. CONCLUSÕES.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
ANEXOS .....	57

## 1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio ganhou muito destaque no Brasil nos últimos anos, principalmente devido à grande ocorrência de sinistros com elevado número de mortes que ocorreram no país, fazendo com que este assunto passasse a ser analisado com maior atenção.

Embora, na década de 70, após os incêndios dos edifícios Andraus, com dezesseis mortos (BENI, 2012), e do edifício Joelma, com cento e oitenta e oito mortos (PIOTO, 2014), já tivesse um certo aumento de interesse no assunto, apenas após o incêndio na Boate Kiss, em Santa Maria - RS, em 2013, com 242 vítimas (TAVAREM, 2016), que se passou a exigir um desempenho contra o fogo muito mais satisfatório das edificações, no RS.

A reação ao fogo dos materiais presentes na edificação, sejam estes mobiliários ou agregados aos elementos construtivos é um dos principais fatores responsáveis pelo crescimento/propagação do fogo, e pelo desenvolvimento de fumaça e gases tóxicos, podendo contribuir para que o incêndio tome proporções maiores, levando a pânico e mortes.

Dentre as Medidas de Segurança Contra Incêndio da Lei Estadual 14.376 (2013) exigidas pelo Corpo de Bombeiros – este que é responsável pela análise de Planos de Prevenção e Proteção Contra Incêndios – encontra-se o Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento (CMAR). O CMAR é baseado na Instrução Técnica N°10/2011, do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo - como orienta a Resolução Técnica de Transição – RTT, do CBMRS.

Através de ensaios normatizados, os materiais ensaiados são classificados, tendo assim sua utilização na edificação definida por sua finalidade, variando de uma edificação para outra, de acordo com sua classe e ocupação. A IT N°10/2011 estabelece padrões a serem atendidos pelos mesmos, visando que, em eventual sinistro, seja restringida a propagação do fogo e o desenvolvimento de fumaça.

Portanto, é importante que seja bem criteriosa a escolha dos materiais de acabamento e revestimento a serem utilizados na edificação, de modo que a seleção leve em conta o seu desempenho diante ao fogo, aprimorando a segurança contra incêndios, através da diminuição dos riscos de ignição, crescimento e propagação do fogo. Deste modo, a segurança da vida humana, do meio ambiente, e dos bens materiais é aprimorada.

## 2. JUSTIFICATIVA

Sabe-se que o Brasil ainda está apenas começando a dar a devida importância para a segurança contra o incêndio, e se compararmos o seu desenvolvimento com o de outros países mais avançados nesta área, se torna nítido o quanto ainda há de se aprender, inovar e pesquisar.

Graças a isto, torna-se uma tarefa árdua para o responsável técnico pela segurança contra incêndio de uma edificação classificar corretamente e com segurança os materiais que na edificação se fazem presentes, já que são pouquíssimas empresas que submetem seus produtos à testes de reação ou resistência ao fogo e/ou disponibilizam os resultados destes testes, devido à pouca exigência dos órgãos fiscais e regulamentadores.

A propriedade de combustibilidade é de suma importância no momento de definição do material a ser empregado como revestimento de uma edificação, pois esta constitui a reação ao fogo das fases iniciais de um incêndio, podendo assim os materiais incombustíveis impedir ou retardar a evolução do fogo à um incêndio.

A escolha do P.V.C se dá em função de o emprego deste ter crescido muito na construção civil, com a implementação do P.V.C. em diversos novos materiais devido a seu baixo custo, fácil instalação, pequena manutenção e facilidade de limpeza. Alguns exemplos desses materiais são: forros, esquadrias, tubulações de água e esgoto, pisos, cabos e fios elétricos, conduítes, eletrocalhas, telhas, entre outros. E seu uso não se restringe apenas a materiais de acabamento, visto que empresas estão desenvolvendo sistemas construtivos baseados inteiramente em P.V.C..

Portanto, a realização de ensaios de comportamento frente ao fogo em um material cujo uso é frequentemente realizado em todo o país, pode vir a esclarecer o quão bem ou mal esse material reage quando submetido a testes laboratoriais enclausurados, simulando uma situação semelhante ao que aconteceria em um incêndio real.

### **3 OBJETIVO**

#### **3.1 Objetivo geral**

Classificar um material de revestimento interno, do tipo Policloreto de Vinila (P.V.C.), com relação a sua combustibilidade, de acordo com as determinações da Instrução Técnica nº10/2011, do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Estudar as propriedades inerentes ao P.V.C de acordo com sua reação ao fogo;
- Acompanhar o ensaio do material frente ao teste de incombustibilidade (ISO 1182 – *Fire Tests – Building Materials – Non-combustibility test (2010)*).
- Verificar os resultados desse processo;

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Fogo

Fogo é uma reação química que libera calor e luz, e que apenas pode existir perante a existência de três fatores: combustível, oxigênio e calor. Esta combinação é conhecida por triângulo do fogo (Figura 1).

Figura 1- Triângulo do Fogo.



Fonte: <<http://www.areaseg.com/fogo/>>. Acesso em 06 de junho de 2016.

Assim entendeu-se o fogo durante muitos anos e, segundo Madrzykowski (2012), apenas após aproximadamente os anos 2000 é que experimentos com fogo e programas computacionais começaram a ser usados com o intuito de explicar como o triângulo do fogo se aplica em situações reais, e como afeta a escolha de equipamentos de proteção e de táticas do corpo combatente.

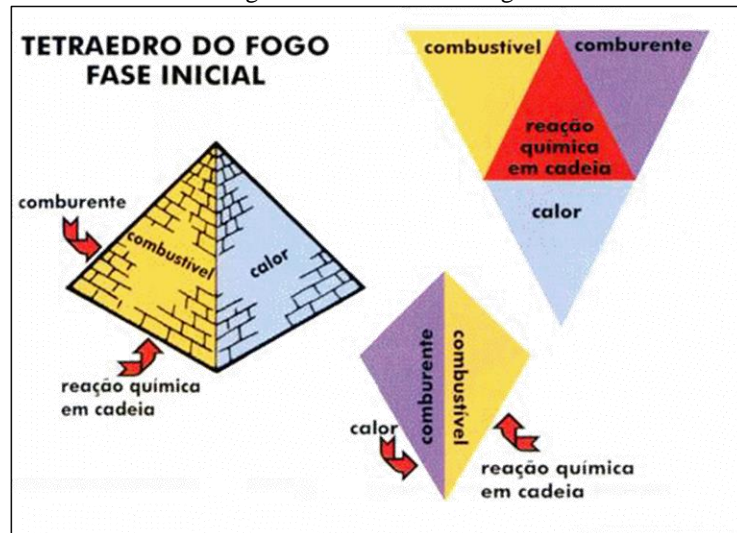
É muito importante entender que, com o passar dos anos, mudanças nos materiais combustíveis e evoluções nos métodos construtivos têm afetado muito o comportamento do fogo. Essas mudanças alteraram o modelo de comportamento que se conhecia.

O campo Dinâmicas do Fogo trata deste novo comportamento, e engloba como o fogo começa, se espalha, se desenvolve e então se apaga.

Ainda segundo Madrzykowski (2012), para que seja possível a caracterização do comportamento do fogo, devem ser incorporadas a Química e as Ciências dos Materiais, e além disso, devem ser consideradas interações do fogo com estruturas, materiais e pessoas para que se tenha um completo entendimento de sua dinâmica.

Recentemente, adotou-se então, que o fogo poderia ser classificado no que se denomina de tetraedro do fogo (Figura 2). Esta é uma representação gráfica que mostra que a existência do fogo acontece devido a 4 fatores: Os já conhecidos combustível, oxigênio e calor, acrescidos de uma reação em cadeia (National Institute of Standards and Technology - NIST,2013).

Figura 2- Tetraedro do Fogo.



Fonte: <<http://www.bombeirosemergencia.com.br/fogodefinao.html>>. Acesso em 06 de junho de 2016.

## 4.2 Segurança contra incêndio

O entendimento dos conceitos apresentados torna mais fácil a elaboração de métodos de prevenção e combate a incêndio, aprimorando a Segurança contra Incêndio em edificações.

Para o Del Carlo (2008), a Segurança contra incêndio foi colocada de lado durante o crescimento desenfreado de nosso país, já que passamos de um país rural para uma sociedade urbana em um espaço de tempo muito curto. Desta forma, parece que muita coisa ainda há de ser feita. Algumas delas são: Melhor formação de um Corpo Técnico, melhoria dos equipamentos utilizados, aumento dos contingentes, atendimentos de todos os municípios e, melhoria das regulamentações e fiscalizações.

Há de ser dito que o Corpo de Bombeiros tem atualizado e aprimorado suas regulamentações, visando planos de prevenção e combate a incêndio cada vez mais rígidos e que demandam melhor comportamento da edificação em caso de incêndio.

Segundo Del Carlo (2008), ao contrário de muitos países, não se tinha cursos de especialização em engenharia de segurança contra incêndio no Brasil. Esse cenário começou a mudar após o incêndio ocorrido na boate Kiss. Nos países em que a especialidade existe, é verificada total absorção dos engenheiros de segurança contra incêndio pelo mercado.



Já para Mitidieri (2008), o país encontra-se no caminho certo, mas muito ainda deve ser estudado e introduzido em nossas regulamentações para que se alcance um nível satisfatório de segurança contra incêndio.

Mas Ono(2013) aponta que a segurança contra incêndio ainda precisa ser levada mais a sério pelo brasileiros, visto que as pessoas só se importam em conseguir a aprovação de seus projetos junto ao Corpo de Bombeiros.

Quanto ao Sistema de Segurança Contra Incêndio – SSCI, o mesmo é um resultado do atendimento de requisitos funcionais da edificação, segundo BERTO (1991), citado por Mitidieri (2008, p.57):

“as medidas de prevenção e proteção contra incêndio, quando relacionadas aos requisitos funcionais visando à garantia de níveis adequados de segurança contra incêndio são:

- a) “precaução” contra o início do incêndio;
- b) limitação do crescimento do incêndio;
- c) extinção inicial do incêndio;
- d) limitação da propagação do incêndio;
- e) evacuação segura do edifício;
- f) “precaução” contra a propagação do incêndio entre edifícios;
- g) “precaução” contra o colapso estrutural;
- h) rapidez, eficiência e segurança das operações relativas ao combate e resgate.”

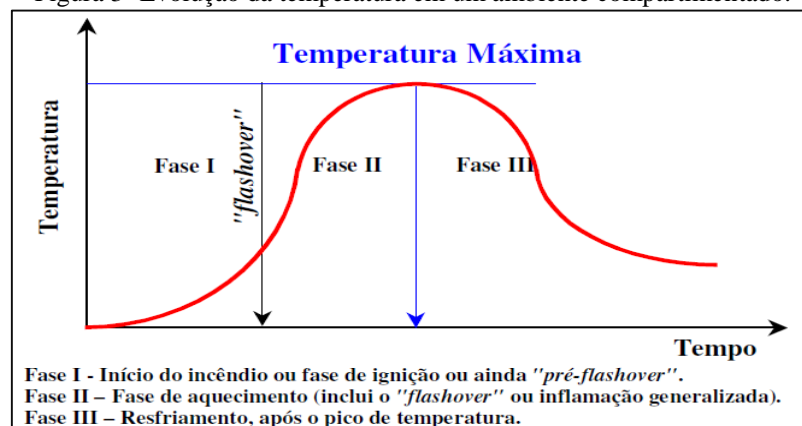
HARMATHY (1984), citado por Mitidieri (2008,p.56) diz que:

“Um edifício seguro contra incêndio pode ser definido como aquele em que há alta probabilidade de que todos os ocupantes sobrevivam a um incêndio sem sofrer qualquer ferimento e no qual os danos à propriedade serão confinados às vizinhanças imediatas ao local em que o fogo se iniciou.”

