

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**LUIZ GUSTAVO MENDONÇA CRUZ**

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL  
E O RISCO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

**BELO HORIZONTE**

**2021**

LUIZ GUSTAVO MENDONÇA CRUZ

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL  
E O RISCO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado no curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Dra. Aline Bruna da Silva

BELO HORIZONTE

2021

LUIZ GUSTAVO MENDONÇA CRUZ

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL  
E O RISCO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado no curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em:

**BANCA-EXAMINADORA**

---

Prof. Dra. Aline Bruna da Silva – Orientadora

---

Prof. Dr. Breno Rocha Barrioni

---

Eng. esp. Lucas dos Santos Fernandes



## RESUMO

No Brasil, anualmente, dezenas de vidas são perdidas em incêndios em que a fumaça de materiais poliméricos é fator principal. Em um cenário de crescimento da população urbana e de recuperação do crescimento industrial, a construção civil tem papel importante e a redução de custo é primordial. Nesse sentido, materiais poliméricos de baixo custo surgem como possibilidade para as mais diversas aplicações. Contudo, há ainda incerteza sobre como e até qual volume estes materiais podem ser utilizados, resguardando a segurança das pessoas que ocupam definitiva ou momentaneamente dada edificação. Neste trabalho realizou-se um estudo de caso acerca das ocorrências de incêndios em edificações no Brasil e investigação profunda das tragédias ocorridas na Boate *Kiss* (2013) e no Ninho do Urubu (2019), que dizimaram centenas de vidas. O trabalho identificou a alarmante participação de materiais poliméricos no número de óbitos anual no Brasil e mostrou, na dinâmica de cada uma das tragédias, as semelhanças que tiveram, na incorrência do poliuretano em ambos, aprofundando em como este material pode ter sido preponderante nos casos.

Palavras chave: incêndio; polímeros; construção civil

## ABSTRACT

In Brazil, annually, lives are lost in fires and the smoke from polymeric materials is the main factor. In a scenario of urban population growth and industrial growth recovery, civil construction plays an important role and cost reduction is essential. It is in this sense that low cost polymeric materials appear as a possibility for the most diverse applications. However, there is still uncertainty about how and to what volume of these materials can be used, safeguarding the safety of people who permanently or shortly occupy those building. In this work, a case study research was carried out on the occurrences of fires in buildings in Brazil and an in-depth investigation of the tragedies that took place in the Nightclub Kiss (2013) and in the Ninho do Urubu (2019), which hundreds of lives were lost. The work identified the alarming participation of polymeric materials in the annual number of deaths in Brazil and showed, in the dynamics of each tragedies, the similarities they had, in the occurrence of polyurethane in both, deepening in how this material may have been predominant in the cases.

Keywords: fire; polymers; construction

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo físico e químico de ignição de materiais poliméricos.....	16
Figura 2 - Etapas para elaboração de um estudo de caso .....	21
Figura 3 - Fluxograma que apresenta a metodologia desenhada para realização deste estudo de caso. ....	23
Figura 4 – Imagens feitas da Boate <i>Kiss</i> .....	29
Figura 5 – Planta baixa da estrutura provisória de alojamento no Ninho do Urubu .....	31
Figura 6 – Imagem aérea do que sobrou da estrutura provisória após o incêndio, durante o trabalho pericial .....	32
Figura 7 – Curva tempo-temperatura da evolução de um edifício em situação de incêndio....	35
Figura 8 – Comparação das curvas tempo-temperatura apresentadas na ISO 834 e ASTM E-119 .....	36
Figura 9 – Curva TGA das amostras de espuma de poliuretano sem retardantes em ar .....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos de fulgor e ignição de alguns polímeros.....	16
Tabela 2 – Ocorrências de incêndio no Brasil, segundo relatos jornalísticos veiculados digitalmente em 2019 .....	27
Tabela 3 – Percentual de vítimas com diferentes níveis de COHb e HCN no sangue .....	33
Tabela 4 – Níveis de carboxihemoglobina na atmosfera (exposição prolongada) e no sangue e os efeitos provocados em humanos .....	34



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	10
2.	OBJETIVOS .....	12
2.1	Objetivo geral .....	12
2.2	Objetivos específicos .....	12
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
3.1	Elementos de incêndio .....	13
3.2	Inflamabilidade de Polímeros .....	14
3.3	Natureza do Edifício .....	17
3.3.1	População Característica.....	18
3.4	Citotoxicidade da fumaça polimérica .....	18
3.5	Aditivos retardantes de chamas .....	18
3.5.1	Ação química .....	19
3.5.2	Ação física .....	19
3.6	Avaliação da inflamabilidade .....	19
3.7	Estudo de caso .....	20
3.7.1	Definição.....	20
3.7.2	Estrutura.....	20
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
4.1	Planejamento.....	23
4.2	Design do estudo e coleta de dados .....	24
4.2.1	Referencial teórico.....	24
4.2.2	Referencial de casos .....	25
4.3	Análise dos dados .....	25
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1	Incêndios na construção civil em 2019.....	26
5.2	Tragédias humanitárias: Boate <i>Kiss</i> , 2013 e Ninho do Urubu, 2019.....	28
5.2.1	Boate <i>Kiss</i> , 2013 .....	28

5.2.1.2 Desfecho .....	30
5.2.2 Ninho do Urubu, 2019 .....	30
5.2.3 A espuma de poliuretano na construção civil em situação de incêndio .....	33
5.2.3.1 Comportamento dinâmico do Poliuretano em situação de incêndio .....	34
6. CONCLUSÃO .....	38
7. REFERÊNCIAS .....	39
APÊNDICE A – Planilha de ‘ <i>Review</i> de casos’ de incêndio no Brasil no ano de 2019, que com retratos jornalísticos, veiculados digitalmente.....	44

## 1. INTRODUÇÃO

As grandes evoluções na história da humanidade são aliadas à grandes mudanças de matrizes materiais utilizadas, sejam para confecções de ferramentas, bens de consumo, maquinários ou construção civil. Este último sendo fundamental para o desenvolvimento econômico de um país, mas ainda enfrenta muitas dificuldades em aplicar novas tecnologias e materiais, sobretudo no Brasil (MANO, 2000).