### **4.3 Fases de um incêndio**

De acordo com Cuoghi (2006), o incêndio é constituído por três fases: ignição, aquecimento e resfriamento. O período inicial é conhecido por "pré-flashover", estágio onde ocorre um aumento gradual da temperatura, quase sem influência das características do compartimento (Figura 3). Se as medidas de proteção contra incêndio forem eficazes, o fogo é muito fácil de ser controlado nesta etapa, representando assim riscos muito baixos a vida humana e ao patrimônio por colapso estrutural. O segundo estágio é onde ocorre o "flashover". Aqui acontece uma mudança súbita na temperatura, e a combustão de todos materiais combustíveis do compartimento. E na terceira fase, a temperatura pelo compartimento começa a se reduzir. Ainda nesta etapa, pode ocorrer a propagação do incêndio para outros compartimentos, seja por radiação, seja por convecção.

Figura 3- Evolução da temperatura em um ambiente compartimentado.



Fonte: Drysdale(1998)

#### 4.4 Reação ao Fogo x Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

O comportamento frente ao fogo dos materiais e elementos construtivos é o parâmetro mais importante para determinar a evolução de um incêndio em uma edificação.

Deve-se tomar cuidado para não confundir reação ao fogo com tempo requerido de resistência ao fogo. Ambos são de grande importância no desempenho de edificações, mas possuem definições e aspectos muito diferentes.

Para Mitidieri (2008), enquanto a reação ao fogo dos materiais é a contribuição destes para a origem e desenvolvimento de um incêndio, o TRRF é o tempo, em minutos, durante o qual o material sujeito aos efeitos do fogo mantém suas propriedades de resistência física e mecânica para o qual foi dimensionado. Ou seja, enquanto um determina um possível crescimento ou surgimento do incêndio de acordo com os materiais presentes na edificação, o outro busca determinar o tempo ao qual os elementos construtivos suportam uma situação de incêndio já existente.

O quadro 1 ilustra a evolução das características dos materiais envolvidos em um incêndio e suas reações ao fogo.

Quadro 1- Características dos materiais envolvidos em um incêndio.

FASES	EVOLUÇÃO CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ENVOLVIDOS
FASE 1	Fonte localizada: calor desenvolvido limitado Reação ao fogo: - incombustibilidade - inflamabilidade
FASE 2	Propagação do incêndio Reação ao fogo: - incombustibilidade - inflamabilidade - propagação de chamas - transmissão de calor  Resistência ao fogo
FASE 3	Reação ao fogo: Pânico - vítimas Resistência ao fogo: - medidas de extinção - salvamento: pessoas e bens

Fonte: Mitidieri (2008, p.83)

Observando o quadro 1, pode-se notar que desde a primeira fase de um incêndio, a reação ao fogo dos materiais tem grande importância na severidade de um incêndio. Já na segunda fase do incêndio, a resistência ao fogo dos materiais também possui papel importante. Esta, juntamente com as propriedades de reação ao fogo, tem o papel de evitar a propagação do incêndio para outros cômodos e pavimentos da edificação, e até mesmo edificações vizinhas. Por fim, na terceira fase, todos materiais combustíveis já foram consumidos, restando assim apenas os elementos construtivos. Nesta fase, a resistência ao fogo destes elementos desempenha papel crucial nos salvamentos de pessoas e bens materiais.

De acordo com Mitidieri (2008), as características de reação ao fogo dos materiais podem ser determinadas através da realização de ensaios laboratoriais, que visam alcançar condições similares a de um incêndio real. É muito importante que, na escolha dos materiais a serem utilizados na edificação, se opte por materiais que não sofram ignição com facilidade e que não sustentem a combustão.

Martín e Peris(1982), citado por Mitidieri (2008), determinam que um material pode sofrer das seguintes variáveis, estas relacionadas diretamente ao fogo:

- combustibilidade;
- poder calorífico;
- inflamabilidade;
- propagação de chama;
- inflamação generalizada;
- produção de gases nocivos;
- densidade óptica de fumaça.

#### 4.4.1 Combustibilidade

A Associação Nacional de Proteção ao Fogo (National Fire Protection Association – NFPA, 2013), dos Estados Unidos da América, define que um material combustível é aquele que possui capacidade de reação com oxigênio e queima, caso ignizado.

De acordo com a norma ASTM E136 - Standard Test Method for Behavior of Materials in a Vertical Tube Furnace at 750°C (2016), um material incombustível é aquele que não igniza ou queima quando submetida a fogo ou calor.

A combustibilidade de um material pode ser definida pelo ensaio de incombustibilidade disposto na ISO 1182 – *Fire Tests – Building Materials – Non-combustibility test* (2010).

#### 4.4.2 Poder Calorífico

“O poder calorífico é a quantidade de calor que o material libera por unidade de peso quando submetido a uma combustão completa.” (MARTIN e PERIS, 1982, apud MITIDIERI, 2008, p.85)

De acordo com Mitidieri (2008), deve-se ressaltar que parte do calor liberado na combustão de um material é absorvida novamente pelo fogo e pelos materiais adjacentes inflamados. Portanto o desenvolvimento do fogo é dado em função do poder calorífico dos materiais combustíveis existentes no local.

A Lei Estadual 14.376 (2013) descreve que a soma das energias caloríficas possíveis de serem liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis contidos num ambiente, pavimento ou edificação, inclusive o revestimento das paredes, divisórias, pisos e tetos, caracteriza a carga de incêndio específica da edificação, esta determinada através determinada através de métodos de cálculo descritos na Resolução Técnica nº 3 de 2016 do CBMRS.

#### 4.4.3 Inflamabilidade

A ISO 13943 (2008) Fire Safety - Vocabulary determina que inflamabilidade é a habilidade de um material ou produto queimar com uma chama sob condições específicas.

A inflamabilidade é definida por Martín e Peris (1982), citado por Mitidieri (2008,p.85), como “a facilidade de um material para desprender gases que venham ignizar-se em chamas”. A inflamabilidade depende, essencialmente:

- a) da radiação a que o material está exposto.

b) da constituição física do material, ou seja, da facilidade com que os gases se desprendem do material para seu exterior.

c) da temperatura de ignição do material, isto é, da temperatura na qual o material libera gases que atinjam uma concentração suficiente para provocar sua ignição, quando exposto a uma chama.

#### **4.4.4 Propagação de chama**

De acordo com Rosso (1975), citado por Mitidieri (2008, p.86), existem três tipos de propagação: transversal, superficial e pós-combustão, o qual afirma que:

“A propagação transversal é aquela que se desenvolve no sentido da profundidade e se dá por condução, atingindo as sucessivas camadas do material. A propagação superficial, considerada fundamental variável da reação ao fogo, é dada como o alastramento da combustão na superfície do material. A pós-combustão ocorre com frequência em materiais com estrutura alveolar, depois de finalizada a combustão viva, e envolve uma série de fenômenos notadamente complexos. É uma característica pouco conhecida para servir de critério de caracterização da reação ao fogo, porém deve ser considerada quando na operação de rescaldo do incêndio.”

#### **4.4.5 Inflamação generalizada**

A ISO 13943 (2008) define a inflamação generalizada como uma rápida transição ao estado em que o fogo envolve completamente todos os materiais combustíveis de um compartimento.

De acordo com a NFPA (2013), a inflamação generalizada é o estágio do incêndio onde todas as superfícies e objetos são aquecidos a suas temperaturas de ignição e as chamas atingem praticamente de forma instantânea a superfície inteira do ambiente.

Para Mitidieri (2008), o tempo para que se ocorra a inflamação generalizada é muito importante para a segurança, pois este define o tempo que se tem para escapar do local atingido ou para extinção do foco de incêndio. Deve ser evitado ao máximo que o fogo chegue neste estágio, pois uma vez em "flash-over", o incêndio está declarado e cabe apenas aos bombeiros/brigadistas o trabalho de combate e salvamento, visando a redução da temperatura do ambiente.

#### **4.4.6 Produção de gases nocivos**

De acordo com Mitidieri (2008), os gases tóxicos provocam não só asfixia, intoxicação e lesões nas vias respiratórias, devido à sua composição, como também queimaduras, pois num incêndio eles se encontram em temperaturas elevadas. A toxidade da fumaça, juntamente com

sua densidade, talvez seja o fator mais crítico dentre os que intervêm na reação ao fogo dos materiais, devido ao elevado número de vítimas que proporciona.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o primeiro gás a ser inalado numa situação inicial de incêndio, em que se tem a combustão completa dos materiais envolvidos. Ele não é tóxico, porém atua de modo a estimular a respiração, fazendo com que a inalação de outros tipos de gases tóxicos seja maior. Se o ar absorvido contiver 2% a 4% de CO<sub>2</sub>, o volume de ar respirado triplica, aumentando a velocidade de absorção dos gases tóxicos (MARTÍN e PERIS, 1982), citado por MITIDIERI (2008,p.87).

#### **4.4.7 Densidade ótica de fumaça**

A ISO/GUIDE52/TAG5 (1990), citada por Mitidieri (2008,p.86), define como “a mensuração da fumaça produzida por um corpo-de-prova de uma determinada amostra de material ou produto, tendo-se conhecimento da densidade ótica e dos fatores característicos do método de ensaio especificado”.

Mitidieri (2008), diz que:

"quanto mais completa for a combustão, mais vivas e claras serão as chamas, e a emissão de fumaça, nesse caso, é pequena. Quando se tem um suprimento de ar incompleto e uma temperatura mais baixa, haverá pouca ou nenhuma chama, porém a geração de fumaça será maior, e será escura e com teor de monóxido de carbono mais elevado".

No entanto, é muito importante salientar que de acordo com o material combustível ensaiado, a fumaça gerada pode conter outros gases tóxicos.

A avaliação do comportamento dos materiais de acordo com sua reação ao fogo se mostra de grande importância, pois engloba diversas variáveis presentes em uma situação de incêndio. Uma correta avaliação pode funcionar de maneira preventiva durante o processo produtivo da edificação, e assim, reduzir os riscos de um possível incêndio.

#### **4.5 Ensaios de reação ao fogo**

Para Mitidieri (2008), a reação ao fogo dos materiais contidos na edificação, ou agregados aos elementos construtivos, tem-se mostrada como um dos fatores que mais contribuem para o crescimento do fogo, propagação das chamas e geração de fumaça e gases tóxicos.

Ainda segundo Mitidieri (2008), a reação ao fogo dos materiais de acabamento e revestimento deve ser considerada por meio da verificação do maior potencial que eles possuem

se tratando da contribuição para desenvolvimento do fogo, quando submetidos a uma situação de combustão.

Este potencial pode ser definido através de ensaios laboratoriais que simulam situações reais de incêndio.

A Instrução Técnica N°10 do Corpo de Bombeiros de São Paulo (2011) estipula quais ensaios devem ser realizados para se definir cada uma das características de reação ao fogo que devem ser levadas em conta para a classificação dos materiais de acabamento e revestimento.

Em se tratando de forros, os ensaios indicados são:

- a) teste de incombustibilidade, de acordo com a ISO 1182 (2010).
- b) determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante, de acordo com a ABNT NBR 9442 (1988).
- c) determinação da densidade óptica de fumaça, de acordo com a ASTM E662 (2015).
- d) *Single Burning Item* – SBI, de acordo com a BS EN 13.823 (2002).

É usual que primeiramente ocorra a realização do teste de incombustibilidade. Desta forma, se o material ensaiado tiver resultados que o aponte como incombustível, este já tem sua classificação de acordo com o quadro 3. Assim, caso seja caracterizado como combustível, os demais ensaios devem ser realizados para obter-se a classificação do material.

#### **4.5.1 Teste de Incombustibilidade**

De acordo com a ISO 1182 (2010), para este ensaio, é utilizado um forno cerâmico cilíndrico com 150 mm de altura ( $\pm 1$ mm), diâmetro interno de 75mm ( $\pm 1$ mm) e parede de 10mm ( $\pm 1$ mm). O forno é aquecido por resistências e envolvido por um material isolante térmico. Os corpos de prova tem formato cilíndrico com um diâmetro de 45mm (+0, -2mm) e altura de 50mm ( $\pm 3$ mm). Estes são inseridos no forno e ficam presos a um suporte. Os corpos de prova são monitorados durante o ensaio por três termopares. Um dos termopares fica no interior do corpo de prova, outro na superfície lateral e o último entre o corpo de prova e o forno.

Devem ser realizados cinco ensaios, para obtenção de dados a serem comparados com os parâmetros normativos.

Os corpos de prova são inseridos no forno, que deve ter sua temperatura mantida em 750°C (Figura 4). Nessa condição, são verificadas a liberação de calor, o desenvolvimento de chamas e a perda de massa por parte do corpo de prova.

Figura 4- Equipamento de ensaio para teste de incombustibilidade.



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT

Este ensaio é bastante prático e de fácil repetição, portanto, é bastante utilizado.

A ISO 1182 (2010) define que, para que o material possa ser classificado como incombustível:

- a perda de massa deve ser inferior a 50% em comparação com a massa inicial;
- a variação de temperatura não pode ser superior a 50°C em qualquer um dos pontos monitorados; e
- o tempo médio de chamejamento não deve ser superior a 10 segundos.

#### **4.5.2 Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante.**

Se trata de um procedimento bastante prático, de fácil execução e apresenta boa reprodutibilidade. Neste ensaio, o material é disposto inclinado a 30°, em frente a um painel radiante, calibrado para fornecer um fluxo de energia térmica variando de, aproximadamente, 3W/cm<sup>2</sup> (na região do corpo-de-prova mais próxima ao painel) até 0,78W/cm<sup>2</sup> (na região do corpo-de-prova mais distante do painel), por um período de 15 minutos. Uma chama piloto, posicionada na porção superior do corpo-de-prova, é aplicada desde o início do ensaio.

Segundo a ABNT NBR 9442 (1988), para realização deste ensaio, são necessários 6 corpos de provas com largura de 150 mm, comprimento de 460 mm e espessura normal de utilização desde que não ultrapasse o máximo de 25 mm.

O índice de propagação superficial de chama ( $I_p$ ) é dado através do produto do Fator de propagação da chama ( $P_c$ ) pelo Fator de evolução do calor ( $Q$ ).

A NBR 9442:1988 propõe a seguinte classificação:



Tabela 1- Classificação dos materiais de acordo com seu Ip

Classe	Índice de Propagação de Chamas (Ip) médio
A	0 a 25
B	26 a 75
C	76 a 150
D	151 a 400
E	Superior a 400

Fonte: Relatório de Ensaio N° 1 020 270 – 203. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT

É importante ressaltar que essa classificação apresentada difere quanto às classes em relação a classificação disposta na Instrução Técnica n° 10/2011 do CBMSP, o que pode ser visto no quadro 3.

#### 4.5.3 Determinação da densidade óptica de fumaça

A Instrução Técnica N°10 (2011) do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo indica que o ensaio siga as determinações da ASTM E662 (2015).

De acordo com essa norma, para este ensaio é utilizada uma câmara de densidade óptica fechada, onde é medida a densidade de fumaça gerada por materiais sólidos. A medição acontece através da atenuação de um feixe de luz em razão do acúmulo de fumaça gerada na decomposição pirolítica (ensaio sem chama) e na combustão (com chama).

Figura 5- Equipamento de ensaio. Determinação de densidade óptica de fumaça.



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT

#### 4.5.4 Single Burning Item – SBI

O ensaio de SBI é aplicado de acordo com a “*BS EN 13.823:2002 – reaction to fire tests for building products – Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*”.

Neste ensaio, é determinado o desempenho de materiais de construção quanto à sua reação ao fogo. O ensaio, embora possua elevado custo, pode ser aplicado em quase qualquer material, com exceção de pisos. O SBI é comumente utilizado quando não se há a possibilidade de caracterização pela determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante, conforme NBR 9442 (ABNT, 1998).

A realização do ensaio se dá da seguinte maneira: Os corpos-de-prova são formados por paredes que são montadas em forma de “L” (Figura 6). Um queimador localiza-se no canto de junção entre as duas paredes. Este queimador produz uma chama padrão à qual o corpo-de-prova é submetido.

Deste ensaio, diversos dados podem ser extraídos, sendo estes:

- índice da taxa de desenvolvimento de fogo (Fire Growth Rate - FIGRA);
- índice da taxa de desenvolvimento de fumaça (Smoke Growth Rate - SMOGRA);
- liberação total de calor do material (Total Heat Release - THR);
- produção total de fumaça (Total Smoke Production - TSP);
- propagação lateral de chama (Lateral Flame Spread - LFS);
- ocorrência ou não de gotejamento e/ou desprendimento de material em chamas.

Figura 6- Equipamento de ensaio. Single Burning Item.



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT

De acordo com Mitidieri (2008), todos os materiais combustíveis presentes podem contribuir para o desenvolvimento do fogo. Esses materiais podem envolver-se em variadas fases do incêndio. Como consequência disto, os ensaios devem apresentar diferentes níveis de exposição, simulando as diversas fases do incêndio. A classificação visa avaliar o

comportamento ainda na primeira fase, para que se possa controlar os riscos de crescimento e propagação do fogo.

#### 4.6 Instrução Técnica nº 10/ 2011 – Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento - CMAR

A Instrução Técnica Nº10 (CBMSP, 2011) estabelece quando os materiais presentes numa edificação precisam ser testados, assim como quais os ensaios laboratoriais devem ser aplicados e quais resultados precisam ser atingidos, a fim de determinar que estes materiais não terão influência no início ou evolução de um possível incêndio.

Os ensaios exigidos pela IT 10/2011 estão listados no item 4.5 deste trabalho. Quanto à classificação dos materiais, os mesmos são feitos de acordo com os resultados de seus ensaios, e dos requisitos mínimos de cada material para determinar sua possibilidade de aplicação em uma edificação, de acordo com seu grupo de uso/ocupação.

O grupo de uso/ocupação de uma edificação costumava ser determinado pela Lei Complementar 14.376, de 26 de dezembro de 2013, mas com a recente publicação do Decreto 53.280, de 1º de novembro de 2016, que visa regulamentar a Lei supracitada, e suas alterações, as divisões de uso/ocupação devem ser determinadas por esse Decreto, a partir de então.

Estas divisões encontram-se no anexo A.

No quadro 2, pode-se observar as classes de materiais requeridas de acordo com o uso/ocupação da edificação, em função da finalidade do material.

Quadro 2- Tabela de utilização dos materiais conforme classificação das ocupações.

		FINALIDADE do MATERIAL		
		Piso (Acabamento <sup>1</sup> /Revestimento)	Parede e divisória (Acabamento <sup>2</sup> /Revestimento)	Teto e forro (Acabamento /Revestimento)
GRUPO/ DIVISÃO	A3 <sup>6</sup> e Condomínios residenciais <sup>6</sup>	Classe I, II-A, III-A, IV-A ou V-A <sup>8</sup>	Classe I, II-A, III-A ou IV-A <sup>9</sup>	Classe I, II-A ou III-A <sup>7</sup>
	B, D, E, G, H, I1, J1 <sup>4</sup> e J2	Classe I, II-A, III-A ou IV-A	Classe I, II-A ou III-A <sup>10</sup>	Classe I ou II-A
	C, F <sup>5</sup> , I-2, I-3, J-3, J-4, L-1, M-2 <sup>3</sup> e M-3	Classe I, II-A, III-A ou IV-A	Classe I ou II-A	Classe I ou II-A

...

Nota 7: Exceto para cozinhas, que deverão ser utilizadas Classe I ou II-A.

...

Fonte: IT 10/2011 do Corpo de Bombeiros de São Paulo

Como pode ser visto, a classe mínima necessária para materiais utilizados como acabamento e revestimento de tetos e forros de edificações é II-A - exceto em edificações de grupo A, onde se é permitida a utilização de materiais classe III-A.

Desta forma é exigido que estes materiais, ou sejam incombustíveis (classe I), ou possuam o menor índice de propagação superficial de chamas possível ( $I_p$ ), com baixa densidade específica ótica máxima de fumaça ( $D_m$ ), conforme demonstrado no quadro 3.

Quadro 3- Classificação dos materiais exceto revestimentos de piso.

Método de ensaio		ISO 1182	NBR 9442	ASTM E 662
Classe				
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$ ; $\Delta m \leq 50\%$ ; $t_f \leq 10\text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	$I_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$I_p \leq 25$	$D_m > 450$
III	A	Combustível	$25 < I_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$25 < I_p \leq 75$	$D_m > 450$
IV	A	Combustível	$75 < I_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$75 < I_p \leq 150$	$D_m > 450$
V	A	Combustível	$150 < I_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$150 < I_p \leq 400$	$D_m > 450$
VI		Combustível	$I_p > 400$	-

Fonte: IT 10/2011 do Corpo de Bombeiros de São Paulo

Para qualquer tipo de ocupação, o material a ser empregado como acabamento ou revestimento de tetos e forros deve possuir um desempenho com relação a sua reação ao fogo muito satisfatório, sendo incombustível, conforme classe I do quadro 3 ou tendo baixo índice de propagação de chamas e pequena densidade de fumaça gerada, para que seja atingida a classe II deste mesmo quadro.

As demais tabelas de classificação da IT nº 10 (CMBSP, 2011) encontram-se no Anexo B, entre elas, classificação de materiais de revestimentos de piso, e classificação de materiais que não podem ser caracterizados de acordo com a NBR 9442:1998.