Os materiais poliméricos despontam como uma grande possibilidade de inserção nesse mercado por suas propriedades mecânicas, de condução térmica e elétrica, baixa densidade e seu valor comercial como matéria prima, aliado à inúmeras possibilidades de processamento. No Brasil, em 2018, em relatório produzido pela Abiplast – Associação Brasileira da Indústria de Plástico – 23,8% do valor econômico gerado pelo consumo interno aparente de transformados plásticos se deu na construção civil.

Neste sentido, muitas vezes, são aplicados à reveria, sem os devidos estudos que possam certificar a eficácia e segurança para implementá-los, em que nos últimos anos se destacaram grandes acidentes humanos envolvendo a combustão destes materiais no Brasil: incêndio na boate *Kiss*, 2013, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, e o incêndio em uma instalação provisória para alojamento de atletas da categoria de base do Clube de Regatas Flamengo, em seu centro de treinamento, Ninho do Urubu, na capital do Rio de Janeiro, em 2019. Em ambos, dezenas de vidas perdidas e a principal causa destas mortes não foi o calor ou em decorrência direta da alta temperatura, mas em consequência da inalação de gases tóxicos advindos da degradação de um tipo de material polimérico, o Poliuretano, empregado como isolante sonoro e térmico, conforme apresentado pelos laudo produzidos pelo Instituto de Criminalística Carlos Éboli, da Polícia Civil do estado do Rio de Janeiro e pela Polícia Civil do Rio Grande do Sul (RUCHETTE, 2019).

Os estudos do comportamento de materiais expostos à sociedade devem ser mais corriqueiros à engenharia, bem como produtos e aplicações lhes deveria ser exigida certificação do cumprimento das normas técnicas vigentes, se houverem, ou até mesmo a proposição de normatização que melhor abranja o tema, de modo que se faça valer sempre a responsabilidade

de estar dispendo à sociedade um produto que seja de mais-valia aos já existentes em vários aspectos, sobretudo de segurança.

Para o presente estudo de caso seguiu-se as metodologias elaboradas por Noor (2008), Miguel (2007) e Yin (2009), através de cinco etapas: planeamento, desenho do escopo de estudo, coleta e análise de dados e por fim a conclusão. O planeamento consistiu em identificar o cerne e as principais questões do estudo, que definiram seu objetivo. Na parte de desenho do escopo de estudo foi feito levantamento dos espaços a serem estudados: levantamento dos acidentes, universo acadêmico e causal.

O levantamento dos acidentes foi feito tendo como frentes de estudo uma revisão dos acidentes que foram noticiados e veiculados digitalmente por jornais e portais de todo o Brasil no ano de 2019. Dados do universo acadêmico foram obtidos através de condições de filtragem que respondiam princípios fundamentais que o estudo deveria atender acerca do tema. Enquanto, a investigação das tragédias na Boate *Kiss* e Ninho do Urubu foi feita através dos laudos periciais e inquéritos apresentados pelas policias civis e Ministérios Públicos de cada estado envolvido.

Identificou-se que 35% dos óbitos registrados em incêndios no ano de 2019 foram diretamente relacionados com a ocorrência e inalação de fumaça de materiais poliméricos. Nos dois incidentes estudados a fundo foram identificados as principais falhas de segurança e que ambos incêndios tiveram em comum a presença de espumas de poliuretano, sem aditivo de retardantes de chama, que faz com que o próprio material atue na ativação do fenômeno de *flashover*, e o cianeto de hidrogênio (HCN) foi também em ambos o precursor dos óbitos. Nota-se que mesmo a magnitude destas tragédias e a recorrência de vidas perdidas em incêndios com polímeros, ainda não há no Brasil quaisquer legislação ou norma que limite o reja as melhores práticas para que possam ser aplicados com segurança.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Investigar, através de um estudo de caso, as ocorrências e prevenções de incêndios com polímeros como complicador, no Brasil. Revisar a verdadeira relevância do tema através de levantamento estatístico de casos, estudar com minúcia as principais tragédias recentes e indicar perguntas fundamentais para proposição de novos estudos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Levantamento estatístico de casos de incêndio tendo polímeros como fator importante;
- Analisar o cenário de produção acadêmica nacional quanto à segurança de poliméricos em situações de incêndio;
- Estudar os casos emblemáticos a fim de identificar a fundo quais foram as principais falhas e motivadores para que acontecessem e como poderiam ser evitados do ponto de vista da Engenharia de Materiais.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Elementos de incêndio**

Incêndio é um fenômeno de descontrole e propagação de chama e tem seu princípio associado à combustão de matérias que não tinham esta finalidade ou que ela não ocorresse de forma descontrolada. Este acidente pode ocorrer em ambientes domésticos, coletivos, naturais e pode oferecer grande risco à seres vivos e estruturas. Invariavelmente, a propagação da chama depende de fatores que desencadeiem a combustão – calor, combustível e comburente, e nas edificações há grande presença de combustíveis, na sua grande maioria compostos com alto índice de carbono como mobiliário de madeira, gases combustíveis, polímeros em equipamentos, materiais de construção, isolamento, entre outros acessórios (GALLO, 1998).

É possível identificar a importância do processo de combustão para a natureza e existência humana, não podendo este ser rotulado como um processo negativo, todavia deve-se ter controle e responsabilidade sobre (TURNS, 2000). Ainda segundo Turns, a combustão se trata de um processo de rápida oxidação com geração de calor e luz, transformação de energia estocada na forma de ligações químicas, em calor.

No processo de combustão de materiais poliméricos, é comum que no primeiro estágio – aquecimento por fonte externa – haja degradação da cadeia e então o surgimento das primeiras moléculas voláteis: monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos não queimados não ou parcialmente queimados, principalmente (GALLO, 1998).

Os mecanismos e produtos de queima variam muito de acordo com o tipo de material combustível. O comportamento de materiais poliméricos pode ser relatado em generalização devido a similaridades moleculares que apresentam, mesmo que haja multiplicidade de construção química e conformacional destes materiais um padrão se mantém, grandes cadeias carbônicas, que delineiam características similares de combustão para estes materiais (CAVANI, 2008).