#### 4.7 Policloreto de Vinila

O Policloreto de Vinila, ou P.V.C., segundo RODA (2014), é o segundo termoplástico mais consumido do mundo. É composto 57% de insumos provenientes do sal marinho ou da terra e 43% de insumos provenientes de fontes não renováveis, como petróleo ou gás natural. "O P.V.C. é um material naturalmente anti chama, devido a queima do polímero provocar a liberação de HCl (ácido clorídrico), que na forma de gás (cloreto de hidrogênio), ocupa o lugar do ar na área da queima por ser mais denso" (RODA, 2014).

Ainda de acordo com RODA (2014), o P.V.C. é um material totalmente atóxico e inerte, o que significa que é possível sua aplicação em produtos médico-hospitalares, filmes para cobertura de alimentos e brinquedos, entre outros.

Já Fogaça (s.d.) atenta para que se tome cuidado com a incineração do P.V.C., pois este se mostra instável na presença de calor e luz, e sua temperatura de degradação é realmente baixa (130°C). A incineração do material libera água, gás carbônico e fuligem, além de liberar também ácido clorídrico, que é tóxico.

Mesmo com essas ressalvas, segundo Carlos (s.d.), o uso global do P.V.C. cresce entre 4% a 7% ao ano. Esse crescimento acontece devido à ótima relação custo-benefício que o material traz, já que é barato, de fácil instalação e possui boa durabilidade. Outro fator contribuinte para esta estatística é o fato de este ser um dos materiais que pode ser mais manipulado por aditivos que existem. O P.V.C pode ser processado com diversas tecnologias comuns.

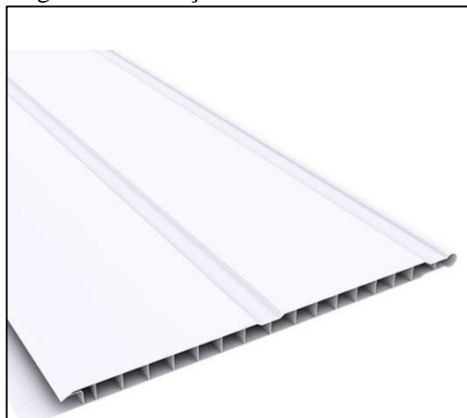
#### 4.8 Uso do Policloreto de Vinila

O P.V.C. encontra-se muito difundido na construção civil, visto que pode ser utilizado em esquadrias em geral, tubos e conexões, dutos para transportes de fluidos, fios e cabos, revestimentos externos e internos, pisos, forros (Figura 7), entre outros.

Segundo Édison Carlos, citado pelo portal digital AECWEB (autor desconhecido, s.d.):

“O PVC é um dos plásticos mais tradicionais que existe, com durabilidade de, no mínimo, 50 anos. Na Alemanha, existem construções de mais de 80 anos que estão sendo demolidas e as tubulações permanecem intactas. Produto leve, fácil de colar e conectar, o PVC é amplamente empregado nos vários segmentos da construção civil, entre eles, pisos, revestimentos, telhas, calhas, grelhas etc.”

Figura 7- Ilustração de um forro de P.V.C.



Fonte: < <http://www.leroymerlin.com.br> > Acesso em 07 de Junho de 2016.

Pela fácil instalação e manutenção, o P.V.C. é amplamente empregado como forro em diversas edificações. Até mesmo edificações caracterizadas como de reunião de público

(restaurantes, boates, igrejas, etc.) têm utilizado o material. Os fabricantes do material dizem que o produto não propaga chamas, mas não informam em momento algum se possuem testes realizados em seus produtos, que comprovem tais condições ou que a fumaça gerada pelo seu produto não seja letal.

#### **4.9 Riscos do Policloreto de Vinila**

Existem muitas divergências com relação aos possíveis riscos da utilização do P.V.C, ou então quanto a sua segurança para com o usuário.

De acordo com a revista digital belga PVC (s.d.), que possui como especialista em P.V.C. o PhD em física química Arjen Sevenster, o material atende todas as normas internacionais com relação a segurança e saúde dos usuários, tanto no produto em si, como em suas mais diversas aplicações. A revista afirma, ainda, que o P.V.C. é um polímero inerte não tóxico e que possui propriedades retardadoras de fogo muito superiores, mesmo na ausência de retardantes, devido a sua composição conter cloreto.

Ainda de acordo com PVC (s.d.), a temperatura de ignição do P.V.C. é de 455°C (ao contrário do que diz Fogaça (s.d.)) e o mesmo não é facilmente ignizado, o que o torna um material com pequenos riscos de causar ou contribuir com incêndios. Também salienta que o material libera muito menos calor enquanto queimando do que o Polietileno (PE) e o Polipropileno (PP) e que o mesmo não propaga chamas tão facilmente. Desta forma, a revista garante que o Policloreto de Vinila é muito adequado, por questões de segurança, para utilização em produtos do dia-a-dia.

Porém, de acordo com o artigo “*PVC in Buildings: Hazards and Alternatives*” (HEALTHY BUILDING NETWORK, autor desconhecido, s.d.) o Policloreto de Vinila, não apenas é um risco à nossa saúde, como também é o pior plástico em uma perspectiva de saúde ambiental, visto que gera muitos riscos durante sua produção, na sua vida útil, e no seu descarte.

Durante sua produção, são, inevitavelmente, criadas dioxinas (este que é o cancerígeno mais poderoso que se tem conhecimento), dicloreto de etileno e cloreto de vinila, e estes podem causar graves problemas de saúde, como:

- Câncer;
- Interrupção endócrina;
- Endometriose;
- Danos neurológicos;
- Defeitos de nascimento e desenvolvimento infantil prejudicado;

- Danos aos sistemas reprodutor e imunológico.

O artigo “*PVC in Buildings: Hazards and Alternatives*” (autor desconhecido, s.d.) da revista Healthy Building Network ainda cita outros riscos provenientes do P.V.C., entre eles:

- Impacto Global: a dioxina é uma toxina bioacumulativa persistente, que não se dissipa facilmente e que pode viajar ao redor do planeta, se acumulando em camadas de gordura e se concentrando enquanto adentra a cadeia alimentar.

- Riscos Terroristas: fábricas e depósitos de P.V.C. já foram identificados como os principais alvos de ataques de terroristas e relatórios apontam diversos casos ao redor do mundo - estes citados na obra *Toxic Warfare* (Guerra Tóxica, em português) de Theodore Karasik, ao qual o autor deste trabalho não obteve acesso. São instalações muito vulneráveis, e um simples ataque poderia liberar uma nuvem tóxica que se espalharia por quilômetros, colocando milhares de vidas em risco.

- Utilização de aditivos letais: sem a adição de aditivos químicos estabilizantes, como chumbo, cádmio e organotinas, o P.V.C. é basicamente inútil, já que estes o impedem de colapsar rapidamente. A liberação em gás destes componentes aumenta o risco de pessoas contraírem asma, envenenamento por chumbo e câncer.

- Perigo de incêndio fatal: o P.V.C. gera grandes riscos quando da ocorrência de incêndios em edificações, visto que este libera gases fatais enquanto é ignizado, como cloreto de hidrogênio que se transforma em ácido clorídrico, quando inalado. De acordo com Theisen, (1989), enquanto o P.V.C. queima, seja em um acidente ou em processo de incineração, este libera ainda mais dioxinas tóxicas.

- Não pode ser diretamente reciclado: os aditivos utilizados na fabricação do P.V.C. torna quase impossível a reciclagem em larga escala, pois os mesmos interferem no processo de reciclagem de outros produtos. De acordo com Kaufman (2004), de uma estimativa de 3,5 bilhões de quilogramas de P.V.C. descartados nos Estados Unidos, apenas 9 milhões, aproximadamente, são reciclados.

## 5. METODOLOGIA

No presente trabalho será utilizado o método de análise experimental para obtenção de dados que serão comparados com as definições de incombustibilidade apresentadas pela ISO 1182 – *Fire Tests – Building Materials – Non-combustibility test*.

Como já visto, os revestimentos internos têm grande importância no crescimento ou propagação de um incêndio. O material utilizado como revestimento pode ser tanto o responsável por não contribuir com o fogo, facilitando sua extinção no estágio inicial, como também o responsável pelo início de um grande incêndio ou pela propagação das chamas de um já iniciado.

A correta avaliação das propriedades de reação ao fogo de um material, quando este não é incombustível, funciona mais apropriadamente quando existe a realização de todos ensaios impostos pela IT N°10/2011, do Corpo de Bombeiros de São Paulo, visto que o material pode ser exigido de diferentes maneiras em cada caso, reagindo assim de diversas maneiras, de acordo com o que se está exigindo do material.

Ou seja, caso o material ensaiado venha a apresentar características de um material combustível, deveriam ser analisadas outras propriedades do mesmo através de outros ensaios. Como, por exemplo:

- Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante, usado para determinar a propagação de chamas do material para outros objetos durante uma situação de incêndio;

- Determinação da densidade óptica de fumaça, usado para medir a densidade de fumaça gerada por materiais sólidos;

- *Single Burning Item* – SBI: capaz de fornecer índice da taxa de desenvolvimento de fogo (FIGRA), índice da taxa de desenvolvimento de fumaça (SMOGRA), liberação total de calor do material (THR), produção total de fumaça (TSP), propagação lateral de chama (LFS), e ocorrência ou não de gotejamento e/ou desprendimento de material em chamas.

Mesmo assim, a correlação dos resultados, segundo Mitidieri (2008), é muito difícil de ser realizada.

Outro empecilho para a realização de todos ensaios são seus elevados custos. Acabaria se tornando inviável a realização dos três ensaios exigidos para classificação de forros.



Portanto, o ensaio a ser realizado, tanto por questões financeiras e logísticas, quanto técnicas, será o de incombustibilidade, já que esta reação está presente nos dois estágios iniciais do fogo e possui suma importância para o impedimento do crescimento de um incêndio.

### **5.1 Informações sobre o ensaio**

O ensaio de incombustibilidade foi realizado em amostras de forro de P.V.C. com espessura de fábrica de 7mm, por serem as mais comumente aplicadas nas edificações da região de Santa Cruz do Sul, RS.

Para a realização do ensaio, foram seguidas rigorosamente as determinações da ISO 1182 – *Fire Tests – Building Materials – Non-combustibility test*, pelo ITT Performance, junto à Universidade do Vale dos Sinos – UNISINOS.

Para o controle dos dados coletados do ensaio foi utilizado um software computacional elaborado pela empresa CRK Automação, em parceria com a Grefortek, pertencente ao laboratório do ITT Performance. O ecrã principal do software pode ser visualizado no Anexo C.

### **5.2 Laboratório de ensaio**

Após a realização de orçamentos nos laboratórios IPT (Instituto de pesquisas tecnológicas), de São Paulo, e ITT Performance (Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil), da UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, em São Leopoldo, determinou-se que o ensaio seria realizado nesse último, por questões financeiras e logísticas. O ensaio se mostrou mais viável de ser realizado na UNISINOS devido à proximidade com a cidade de Santa Cruz do Sul (aproximadamente 200km) e por possuir custos de aplicação inferiores aos do IPT.

### **5.3 Confeção das amostras de P.V.C.**

A ISO 1182:2010 determina que as amostras sejam cilíndricas, com diâmetro de 45mm (+0,-2mm) e altura de 50mm ( $\pm 3$ mm).

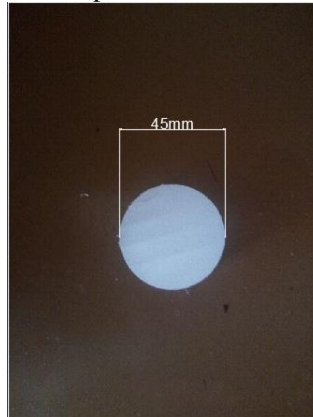
Como os forros, vindos da fábrica, possuem formato de prancha, com espessuras que variam de 7 a 10mm, e comprimentos geralmente de até 9 metros, para a realização do ensaio foram cortados 35 discos de 45mm de diâmetro e 7mm de espessura (Figuras 8 e 9).

Figura 8- Forro de P.V.C. utilizado para o ensaio.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 9- Exemplo de disco de uma amostra.



Fonte: Arquivo do autor.

Para o corte do material foi utilizada uma serra-copo acoplada a uma furadeira de bancada. (Figura 10)

Figura 10- Discos para confecção de amostras.



Fonte: Arquivo do autor.

Após o corte dos discos de P.V.C. com 45mm de diâmetro, foram sobrepostos 7 discos por amostra, totalizando 49mm de altura, dentro do exigido pela norma.

Foram, então, confeccionadas 5 amostras com as dimensões pré-estabelecidas.

#### **5.4 Transporte e condicionamento das amostras.**

Quando realizada a confecção das amostras de P.V.C., os mesmos foram transportados até o laboratório do ITT Performance, na UNISINOS, em São Leopoldo.

Após, as amostras foram condicionadas de acordo com a EN 13238. E então, elas foram secas em uma estufa ventilada mantida em  $60 \pm 5$  °C por um período de tempo entre 20h e 24h, conforme exigido pela ISO 1182:2010.

Em seguida, as amostras foram resfriadas em um dessecador, em temperatura ambiente, onde ficaram até o momento de realização do ensaio.

#### **5.5 Materiais e equipamentos**

Os materiais e equipamentos utilizados, tanto para confecção das amostras, quanto para realização dos ensaios, foram:

- Amostras cilíndricas de forros P.V.C.;
- Furadeira de bancada e serra-copo;
- Paquímetro;
- Estufa ventilada;
- Dessecador;
- Balança digital;
- Cronômetro;
- Paquímetro Digital;
- Máscaras de respiração;
- Medidor Multi-parâmetros;
- Software de controle de dados do ensaio e estabilização do forno;
- Forno cerâmico cilíndrico para ensaio de incombustibilidade;
- Termopares, para monitoramento do andamento do ensaio;
- Equipamento para monitoramento dos termopares localizados no interior do forno, no interior e na superfície da amostra, e também da ocorrência de chamejamento durante o ensaio.

##### **5.5.1 Amostras cilíndricas de P.V.C.**

As amostras utilizadas durante os ensaios (figura 11) foram confeccionadas de acordo com o item 5.2 Confecção das amostras de P.V.C.

Figura 11- Amostra de P.V.C.



Fonte: Arquivo do autor.

### 5.5.2 Furadeira de bancada e serra-copo

Na etapa de confecção das amostras, a furadeira de bancada (figura 12) foi utilizada com uma serra-copo para realização de cortes circulares nas pranchas de P.V.C..

Foram realizados 35 cortes, com diâmetro de 45mm para cada.

Figura 12- Furadeira de bancada com serra-copo.



Fonte: Arquivo do autor.

### 5.5.3 Paquímetros digital e convencional

Utilizados para realizar medições precisas das amostras, evitando, por exemplo, que as amostras fiquem com tamanhos diferentes do exigido pela norma, impossibilitando, assim, a realização dos ensaios. O paquímetro pode ser utilizado para medir dimensões externas, internas e de profundidade de uma peça.

Consistem em uma régua graduada, sobre a qual desliza um cursor.

Para a confecção das amostras, utilizou-se um paquímetro convencional (figura 13).

Figura 13- Paquímetro Convencional.



Fonte: Arquivo do autor.

Anteriormente a realização dos ensaios, as amostras foram verificadas quanto às suas dimensões, com o auxílio de um paquímetro digital (figura 14).

Figura 14 - Paquímetro Digital.



Fonte: Arquivo do autor.

#### 5.4.11 Software de controle de dados do ensaio e estabilização do forno

Utilizou-se o software para ensaios de incombustibilidade da Grefortec, de propriedade do laboratório ITT Performance, para registro, acompanhamento e monitoramento de todas as variações térmicas do forno e dos termopares utilizados.

Além disso, o software auxilia na verificação de estabilização do forno para início e término do ensaio, além de registrar os tempos de chamejamento e de duração total do ensaio.

A tela principal do écran do software pode ser visualizada no Anexo C.

#### 5.5.4 Estufa ventilada

A ISO 1182:2010 determina que as amostras devem ser secas em uma estufa ventilada com temperatura de  $60 \pm 5$  °C por um período de tempo entre 20h e 24h.

A estufa utilizada foi a Estufa com Circulação e Renovação de Ar Forçado, do fabricante De Leo Equipamentos Laboratoriais (figura 15).

Figura 15- Estufa com Circulação e Renovação de Ar Forçado.



Fonte: Arquivo do autor.

#### 5.4.5 Dessecador

Após as amostras serem secas na estufa ventilada, foram colocadas em no dessecador (em temperatura ambiente), onde ficaram até a data de realização dos ensaios. (Figura 16)

O dessecador é um recipiente que contém um filtro com um agente dessecante. A tampa possui uma vedação com utilização de silicone, visando não deixar que o ar adentre o recipiente.

Assim, se manteve o baixo teor de umidade das amostras.

Figura 16- Amostras condicionadas no dessecador.



Fonte: Arquivo do autor.

#### 5.4.6 Balança digital

De acordo com a ISO 1182:2010, deve-se ser medida a massa dos corpos de prova tanto antes quanto após (cinzas e restos remanescentes no forno ou cone usado como suporte do mesmo) a realização dos ensaios.

A precisão desta medição é muito importante para a determinação da propriedade combustibilidade ou incombustibilidade do material ensaiado.

Portanto, a balança digital da marca SHIMADZU, UX Series, modelo UX620H foi utilizada.

Figura 17- Balança digital.



Fonte: Arquivo do autor.



### 5.4.7 Cronômetro

Durante o ensaio, o cronômetro serve para registrar tanto o tempo decorrido do ensaio, quanto o tempo de chamejamento da amostra durante a realização do mesmo.

Pode ser utilizado um cronômetro digital tradicional, mas no presente ensaio, o próprio software para ensaio de incombustibilidade, de autoria da empresa CRK Automação, conectado aos sensores e ao próprio forno registrava o tempo de ensaio, enquanto o tempo de chamejamento da amostra era registrado através do pressionamento de um acionador manual conectado aos sensores do forno, realizado pelo operador do ensaio. (Figura 18)

Figura 18 - Acionador manual para registro de chamejamento.



Fonte: Arquivo do autor.

### 5.4.9 Máscaras de respiração com filtro

Devido a diversos estudos apontarem o P.V.C. como emissor de gases tóxicos enquanto submetido à queima, foram utilizadas máscaras de respiração com filtro (figura 19), fornecidas pelo laboratório. Estas máscaras não tem a mesma eficiência de uma máscara de respiração autônoma, a qual seria ideal para o ensaio, no entanto, diminuem o risco de contaminação.

Figura 19- Máscara de respiração com filtro.



Fonte: Arquivo do autor.



#### 5.4.10 Medidor Multi-parâmetros

O medidor Multi-parâmetros serve para, entre outras diversas funções, medir a temperatura ambiente e a umidade do ar do local.

Para que não haja interferência externa, a ISO 1182:2010 determina que a temperatura ambiente do local não varie mais do 5°C durante a realização do ensaio. Utilizou-se, então, o medidor multi-parâmetros para verificar esta variação. (Figura 20).

Figura 20- Medidor Multi-parâmetros.



Fonte: Arquivo do autor.

#### 5.4.12 Forno cerâmico cilíndrico para ensaio de incombustibilidade

O forno utilizado durante o ensaio (figura 21), e todos os seus componentes, atendem todas as determinações da ISO 1182:2010, a qual fornece as seguintes características:

- O tubo da fornalha deve ser feito de um material refratário de alumina (óxido de alumínio), possuir altura de  $150 \pm 1$  mm, diâmetro interno de  $75 \pm 1$  mm e espessura da parede de  $10 \pm 1$  mm.

- O tudo da fornalha deve ser encaixado no centro de uma borda feita de material isolante com 150 mm de altura e 10 mm de espessura de parede, e equipado com placas no topo e no fundo embutidas internamente para localizar o começo e o fim do tubo da fornalha.

- Um estabilizador de fluxo de ar em forma de cone aberto nas extremidades deve ser anexado na parte inferior do forno. Este estabilizador deve ter 500 mm de comprimento, e reduzir uniformemente seu diâmetro interno inicial de  $75 \pm 1$  mm do topo para  $10 \pm 0,5$  mm do fundo. Deve ser produzido com uma chapa de aço com 1mm de espessura.

Figura 21- Forno cerâmico cilíndrico.



Fonte: Arquivo do autor.

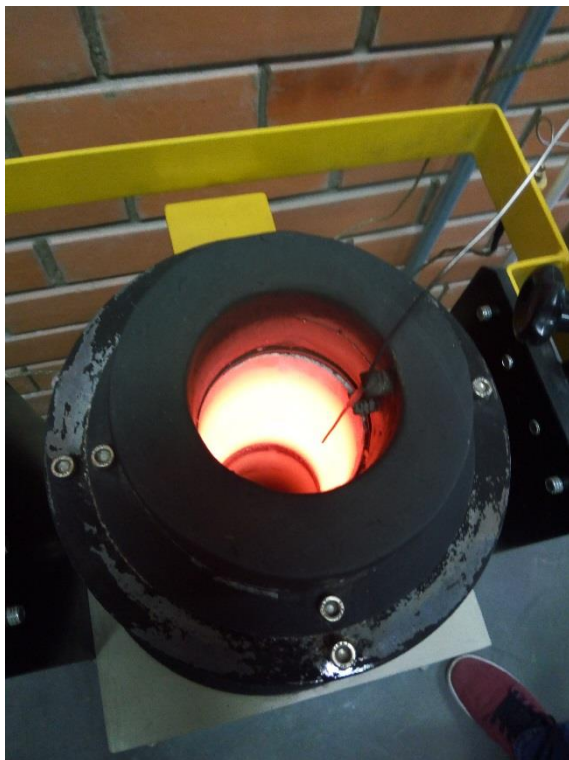
#### **5.4.13 Termopares, para monitoramento do andamento do ensaio**

Os termopares são medidores de temperatura que, durante o ensaio, ficam posicionados em locais pré-definidos (figura 22). Esses locais, de acordo com a ISO 1182:2010, são:

- parede interna do forno;
- superfície externa da amostra;
- centro geométrico da amostra (para este, um furo é feito axialmente no topo).