### 3.2 Inflamabilidade de Polímeros

A inflamabilidade, assim como outras propriedades, é intrínseca ao material. Assim como na maioria dos materiais, quando aquecidos, os polímeros sofrem alterações físicas e químicas à medida em que recebem calor até que haja degradação total, formando moléculas voláteis (ALVES, 2014).

Esses compostos voláteis formam espontaneamente misturas combustíveis com o ar que inflamam facilmente e queimam em alta taxa. Os polímeros são moléculas muito grandes (macro) com as mesmas forças intermoleculares e intramoleculares que os compostos de baixo peso molecular, mas sua temperatura de ebulição é essencialmente infinita devido ao seu alto peso molecular (LYON, 2005). Deste modo, o material deve receber fonte contínua de calor para que ligações intra/intermoleculares sejam quebradas gerando as espécies voláteis e consequentemente o processo de queima seja mantido (KILIARIS, 2010).

A decomposição forçada por temperaturas elevadas é influenciada pela composição química, arranjo molecular do material, estado físico e o *design* do objeto produzido com o material. Polímeros termorrígidos, por exemplo, são mais resistentes à combustão, e espécies com anéis aromáticos apresentam maior resistência à decomposição, até a auto extinção, assim como polímeros que possuem grupamentos de éster favorecem o desprendimento de CO<sub>2</sub> e consequente modulação na retardação das chamas (ZHANG, 2004).

GALLO (1998) subdivide a reação de um material polimérico em condições de incêndio em cinco:

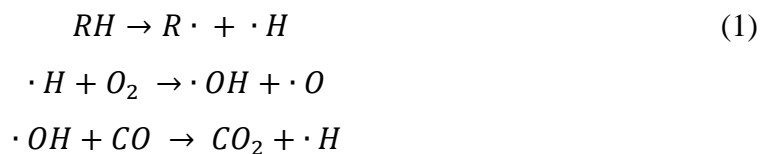
- **AQUECIMENTO**

Ocorre o aquecimento propriamente dito do material através de calor oferecido por uma fonte externa, através de contato direto com a chama, convecção com gases quentes ou condução por contato com material sólido com maior temperatura.

- PIRÓLISE

Atinge-se a temperatura de decomposição da matriz polimérica, com início da formação de moléculas voláteis, podendo ser combustíveis (alcanos, alcenos e monóxido de carbono), não combustíveis (vapor de água e dióxido de carbono), gases corrosivos (cloreto e brometo de hidrogênio), fase líquida advinda de cadeias poliméricas de menor massa molar e partículas sólidas (fuligem e minerais) (GALLO, 1998).

Para poliolefinas (polímeros cujos monômeros podem ser divididos em olefinas simples ou alquenos) como o polietileno, no processo de pirólise ocorrem reações que são de extrema importância para o processo de ignição, a formação de hidroperóxidos (ROOH), o qual a decomposição gera moléculas extremamente reativas ( $H\cdot$   $HO\cdot$ ) e combustível (R) de acordo com a Equação (1) (LYON, 2005).



As duas últimas etapas, em presença suficiente de oxigênio, formam um ciclo fechado de reações que ocorrerão em cadeia, impulsionando cada vez mais o processo de combustão, aliado com a primeira etapa da reação de formação do radical ativo.

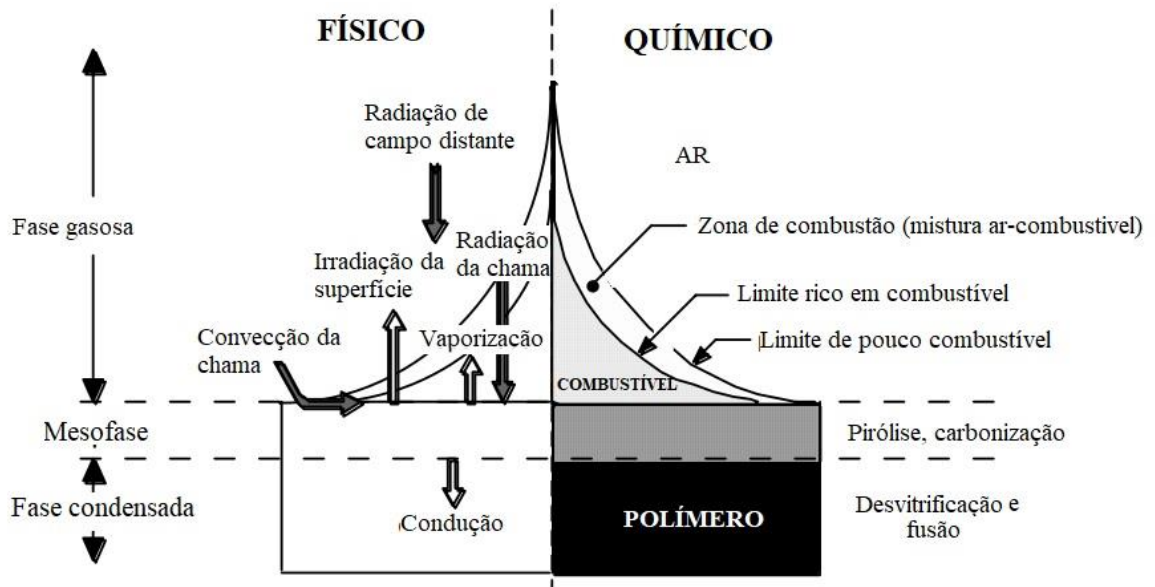
- IGNIÇÃO

Na ignição, os gases voláteis convertidos em espécies ativas estão na superfície do polímero, onde há presença de oxigênio, na região chamada de queima gasosa – conforme Figura 1. Nesta região há concentração de gases combustíveis e comburente, e se houver fonte externa de calor, ou se a região estiver acima da temperatura de autoignição, essa mistura se inflamará (GALLO, 1998).

Segundo LYON (2008), o processo físico se dá principalmente pelos fenômenos termodinâmicos envolvidos, de transmissão de calor do meio para o material referido e o estado físico juntamente com os movimentos realizados pelos gases voláteis expelidos pelo material.



**Figura 1 - Processo físico e químico de ignição de materiais poliméricos**



Fonte: (LYON, 2005, adaptado)

Respectivamente, as temperaturas de ignição por fonte externa de calor e autoignição são ditas ponto de fulgor e ponto de ignição, conforme valores de polímeros exemplificados na Tabela 1 (CAVANI, 2008).

**Tabela 1 - Pontos de fulgor e ignição de alguns polímeros**

Polímero	Temperatura de Fulgor (°C)	Temperatura de Ignição (°C)
Polietileno	340	350
Polipropileno	320	350
Poliestireno	350	490
Poli(cloreto de vinila)	390	450
Poli(tetrafluoretileno)	560	580
ABS	390	480
Poli (metil metacrilato)	300	430
Poliacrilonitrila	480	560
Poliamida 6	420	450
Poliamida 66	490	530
Poliuretano, Espuma rígida	310	415
Algodão	210	400

Fonte: (GALLO, 1998)

- **COMBUSTÃO**

A reação de combustão iniciada na etapa de ignição é um processo altamente exotérmico, deste modo há maior quantidade de energia sendo liberada no meio, deslocando as velocidades de reação das etapas de pirólise e ignição no sentido de propagação do evento, com mais formação de gases, maior quantidade de combustão e assim sucessivamente enquanto houver material combustível, tornando o processo quase irreversível (BORYNIEC, 2001).

- **EXTINÇÃO**

À medida em que o fogo se propaga, o material se degrada e tem seu potencial combustível consumido, já que a energia gerada na reação exotérmica de combustão não é mais suficiente para alimentar o processo de retroalimentação térmica do material ou simplesmente não há mais material a ser consumido, sinalizando a terminação da situação de queima (LYON,2005).

### **3.3 Natureza do Edifício**

No que se diz do tipo de edificações deve-se elucidar que está relacionado tanto à ocupação do edifício, ou seja, a que ele é direcionado – residencial, comercial, industrial – o que reflete diretamente na população deste, na presença e quantidade de combustíveis, os processos desenvolvidos e equipamentos utilizados e na localização da edificação (BERTO, 1991).

As variáveis apresentadas a seguir segundo (BERTO, 1991) refletem diretamente no risco de propagação do incêndio, que por sua vez é diretamente relacionada ao risco à vida. Vale ressaltar que a propagação do incêndio é muito associada aos materiais presentes e o potencial energético e de propagação que têm.

- Materiais de construção utilizados e técnicas aplicadas;
- Sistema estrutural adotado;
- Projeto de combate e de rotas de incêndio;
- Altura e volume do edifício;
- Aberturas do edifício;
- Potencial térmico permanente.

### **3.3.1 População Característica**

Há importantes motivadores para o fator de risco de um processo de incêndio em um determinado edifício relacionadas com a população que o ocupa, desde a instauração do incêndio, sua propagação e por fim o risco à vida humana (BERTO, 1991):

- População total;
- Arranjo da população no edifício;
- Relação da população permanente e temporária;
- Condições físicas, psicológicas e educacionais;

### **3.4 Citotoxicidade da fumaça polimérica**

A citotoxicidade em células pulmonares de alguns polímeros foi avaliada por LESTARI (2012), que consistiu na combustão dos materiais amostras, que foram então absorvidos por filtros, posteriormente condensados e lavados para que os produtos da degradação térmica fossem recolhidos.

Pôde-se averiguar que entre os polímeros mais comerciais analisados (PP, PVC, PC E PE), somente o policarbonato (PC) apresentou significativa diferença de condição de sobrevivência celular, em relação aos demais, que apresentaram menos de 30% da concentração de adenosina trifosfato (ATP), indicador de atividade celular, PC que por sua vez é um material sabidamente cancerígeno, quando exposto contínuo e prolongadamente à ambientes humanos, por sua liberação de partículas reativas (LESTARI, 2012).

### **3.5 Aditivos retardantes de chamas**

Os aditivos retardantes de chamas despontam como uma opção para controle da inflamabilidade de materiais poliméricos, seja de modo químico ou físico, visam aumentar a resistência dos materiais poliméricos ao fogo. Os retardantes químicos atuam diretamente nas macromoléculas durante a síntese do material, aumentando a estabilidade do sistema como todo, este tipo é nomeado retardante de chama reativo. Os retardantes físicos são ditos aditivos incorporados durante o processamento do polímero e invariavelmente refletem em menor custo de matéria prima para ser aplicado (ZHANG, 2003).

### **3.5.1 Ação química**

A ação química pode ocorrer em fase gasosa e sólida. Na fase gasosa o retardante atua reagindo e aprisionando os radicais livres reativos, paralisando as reações exotérmicas que ocorrem naturalmente nos materiais poliméricos expostos a calor excessivo. Diminui-se então a temperatura do sistema e a taxa de liberação de gases voláteis. Em fase sólida, o retardante pode atuar acelerando o processo de fragmentação do polímero, em que estas menores partes terão maior fluxo para fora da zona de ação da chama, que por falta de combustível será reduzida ou extinta (GALLO, 1998). Ainda segundo GALLO (1998), na fase sólida o retardante pode promover carbonização na superfície do polímero, que atuará fisicamente como uma camada protetora.

### **3.5.2 Ação física**

Os aditivos podem atuar diretamente resfriando, criando uma camada protetora, ou por diluição dos gases gerados, mas não necessariamente sendo fenômenos puramente físicos. O resfriamento ocorre com a ativação de reações endotérmicas com a elevação da temperatura e a absorção de energia para ocorrer faz com que a temperatura do polímero se mantenha abaixo da necessária para pirólise (ZHANG, 2003).

Ainda segundo Zhang (2003), a camada protetora pode ser sólida ou gasosa em torno do material, isolando a fase condensada combustível, da fase gasosa, a se evitar o processo de retroalimentação térmica. A camada sólida impede ainda a difusão de gases combustíveis do material para a região de combustão. A diluição ocorre com a liberação de gases inertes que empobrecem a mistura combustível-comburente. Este tipo de retardante é o mais indicado para emprego em espumas de poliuretano para ambientes de confinamento, destacando-se os não halogenados, como o Dimetil metilfosfato.