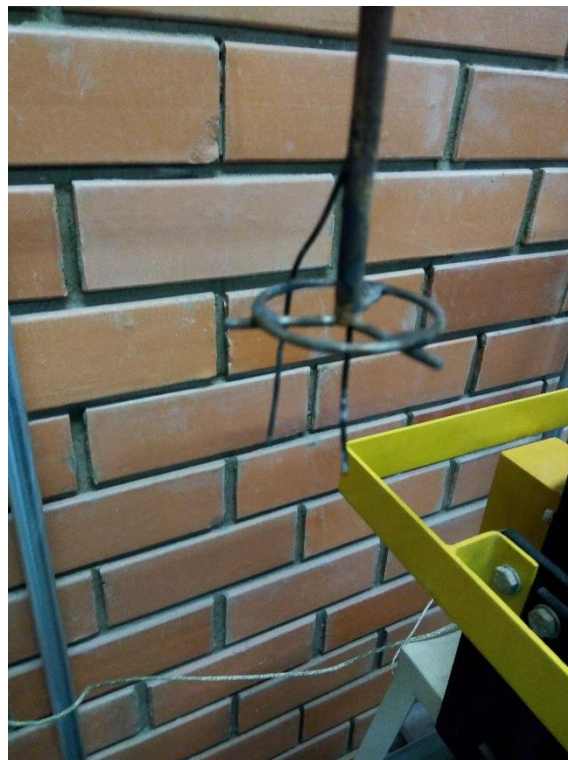
Figura 22- Localização de termopares.

Figura 22a – Termopar na parede interna do forno.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 22b – Termopares das amostras.



Fonte: Arquivo do autor.

#### **5.4.13 Equipamento de monitoramento dos termopares e ocorrência de chamejamento durante o ensaio.**

Equipamento da empresa Grefortec (figura 23) foi responsável por medir e demonstrar a temperatura dos termopares monitorados, e também pelo envio dos dados coletados para o software responsável pelo registro.

Figura 23- Monitorador de termopares e de acionador de chamejamento.



Fonte: Arquivo do autor.

O intervalo de leitura de todos os termopares não pode ser maior do que 1 segundo, de acordo com a ISO 1182:2010.

Também coleta, registra e envia o tempo de chamejamento, quando existente, da amostra durante o ensaio.

### 5.5 Procedimento de realização do ensaio

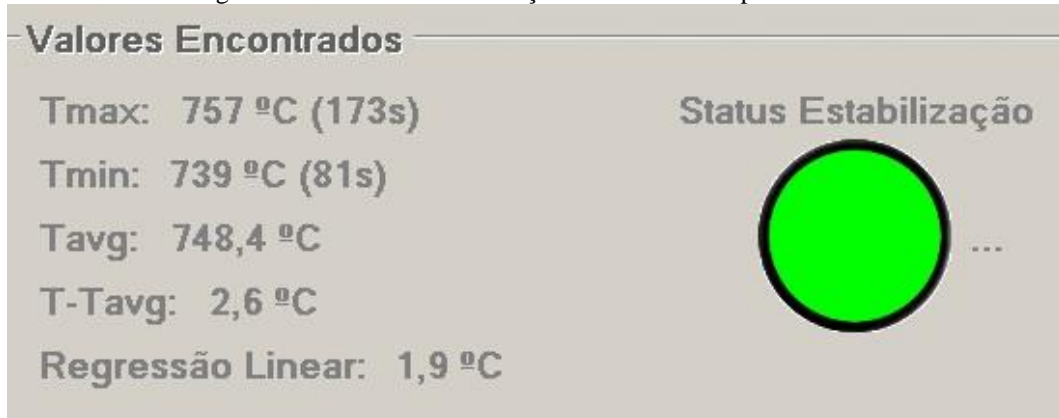
Primeiramente, foram realizados cortes circulares nas pranchas de P.V.C., para confecção das amostras cilíndricas, de acordo com o item 5.2.

Estas amostras foram transportadas até o ITT Performance, na UNISINOS, em São Leopoldo – RS, onde os ensaios foram realizados. Assim que entregues, as amostras foram condicionadas para secagem, em uma estufa ventilada com temperatura de  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas.

Após a etapa de secagem, as amostras foram retiradas da estufa, e então condicionadas no dessecador, para resfriamento, em temperatura ambiente. As amostras permaneceram no dessecador até a realização do ensaio, conforme Figura 16.

No dia do ensaio, o forno foi ligado e programado para se estabilizar em  $750^\circ\text{C}$  (figura 24). Esta estabilização se dá quando o termopar localizado na parede interna do forno indica que, durante 10 minutos, a temperatura se manteve em  $750 \pm 5^\circ\text{C}$ . Além disso, a regressão linear não pode ser maior do que  $2^\circ\text{C}$  durante esses 10 minutos e deve ocorrer um desvio máximo de temperatura médio de  $10^\circ\text{C}$  em 10 minutos. (Figura 25)

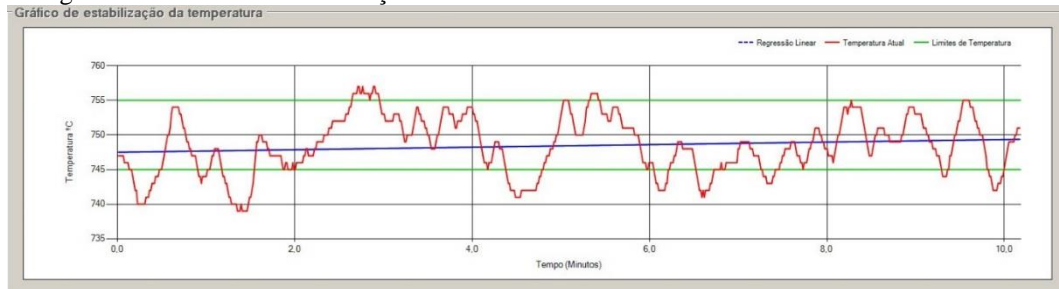
Figura 24 - Dados de estabilização inicial do forno para ensaio 1



Fonte: Software ITT Performance

Para que esta estabilização ocorra, é importante que o local de ensaio se encontre com a temperatura estável. Para isso, as janelas do laboratório foram fechadas, e a temperatura ambiente monitorada com o auxílio de um medidor Multi-parâmetros.

Figura 25- Gráfico de estabilização inicial do forno nos últimos 10 minutos antes do ensaio 1.



Fonte: Software ITT Performance

Durante o tempo de estabilização do forno, a amostra a ser ensaiada foi preparada. Retirou-se a amostra do dessecador, e foi realizado um furo no topo em direção ao seu centro geométrico. Neste espaço, o termopar de leitura da temperatura interior do corpo de prova foi inserido. Essa perfuração foi realizada com uma furadeira de bancada, visando um buraco com aproximadamente 2mm de diâmetro. (Figura 26)

Figura 26- Perfuração do corpo de prova para inserção do termopar.



Fonte: Arquivo do autor



Uma vez furado, o corpo de prova foi levado até a balança digital, onde sua massa inicial foi verificada. (Figura 27)

Figura 27 - Pesagem do corpo de prova para inserção do termopar.



Fonte: Arquivo do autor

Após a amostra ter sido pesada e perfurada, esta foi posicionada no suporte do mecanismo de inserção do forno. Foram posicionados o termopar da superfície da amostra e o termopar do interior da amostra. O corpo de prova deve permanecer pressionado, porém, sem que haja compressão expressiva, para evitar que camadas de ar se formem entre as camadas do material.

A figura 28 mostra o corpo de prova já inserido no mecanismo de inserção, enquanto os últimos cuidados eram tomados antes do início do ensaio.

Figura 28- Posicionamento de amostra no mecanismo de inserção ao forno.



Fonte: Arquivo do autor

Prestes a iniciar o ensaio, foram tomadas medidas de segurança, como evacuação do laboratório por todos aqueles que não fossem necessários ao ensaio, colocação de avisos de “proibido entrar – ensaio em andamento”, instruções operacionais para os acompanhantes do ensaio e colocação de máscaras de respiração com filtro.

Assim que o ensaio começa, o operador responsável pelo ensaio tem apenas 6 segundos para inserir o corpo de prova no forno, iniciando assim o ensaio de incombustibilidade. Deve-se atentar-se ainda ao acontecimento de chamejamento para, assim, pressionar o botão que registra o tempo de ocorrência do chamejamento.

Durante todos os ensaios, no momento de inserção do corpo de prova ao forno, o chamejamento ocorreu quase instantaneamente, e se estendeu até que boa parte da amostra já tivesse sido consumida pelo calor. (Figura 29)

Figura 29- Momento de inserção do corpo de prova no forno.



Fonte: Arquivo do autor

Como pode ser observado na figura 30, no decorrer do ensaio a intensidade do chamejamento foi aumentando, até que a amostra fosse totalmente consumida.

Figura 30- Decorrer do ensaio, com chamejamento mais intenso



Fonte: Arquivo do autor

Devido a emissão de uma grande quantidade de gases tóxicos, o ensaio era apenas acompanhado e observado de perto durante os primeiros minutos, visando a segurança dos envolvidos. Ou seja, após o material ser consumido e o chamejamento parar, o laboratório de ensaio foi evacuado, permanecendo impossibilitado o seu uso por algum tempo após o término

do ensaio, devido à emissão de gases tóxicos e não haver exaustor tanto no equipamento quanto no laboratório.

O ensaio prosseguiu por 30 minutos.

A partir deste momento, o equipamento de controle aguardou pela estabilização final do forno, para que o ensaio se desse por encerrado.

Como esta estabilização não aconteceu até o limite máximo de duração do ensaio (60 minutos), o ensaio foi forçadamente encerrado.

O corpo de prova, então, foi retirado do forno e colocado novamente no dessecador, para resfriar, em temperatura ambiente. Foram recolhidos todos os restos, cinzas e detritos que ficaram abaixo do forno. Após a secagem, os restos foram novamente pesados, para verificação da perda de massa do corpo de prova.

Durante a realização dos ensaios para o presente trabalho, os responsáveis do laboratório ITT Performance, após o ensaio da 2ª amostra, decidiram que o ensaio fosse limitado somente à estas duas amostras.

Os principais fatores que levaram a isto foram:

- A intensidade dos ensaios, visto que as variações térmicas durante os ensaios das duas primeiras amostras foram muito altas, colocando em risco o funcionamento dos equipamentos laboratoriais;

- A densidade de fumaça preta (tóxica) gerada pela queima do material, somada a não existência de um sistema de exaustão recomendado, nem equipamentos de respiração autônoma, colocariam em risco a saúde dos laboratoristas e dos acompanhantes do ensaio, e neste caso, a do próprio pesquisador.



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados adquiridos através dos ensaios, estes realizados nos dias 31 de outubro de 2016, às 11h10min e 09 de novembro às 14h20min foram os seguintes: (Tabela 2)

Tabela 2 - Dados obtidos através dos ensaios

Amostra	Duração (s)	Massa Inicial	Massa final	Chamas (S/N)	Temperatura Inicial	Temperatura Máxima Centro	Temperatura Máxima Superfície	Temperatura Máxima Forno
		(g)	(g)		(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
1	2700	11,053	4,972	SIM	748,4	877,0	975,0	896,0
2	2700	11,47	1,598	SIM	745,7	847,0	948,0	895,0
3	NÃO ENSAIADA							
4	NÃO ENSAIADA							
5	NÃO ENSAIADA							

Ambos os ensaios foram encerrados aos 2700 segundos de duração, indicando que uma estabilização final do forno não foi atingida e que o ensaio teve de ser encerrado por atingir seu tempo limite.

Inicialmente, pode-se perceber uma grande perda de massa de ambas as amostras, e consideráveis elevações de temperatura nos termopares analisados.

Visto que o ensaio ocorre com temperatura inicial de 750°C, esta que ocorre durante o flashover, os materiais liberaram muito calor ao decorrer do ensaio, elevando a temperatura do local do ensaio. Estas variações de temperatura podem ser encontradas na Tabela 3.

Tabela 3- Dados obtidos através dos ensaios – variação de temperatura nos termopares

Amostra	Temperatura Final	Temperatura Final Centro	Temperatura Final Superfície	Temperatura Final Forno	Estabilização (S/N)
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	
1	741,0	136,0	234,0	155,0	SIM
2	751,0	96,0	197,0	144,0	SIM
3	NÃO ENSAIADA				
4	NÃO ENSAIADA				
5	NÃO ENSAIADA				

Esse aumento de temperatura durante o ensaio pode ser relacionado com o alto poder calorífico de materiais derivados do petróleo.

Com os dados apresentados nas tabelas 2 e 3, foi possível calcular a perda de massa das amostras, as variações de temperaturas de todos termopares monitorados, e as durações de chamejamento ocorridas em cada ensaio.

Estes cálculos estão dispostos a seguir:

- Perda de massa das amostras.

Deve-se subtrair a massa final da massa inicial da amostra, resultando assim em uma variação de massa. Essa variação é dividida pela massa inicial e multiplicada por 100 para apresentar o percentual de massa perdida pela amostra durante o ensaio. Esses percentuais encontram-se na tabela 4.

Tabela 4 - Perda de massa das amostras.

Amostra	Massa inicial	Massa final	Perda de massa
	(g)	(g)	$((M_i - M_f)/M_i) * 100$ (%)
1	11,053	4,972	55,02
2	11,47	1,598	86,07

Se compararmos essas perdas de massa com os parâmetros da ISO 1182:2010, a qual limita uma perda de massa máxima de 50% para materiais incombustíveis, pode-se notar que ambas as amostras ultrapassaram este valor. A perda de massa média das duas amostras ensaiadas é de 70,54 %, o que é um valor consideravelmente alto, se comparado com o limite da norma.

Pode-se dizer que isto era previsível, visto que a composição do P.V.C. tem como base derivados combustíveis, por exemplo, o petróleo.

Também foi constatada uma grande diferença de perda de massa dos dois corpos de prova, mas seus motivos não podem ser devidamente identificados. Esta diferença não deveria ter ocorrido, visto que ambos os ensaios ocorreram em condições idênticas, com corpos de prova advindos do mesmo lote do material. A realização do ensaio nas amostras restantes poderia indicar caso algum erro de procedimento tenha ocorrido, mas isto não foi possível.

- Variação máxima de temperatura nos termopares analisados.

Durante a realização dos ensaios de ambas as amostras, todos termopares foram monitorados para controle das variações de temperatura. Essas variações determinam o quanto o material, quando submetido à queima, auxilia no aumento da temperatura do incêndio, podendo vir a facilitar a ignição outros materiais de um determinado ambiente.

As variações máximas de temperatura captadas nas amostras 1 e 2 estão dispostos na tabela 5.

Tabela 5- Temperaturas extraídas dos ensaios.

Amostra	Ti	Tm	Tf	Tmc	Tfc	Tms	Tfs	$\Delta T$	$\Delta T_c$	$\Delta T_s$
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
1	748,4	896,0	741,0	877,0	741,0	975,0	741,0	155,0	136,0	234,0
2	745,7	895,0	751,0	847,0	751,0	948,0	751,0	144,0	96,0	197,0

Onde:

- Ti = Temperatura inicial do termopar do forno
- Tm = Temperatura máxima do termopar do forno
- Tf = Temperatura final do termopar do forno
- Tmc = Temperatura máxima do termopar central
- Tfc = Temperatura final do termopar central
- Tms = Temperatura máxima do termopar superficial
- Tfs = Temperatura final do termopar superficial
- $\Delta T$  = Aumento de temperatura do termopar do forno
- $\Delta T_c$  = Aumento de temperatura do termopar central
- $\Delta T_s$  = Aumento de temperatura do termopar superficial

Com o auxílio destes dados, pode-se observar que as variações térmicas ocorridas na superfície da amostra foram as maiores, com 234,0 °C e 197,0 °C, respectivamente. Mas, analisando ponto a ponto, fica visível que em todos os termopares monitorados a variação de temperatura foi muito alta.

A ISO 1182:2010 determina que a variação máxima de temperatura em qualquer um dos termopares monitorados não pode ser superior a 30°C, deixando claro que em todos termopares analisados esta variação foi superior, em ambos os ensaios.

- Tempo de chamejamento durante os ensaios:

Foram monitoradas todas ocorrências de chamas nas amostras durante os ensaios de ambas amostras, visando determinar por quanto tempo duram os chamejamentos.

Este monitoramento resultou nos seguintes tempos, mostrados na tabela 6.

Tabela 6- Tempo de ocorrência de chammas

Amostra	Nº total de incidentes	Duração da chama (s)
1	1	156,6
2	1	149,9

O limite de tempo de chamejamento estabelecido pela ISO 1182:2010 é de 10 segundos por amostra ensaiada, caso contrário, essa amostra não pode ser classificada como incombustível.

Além disso, os tempos de ocorrência de chammas dessas amostras indicam que as mesmas não são apenas combustíveis, mas também possíveis elementos propagadores de chammas. Isto coloca em risco uma edificação quando da ocorrência de um incêndio, visto que existem grandes probabilidades do material contribuir para a evolução e propagação do mesmo.

Assim, podemos chegar a seguinte correlação dos resultados obtidos com as exigências da ISO 1182:2010: (Tabela 7)

Tabela 7- Comparação de resultados obtidos com as exigências da norma

Limites	Valores máximos estabelecidos pela norma		
	Perda de massa	Varição máxima de temperatura	Tempo de chamejamento
	50%	50°C em qualquer termopar	10 segundos
Amostra	Resultados obtidos		
	Perda de massa (%)	Varição máxima de temperatura (°C)	Tempo de chamejamento (s)
1	55,01673754	234,0	156,6
2	86,06800349	197,0	149,9
Atende os limites exigidos? (S/N)	Não	Não	Não

Com os resultados apresentados, pode-se definir o forro de P.V.C. ensaiado como combustível, visto que todas os parâmetros definidos pela norma não foram atendidos, tanto na amostra 1, quanto na amostra 2.

## 7. CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs o acompanhamento e análise de resultados de um ensaio de incombustibilidade, assim como a classificação do material de construção estudado: forro de P.V.C. (Policloreto de Vinila) de acordo com sua combustibilidade.

O trabalho tem grande importância devido a carências de estudos recentes realizados nesta área, visando caracterizar as propriedades de reação ao fogo de um material comumente utilizado em edificações de diversos usos e ocupações.

Com a realização do ensaio de incombustibilidade, foi possível, de acordo com os resultados obtidos durante os ensaios, caracterizar o material estudado como combustível, cabendo ressaltar que, apesar de apenas duas amostras terem sido ensaiadas, seus expressivos resultados indicam um alto índice de combustibilidade, o que pode ser explicado facilmente devido ao P.V.C. ter como base de sua composição o petróleo.

Porém, ainda não pode ser excluída a possibilidade de utilização de forros de P.V.C. em qualquer local, seja este de caráter de reunião de público ou não, devido à Instrução Técnica nº 10/2011 admitir materiais combustíveis nas edificações, desde que estes atendam determinados requisitos para serem enquadrados, no mínimo em classe III-A, para ocupações residenciais (exceto cozinhas, que devem atingir desempenho mínimo de II-A), e em II-A para o restante das ocupações, visando baixa propagação do fogo e pequena emissão de gases quando da ocorrência de um incêndio.

No entanto, como pôde ser observado durante a realização dos ensaios, e com o auxílio de estudos bibliográficos, os gases emitidos pela queima de P.V.C. colocam em risco a população presente durante um incêndio, mesmo que este não chegue ao nível de “*flashover*”, onde a temperatura atingida é bastante alta, e todos os materiais do ambiente são ignizados.

Também é importante citar que quando há chamejamento, a emissão de fumaça tende a ser menor do que quando o material não está ignizado. Porém, o forro de P.V.C. se mostrou muito instável quanto a isso, emitindo grandes quantidades de fumaça mesmo quando da existência de chamas, aumentando ainda mais o seu perigo em caso de incêndio em uma edificação ocupada.

A aplicação de produtos químicos com intenção de retardar a ignição ou propagação de chamas é um fator que pode vir a ser estudado, já que o presente trabalho utilizou amostras sem utilização de qualquer aditivo retardante. Cabe-se ressaltar, porém, que o autor não acredita em consideráveis melhoras nos resultados, pois as características apresentadas pelo material durante os testes de incombustibilidade se mostraram extremas.

Entretanto, essa adição de produtos químicos retardantes no P.V.C. pode vir a surtir melhores efeitos visando a realização de novos ensaios que não sejam o de incombustibilidade.

Sugere-se, ainda, a realização dos seguintes ensaios em futuros trabalhos: SBI, determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante, e determinação da densidade óptica de fumaça. Assim, uma classificação mais precisa do forro P.V.C. poderá ser adquirida.

Caso venham a se confirmar as características de elevação de temperatura do ambiente, propagação de chamas e emissão de quantidades fatais de gases tóxicos, deverão ser estudados novos meios de utilização mais segura deste material na construção civil, seja através da criação de novos aditivos retardantes mais eficientes, seja através de novos meios de produção com uma composição que não seja majoritariamente derivada do petróleo, ou então o P.V.C. tenderá a cair em desuso não apenas na construção civil, mas em todas áreas da indústria em âmbito global.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECWEB, Utilização de P.V.C. cresce na construção civil. S.D. Disponível em: <[http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/utilizacao-de-pvc-cresce-na-construcao-civil\\_780\\_10\\_0](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/utilizacao-de-pvc-cresce-na-construcao-civil_780_10_0)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 9442*: Materiais de Construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. Rio de Janeiro, 1988.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E136-16*, Standard Test Method for Behavior of Materials in a Vertical Tube Furnace at 750°C (RESUMO), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. Disponível em: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E136>. Acesso em: 05 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. *ASTM E662 – 15a*, Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials (RESUMO), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. Disponível em: < <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E662>>. Acesso em 05 jun. 2016.