## **3.6 Avaliação da inflamabilidade**

A avaliação pode ocorrer por ensaios de queima vertical e horizontal. Ensaios de queima vertical fornecem dados sobre o tempo de ocorrência da chama, ou seja, a persistência da degradação do material liberando produtos combustíveis, enquanto ensaios de queima

horizontal estão relacionados com a taxa de degradação do material e a velocidade como a chama se propaga (CAVANI, 2008). A avaliação da persistência da chama e a velocidade de propagação são abordadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em:

- ABNT NBR 9442 “Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de ensaio”;
- ABNT NBR 14432 “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento”

Essa normatização permite parametrizar o projeto de um material que será exposto a condições de incêndio quanto ao Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), configurado como o tempo em que o material exposto à altas temperaturas e chamas é capaz de preservar suas características estruturais, de não propagação de chamas e liberação de resíduos tóxicos, para que seja possível, dependendo das características da edificação que irá ocupar, que ocorra evacuação da população em segurança.

### **3.7 Estudo de caso**

#### **3.7.1 Definição**

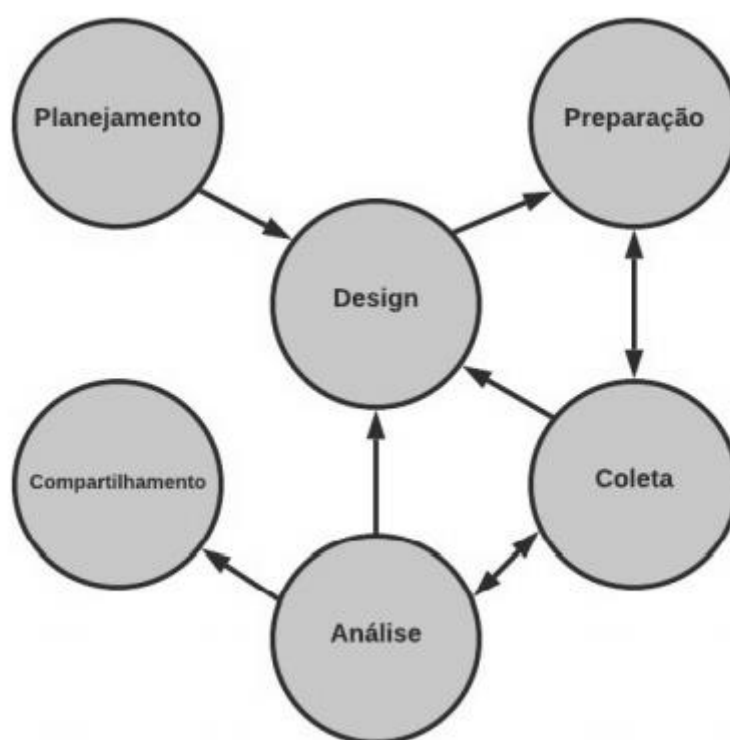
Segundo Miguel (2007), o estudo de caso tem como cerne um problema atual, uma questão, que ainda não fora totalmente esclarecida ou resolvida, na tentativa de propor soluções, conclusões, hipóteses para o tema. Pode, ainda, se valer da busca de elucidar uma tomada de decisão, o porquê um conjunto de decisões foi tomado ou discutir os resultados que geraram. Yin (2009) ainda na elucidação, referiu um caso como uma entidade, um indivíduo, um evento, uma metodologia de análise, que será estudado de forma empírica baseado no contexto da realidade se valendo de múltiplas evidências.

#### **3.7.2 Estrutura**

Por ainda não possuir uma metodologia ou norma definida, o estudo de caso é abordado de diferentes formas, embora que para otimização e coesão do estudo, grande número de trabalhos

seguem semelhantes fluxos. Existem alguns trabalhos que discorreram sobre estrutura e concepção de um estudo de caso e que servem de referências, também, para autores que trabalharão neste sentido, adaptando-as a sua especificidade de tema. Yin (2009) demonstrou a estruturação de um estudo de caso dividido em seis etapas, sendo planejamento, design, preparação, coleta, análise e compartilhamento, conforme demonstrado no fluxo a seguir.

**Figura 2 - Etapas para elaboração de um estudo de caso**



Fonte: Baskarada, 2014 (adaptado)

A começar pelo planejamento, em que são definidas as principais questões e os pontos motivadores do estudo de caso, muito baseado na revisão sistêmica da literatura do tema, que possibilita a progressão para a próxima etapa de *design*, com a definição do escopo de trabalho e seleção dos casos a serem estudados. Na correlação do *design* e preparação são identificados os principais entraves do estudo, neste momento o design pode ser redefinido para que o estudo de caso possa apresentar resultados mais próximos da realidade do assunto. A etapa de coleta consiste na utilização de ferramentas e diversas fontes para coleção de dados e estudos acerca do tema, da forma mais robusta e confiável possível. Da obtenção das informações, estes dados

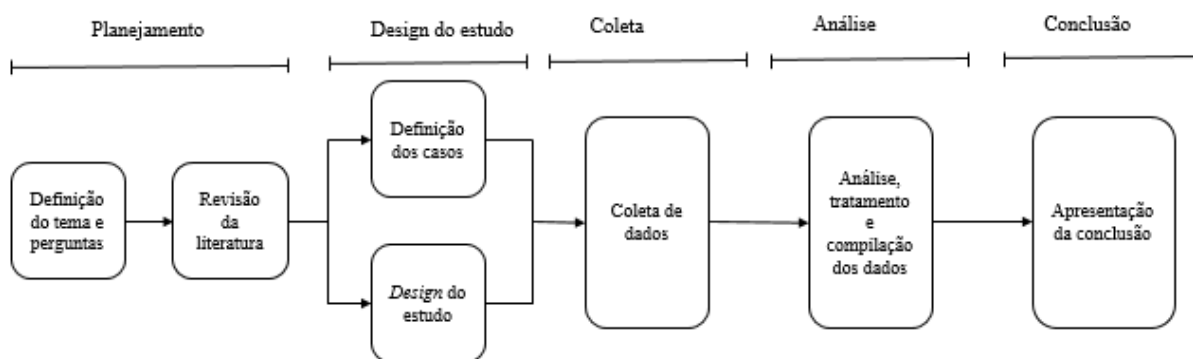
devem ser tratados e compilados de forma que apresentem algum resultado a partir do qual seja possível se ter alguma conclusão, que deverá ser apresentada na etapa de compartilhamento de forma clara e transparente, com apresentação dos métodos utilizados e resultados obtidos que a embasaram. (Yin. 2009 *apud* Baskarada, 2014; Miguel, 2007 e Noor, 2008).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O motivador deste estudo de caso é a segurança do emprego de polímeros na construção civil em situações de incêndio, avivado por grandes catástrofes recentes que ocorreram no Brasil – o incêndio na Boate Kiss em 2013 e o incêndio no Ninho Urubu, Centro de Treinamento das categorias de base do Clube de Regatas do Flamengo em 2019, com dezenas de óbitos cada. Acidentes estes que tiveram comprovado fator determinante para um maior número de óbitos o uso de polímeros na composição da estrutura física dos locais, que serão apresentados e analisados neste trabalho.

Este estudo será realizado conforme o fluxo abaixo, orientado pela revisão da concepção de um estudo teórico feita por Miguel (2007), Yin (2009) e Noor (2008) com foco na otimização e condução coesa do estudo, apoiado em cinco etapas: planejamento, design do estudo, coleta, análise e conclusão

**Figura 3 - Fluxograma que apresenta a metodologia desenhada para realização deste estudo de caso.**



Fonte: Próprio autor.

### 4.1 Planejamento

O fundamento para definição do tema a ser estudado no trabalho foi a ampla possibilidade de emprego do polímeros na construção civil e a falta de estudos mais aprofundados sobre a verdadeira segurança destes materiais serem implementado. A indicação de vidas perdidas em função da combustão de polímeros em situação de incêndio demonstra que deva ser necessário



estudos mais aprofundados sobre seu emprego em ambientes sujeitos a incêndio, inicializado por uma definição do perfil e recorrência destas ocorrências.

Visando explorar e entender melhor o cenário, foi realizada ampla investigação bibliográfica sobre tanto o fenômeno da combustão e degradação térmica de polímeros como levantamento de importantes casos de incêndio em que polímeros foram protagonistas, a fim de instaurar verdadeira causa de estudo. Foram identificadas questões fundamentais que deverão ser avaliadas:

- Como se dá a importância/ risco de materiais poliméricos em situação de incêndio?
- Como ocorreram os principais casos e quais suas lições?
- Qual o panorama nacional de incêndios em que polímeros foram atores na causa de óbitos e sequelas?
- Quais caminhos estão sendo e podem ser traçados para melhoria desta condição de insegurança?

## **4.2 Design do estudo e coleta de dados**

A partir das questões levantadas durante a etapa de planejamento, foram definidos os casos a serem estudados: Incêndio da Boate Kiss em Santa Maria no Rio Grande do Sul em 2013 e o incêndio no Ninho do Urubu no Rio de Janeiro em 2019. Para abrangência de todas as referenciais base deste estudo, pode-se dividir a revisão em dois grupos principais, o referencial teórico e o referencial de casos. Sendo o primeiro toda a investigação teórica para entendimento e apresentação do fenômeno abordado e o segundo sendo o universo de estudo, com levantamento e apresentação da situação real dos casos.

### **4.2.1 Referencial teórico**

No referencial teórico a coleta de dados foi feita seguindo fontes e base de dados que dispõem de literatura:

- Periódicos da Capes
- Science Direct
- Google Scholar
- Acervo bibliotecário do CEFET-MG

Visando uma revisão sistemática do tema e da base teórica que o documento deveria ter para apresentação do estudo foi feita ampla revisão de artigos, teses, normas nacionais e internacionais e produção bibliográfica acerca do tema. Pelas ferramentas de pesquisa Google Scholar, Periódicos Capes e Science Direct, foram buscadas composições de palavras chaves como “incêndio”, “polímeros”, “plásticos”, “combustão”, “queima”, “toxicidade”, “citotoxicidade”, “voláteis”, “progressão térmica em incêndios”.

#### **4.2.2 Referencial de casos**

Para o levantamento do referencial de casos, as fontes de dados foi dividida de acordo com a base buscada, podendo ser dividida em dois grupos, casos estudados e levantamento estatístico de casos:

- Casos estudados: Reportagens vinculadas aos principais jornais virtuais do Brasil e laudos emitidos pela polícia científica responsável por cada caso, Boate Kiss (2013) e Ninho do Urubu (2019);
- Levantamento estatístico: Levantamento no mecanismo de busca de notícias da Google para o ano de 2019 (último período anual não atípico em função da pandemia de Covid-19 que se iniciou em Março de 2020 e se estende ao momento deste estudo), reportagens que relatavam incêndios em construções civis como todo no Brasil, excluindo-se incêndios ambientais, automotivos, ferroviários, marítimos, *ad hominem*.

#### **4.3 Análise dos dados**

Os dados obtidos para o referencial de casos estudados foram analisados qualitativamente quanto à fonte e adequação técnica do material, para serem compilados e apresentados em relatório, enquanto os dados do levantamento estatístico foram dispostos e tratados com auxílio de tabelas e análise estatística, para serem então comparados e possibilitar conclusões quanto à relevância, coerência e iniciativas futuras sobre este tema.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Dos principais motivadores deste estudo de caso, a falta de normas e legislações que revisem e rejam a segurança do emprego de materiais poliméricos na construção civil, tem que ser destacada, em ambiente de mercado que tem apresentado crescimento. Em surgimento, como a recém chegada ao mercado da construção civil de residências construídas com paredes de poliestireno expandido revestido com camada compósita de rede metálica e massa cimentícia, com forte apresentação de ganhos de custo e tempo na execução de obras. Tais atributos contrastam com o registro de incêndios e o volume de vítimas que têm seu quadro médico agravado devido à exposição à fumaça e voláteis poliméricos, que impacta estatisticamente o número de óbitos, bem como se tem a recorrência de desastres que ceifam vidas, casos emblemáticos da Boate Kiss e do alojamento de jovens atletas no Ninho do Urubu, com dezenas de óbitos.