BENI, Eduardo Alexandre. O incêndio do Edifício Andraus pelo Comandante Sayão. 2012. Disponível em: <<http://www.pilotopolicial.com.br/o-incendio-edificio-andraus-pelo-comandante-sayao/>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

CARLOS, Edison. "Aplicação do PVC na Construção Civil"; S.D.; Instituto do PVC . Disponível em < [http://www.institutodopvc.org/publico/?a=conteudo\\_link&co\\_id=122](http://www.institutodopvc.org/publico/?a=conteudo_link&co_id=122)>. Acesso em 14 de junho de 2016.

CUOGHI, Ricardo de Scarabello. Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio. 2006. 247 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjgxePMiqvNAhXCI5AKHY32A74QFggiMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.teses.usp.br%2Fteses%2Fdisponiveis%2F3%2F3146%2Fde-02042008-180545%2Fpublico%2FDissertacao\\_Ricardo\\_Cuoghi\\_Revisado\\_apos\\_Defesa.pdf&usq=AFQjCNHGRKk7p7zSZetKvAaq4IRstsAdaQ&sig2=ISDLyi4N69x4mn597Hvf5A&bvm=bv.124272578,d.Y2I](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjgxePMiqvNAhXCI5AKHY32A74QFggiMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.teses.usp.br%2Fteses%2Fdisponiveis%2F3%2F3146%2Fde-02042008-180545%2Fpublico%2FDissertacao_Ricardo_Cuoghi_Revisado_apos_Defesa.pdf&usq=AFQjCNHGRKk7p7zSZetKvAaq4IRstsAdaQ&sig2=ISDLyi4N69x4mn597Hvf5A&bvm=bv.124272578,d.Y2I)>. Acesso em: 10 jun. 2016.

DE OLIVEIRA, Carlos Roberto Metzker; BERTO, Antônio Fernando . Relatório de Ensaio Nº 953 688 - 203: Ensaio de incombustibilidade. São Paulo: [s.n.], 2007. 3 p. Disponível em: <[http://www.larochoa.com/certificados/IPT\\_INCOMBUSTIBILIDADE.pdf](http://www.larochoa.com/certificados/IPT_INCOMBUSTIBILIDADE.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2016.

DEL CARLO, A Segurança Contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

DRYSDALE, Dougal. An introduction to fire dynamics; Londres: John Wiley & Sons Ltd., 1998.

FIRE Dynamics: Fire Behaviour. 16 jul, 2013 Disponível em:<[http://www.nist.gov/fire/fire\\_behavior.cfm](http://www.nist.gov/fire/fire_behavior.cfm)>. Acesso em: 05 jun. 2016.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Polímero PVC", S.D.; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/polimero-pvc.htm>>. Acesso em 14 de junho de 2016.

HEALTHY BUILDING SCIENCE, PVC Dangers and Healthy Alternatives, 29 mar 2013. Disponível em: < <http://healthybuildingscience.com/2013/03/29/pvc-dangers-and-healthy-alternatives>>. Acesso em 12 de novembro de 2016.

HIRSCHLER, Marcelo M. INTERNATIONAL BUILDING CODE – FIRE SAFETY: FS5-07/08, Part I. [S.l.: s.n.], 2008. 93 p. Disponível em: <<https://www.iccsafe.org/cs/codes/Documents/2007-08cycle/FAA/IBC-FS5-FS147.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 1182:2010*. Reaction to fire tests for products — Non-combustibility test; Geneva, Switzerland, 2010.

\_\_\_\_\_. *ISO 13943:2008* Fire Safety – Vocabulary; Geneva, Switzerland, 2008.

KAUFMAN, S.M. “The State of Garbage in America: 14th Annual Nationwide Survey of Solid Waste Management in the United States.” *Revista Bio Cycle*, Jan 2004.

MADRZYKOWSKI, D. Fire dynamics: the science of fire fighting. In: RESEARCH SYMPOSIUM 2012 (RS12). p. 1-9.

MITIDIERI, Marcelo Luis . O Comportamento dos materiais e componentes construtivos diante do fogo - Reação ao Fogo. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. *A segurança contra incêndio no Brasil*. Barueri - São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. 5, p. 55-76.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION: *NFPA Glossary of Terms. Massachusetts, Estados Unidos. 2013*.

NIST: National Institute of Standards and Technology. Homepage Institucional. Disponível em: < <http://www.nist.gov/>> . Acesso em: 05 jun. 2016.

PIOTO, Luciana . Sobreviventes do incêndio no Joelma escaparam com ajuda de "anjos". *UOL Notícias*, São Paulo, 01 fev. 2014. Cotidiano, p. 1. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2014/02/01/sobrevivente-comemora-40-anos-de-vida-apos-incendio-no-edificio-joelma.htm>>. Acesso em: 15 maio 2016.

PIRES, Amanda Laura. Avaliação de risco de incêndio: Método de Gretener aplicado ao centro de tecnologia (UFSM). 2015. 132 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2015.

PLASBIL REVESTIMENTOS: Homepage Institucional Disponível em: <<http://www.plasbil.com.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

PVC. PVC's physical properties. S.D. Disponível em: < <http://www.pvc.org/en/p/pvcs-physical-properties>>. Acesso em 12 de novembro de 2016.

RODA, Daniel Tietz. "Materiais: PVC"; Tudo sobre plásticos, 10 jul. 2014. Disponível em <<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/pvc.asp>>. Acesso em 14 de junho de 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA. Polícia Militar do Estado de São Paulo - Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica Nº10/2011: Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento. São Paulo: [s.n.], 2011. 10 p.

SEITO, Alexandre Itiu. Fundamentos de Fogo e Incêndio. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. *A segurança contra incêndio no Brasil*. Barueri - São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. 4, p. 35-54.



SOLVAY: Homepage Institucional. Disponível em: <<http://www.solvay.com/en/index.html>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

TAVAREM, Flávio . Três anos depois... Zero Hora, [S.l.], 24 jan. 2016. Notícias, p. 1. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticia/2016/01/tres-anos-depois-4958050.html#>>. Acesso em: 15 maio 2016.

THEISEN, J. Determination of Pcdfs & Pcdds in Fire Accidents and Laboratory Combustion Tests Involving PVC-Containing materials. 1989.

VITESSE: Homepage Institucional Disponível em: < <http://www.vitesse.ind.br/home/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

## ANEXOS

## Anexo A

## CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO DE INCÊNDIO QUANTO À OCUPAÇÃO

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, vestiários, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos, divisão A-3 com mais de 16 leitos
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se <i>apart-hotéis</i> , <i>flats</i> , <i>hotéis residenciais</i> )
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	Artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros
		C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, armazéns, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros
		C-3	<i>Shopping centers</i>	Centro de compras em geral ( <i>shopping centers</i> )
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleiros, centros profissionais e assemelhados
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados
		D-5	Teleatendimento em geral	"Call-center"; televendas e assemelhados
E	Educação e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e assemelhados
		E-2	Escola especial	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolas religiosas e assemelhados
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais, natação, ginástica (artística, dança, musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados. Sem arquibancadas
		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins de infância

## Anexo A

		H-2	Local onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, reformatórios, tratamento de dependentes de drogas, álcool. E assemelhados. Todos sem celas
		H-3	Hospital e assemelhado	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e piscicultura e assemelhados com internação
		H-4	Edificações das forças armadas e de segurança pública	Quartéis, delegacias e assemelhados
		H-5	Local onde a liberdade das pessoas sofre restrições	Hospitais psiquiátricos, manicômios, reformatórios, prisões em geral (casa de detenção, penitenciárias, presídios) e instituições assemelhadas. Todos com celas
		H-6	Clínica e consultório médico e odontológico	Clínicas médicas, consultórios em geral, unidades de hemodíalise, ambulatórios e assemelhados. Todos sem internação
I	Industrial	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio de até 300MJ/m <sup>2</sup>	Atividades que utilizam pequenas quantidades de materiais combustíveis. Aço, aparelhos de rádio e som, armas, artigos de metal, gesso, esculturas de pedra, ferramentas, joias, relógios, sabão, serralheria, suco de frutas, louças, máquinas
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 300 até 1.200MJ/m <sup>2</sup>	Artigos de vidro, automóveis, bebidas destiladas, instrumentos musicais, móveis, alimentos, marcenarias, fabricas de caixas
		I-3	Locais onde há alto risco de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 1.200MJ/m <sup>2</sup>	Atividades industriais que envolvam inflamáveis, materiais oxidantes, ceras, espuma sintética, beneficiamento de grãos, tintas, borracha, processamento de lixo
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível	Edificações sem processo industrial que armazenam tijolos, pedras, areias, cal, cimentos, metais não pirofóricos e outros materiais incombustíveis. Todos sem embalagem
		J-2	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300MJ/m <sup>2</sup>
		J-3	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio acima de 300 até 1.200MJ/m <sup>2</sup>
		J-4	Todo tipo de Depósito	Depósitos onde a carga de incêndio acima de 1.200MJ/m <sup>2</sup>
L	Explosivo	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhados
		L-2	Indústria	Indústria de material explosivo
		L-3	Depósito	Depósito de material explosivo
M	Especial	M-1	Túnel	Túnel rodoviário e marítimo, destinados a transporte de passageiros ou cargas diversas
		M-2	Líquido ou gás inflamáveis ou combustíveis	Edificação destinada a produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases inflamáveis ou combustíveis
		M-3	Central de comunicação	Central telefônica, centros e estações de comunicação e assemelhados
		M-4	Propriedade em transformação	Locais em construção, demolição, canteiros de obras e assemelhados

## Anexo B

**Tabela A.3:** Classificação dos materiais especiais que não podem ser caracterizados através da NBR 9442 exceto revestimentos de piso

Método de ensaio		ISO 1182	EN 13823 (SBI)	EN ISO 11925-2 (exp. = 30 s)
Classe				
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$ ; $\Delta m \leq 50\%$ ; $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGR $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGR $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
III	A	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGR $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGR $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
IV	A	Combustível	FIGRA $\leq 750 \text{ W/s}$ SMOGR $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 750 \text{ W/s}$ SMOGR $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
V	A	Combustível	FIGRA $> 750 \text{ W/s}$ SMOGR $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
	B	Combustível	FIGRA $> 750 \text{ W/s}$ SMOGR $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
VI		-	-	FS $> 150 \text{ mm}$ em 20 s

**Notas:**

FIGRA – Índice da taxa de desenvolvimento de calor.

LSF – Propagação lateral de chama.

THR600s – Liberação total de calor do corpo de prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas.

TSP600s – Produção total de fumaça do corpo de prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas.

SMOGR – Taxa de desenvolvimento de fumaça, correspondendo ao máximo do quociente de produção de fumaça do corpo de prova e o tempo de sua ocorrência.

FS – Tempo em que a frente de chama leva para atingir a marca de 150 mm indicada na face do material ensaiado.

$\Delta T$  – Variação de temperatura no interior do forno.

$\Delta m$  – Variação da massa do corpo de prova.

$t_f$  – Tempo de flamejamento do corpo de prova.

## Anexo C