### **5.1 Incêndios na construção civil em 2019**

Em levantamento apresentado na Tabela 2 (extraída da coleta global de dados e é apresentada no Apêndice A), elaborada para demonstrar os dados colhidos de retratos jornalísticos, veiculados digitalmente, de ocorrências de incêndio em construções civis em todo o Brasil no ano de 2019 – último período não atípico – é possível verificar a representatividade do quantitativo de vítimas fatais relatadas em função de contaminação por gases advindos da combustão e degradação de polímeros, em relação ao número total de óbitos mapeados.

**Tabela 2 – Ocorrências de incêndio no Brasil, segundo relatos jornalísticos veiculados digitalmente em 2019**

<b>Estado</b>	<b>Ocorrências de incêndio</b>	<b>Óbitos totais</b>	<b>Óbitos relacionados a polímeros</b>
AC	2	0	0
AL	1	1	0
BA	7	0	0
CE	3	0	0
ES	1	0	0
MG	12	1	1
MS	2	0	0
PA	1	0	0
PE	1	0	0
PR	4	0	0
RJ	7	37	14
RN	3	0	0
RS	3	0	0
SP	23	3	0
<b>TOTAL</b>	<b>70</b>	<b>42</b>	<b>15</b>

Fonte: próprio autor

Pelos dados obtidos e apresentados na Tabela 2 observa-se que 35% dos óbitos registrados e relatados no período tiveram influência determinante de particulados poliméricos inalados. Dentro destes registros são comuns casos em que vítimas dos incêndios viessem a óbitos em alguns dias posterior à ocorrência, fato que corrobora com o estudo e progressão da citotoxicidade da fumaça e dos voláteis poliméricos. Importante ainda salientar que os dados são limitados aos casos de ocorrências relatadas jornalisticamente e que outros óbitos podem ter ocorrido em função de um não estudo pericial do motivador, bem como não engloba as vítimas não fatais mas que apresentaram sequelas pulmonares.

Por este levantamento fica evidente que deva haver desenvolvimento técnico e científico afim de apurar as melhores condições para a segurança contra-incêndio e que dê respaldo para o contínuo desenvolvimento do setor da construção civil, aliado à segurança da sociedade, e que se mitigue mortes e vítimas com sequelas permanentes.

## **5.2 Tragédias humanitárias: Boate *Kiss*, 2013 e Ninho do Urubu, 2019**

Nos últimos anos, duas tragédias, que somadas ceifaram 251 vidas precocemente, chocaram o Brasil. E, apesar da imensurável perda humana e da momentânea preocupação para que estes incidentes não se repetissem, nenhuma medida definitiva visando aumento de segurança foi tomada a nível nacional, seja através de Legislação ou de forma normativa.

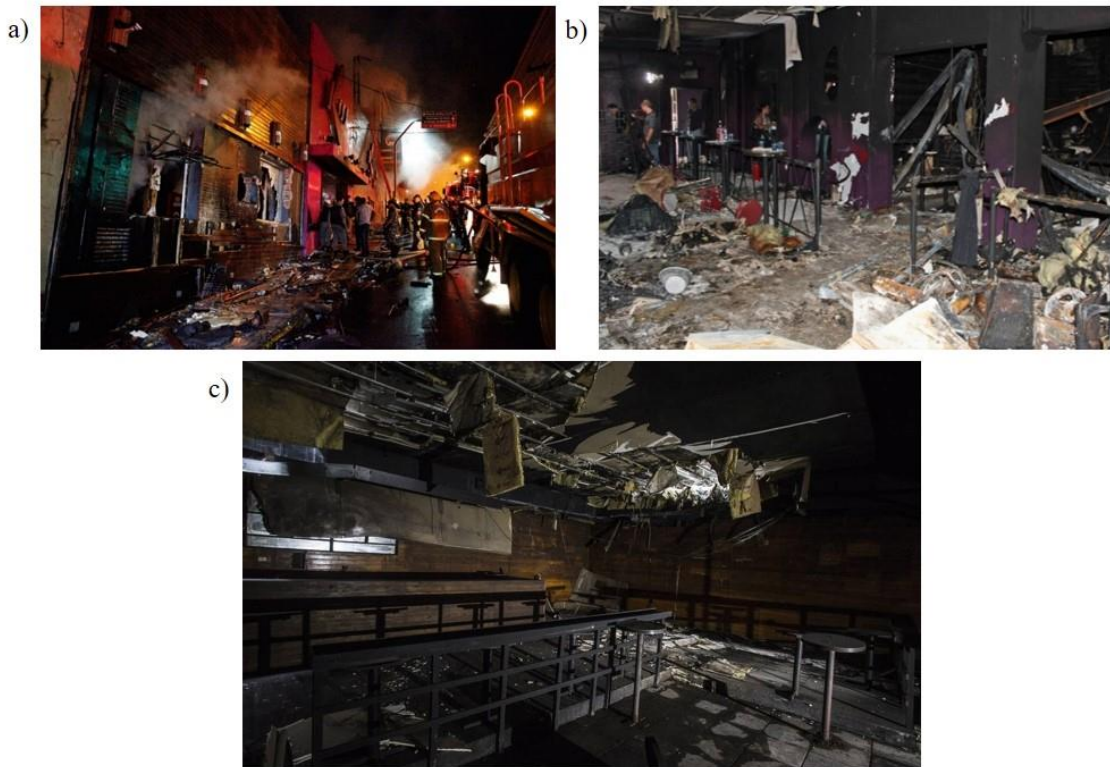
Apesar do sabido risco e o histórico incidente na Boate *Kiss* em 2013, em 2019 um segundo desastre ocorreu no Ninho do Urubu e é alarmante que o principal causador dos óbitos foi o mesmo material utilizado como revestimento, desta vez como isolante térmico, contra o isolamento acústico do primeiro caso. A espuma de poliuretano, material que se difundiu por suas propriedades de baixa condução térmica e de propagação acústica, recebe enorme aplicação em diferentes tipos de construção civil.

### **5.2.1 Boate *Kiss*, 2013**

O incêndio de grandes proporções ocorreu na cidade de Santa Maria em 27 de Janeiro de 2013, às 2:30 da manhã em uma festa universitária organizada por estudantes da Universidade Federal de Santa Maria, na Boate *Kiss*. Famoso clube da região, possuía 615m<sup>2</sup> de área e capacidade para até 700 pessoas (LUCCHESI, 2019).

Segundo o relatório final oficial da Polícia Civil de Santa Catarina, que foi apresentado ao Juiz de Direito do caso, após a arguição de centenas de testemunhas, entre vítimas, bombeiros, policiais militares, atendentes do SAMU, além do trabalho de perícia científica, concluiu-se que o as chamas se iniciaram após centelhas de um fogo de artifício utilizado pelo grupo musical que se apresentava, se chocaram com o forro do teto, que era constituído por uma camada de isolamento acústico de espuma de poliuretano, como pode ser visto na Figura 4 (b) e (c). Esta, entrou em combustão, e em minutos, por não possuir aditivos retardantes, foi totalmente consumida, formando uma densa fumaça preta, composta por monóxido e dióxido de carbono, cianetos e isocianatos.

**Figura 4 – Imagens feitas da Boate *Kiss***



(a) e (b) área externa e interna da boate *kiss* no dia do incêndio; (c) boate *kiss* dias após o incêndio.

Fonte: EXTRA CLASSE, 2013; IMIRANTE, 2021; OGLOBO, 2019; respectivamente.

Na reconstituição dos fatos e por vídeos gravados por vítimas que filmavam a apresentação, o intervalo entre a percepção do início das chamas e o estabelecimento ser completamente coberto pela tóxica fumaça, foi de menos de quarenta segundos, não sendo suficiente para que as pessoas pudessem evacuar o local em segurança.

#### **5.2.1.1 Falhas de segurança**

- Aplicação de espuma de poliuretano imprópria
- Extintores de incêndio não funcionaram
- Havia barras de ferro e guarda-corpos que dificultaram o fluxo de saída

- Superlotação do clube, cerca de 1500 pessoas presentes
- Luzes de emergência e de indicação de rota de fuga não funcionaram
- Utilização de fogos indicados para uso em locais externos
- O incêndio não foi anunciado e alertada fuga aos presentes
- Contenção por seguranças na saída da casa

Segundo um dos investigados, que estava próximo ao foco inicial das chamas, um extintor de incêndio que estava ao lado do palco estaria vazio. Uma outra testemunha afirmou que outro extintor que havia sido levado pela equipe da banda em função da apresentação pirotécnica também não funcionou, que teria retirado o lacre e o acionado por três vezes, sem êxito. O problema com os extintores foi considerado fator preponderante para a tragédia, já que poderia ter cessado o início das chamas e a propagação da combustão no revestimento (PCSC, 2013).

#### **5.2.1.2 Desfecho**

Após cerca de 40 pessoas conseguirem sair do estabelecimento, os seguranças o fecharam para que as comandas fossem pagas pelos clientes, e assim permaneceu por entre 1 e 3 minutos, segundo testemunhas, enquanto a fumaça avançava e tomava conta do local. Somente então, já em situação crítica, as pessoas conseguiram, à força, passar pelos seguranças e abrir a única porta de saída do estabelecimento.

Às 3:18h daquele dia, a central de operações do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina recebeu diversas ligações comunicando o incêndio e às 3:23h as duas primeiras viaturas chegaram a o local, encontrando entre 600 e 700 pessoas na rua, que dificultaram a operação inicial. Quando iniciaram o resgate, entrando na boate, perceberam que praticamente não havia fogo, motivando inclusive a participação de civis que se voluntariaram. O retrato do interior é de centenas de pessoas desacordadas ao chão, 241 óbitos por toda a Boate *Kiss*, por asfixia causada pela inalação dos gases monóxido de carbono, cianetos e isocianato (PCSC, 2013).

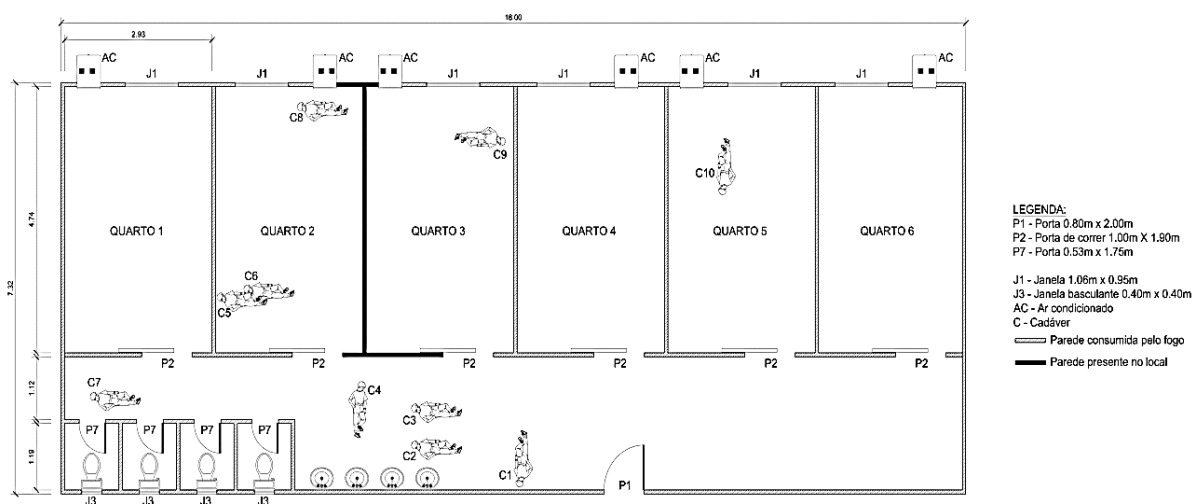
#### **5.2.2 Ninho do Urubu, 2019**

Na manhã de 08 de Fevereiro de 2019, um incêndio atingiu o alojamento da categoria de atletas de base do Clube de Regatas Flamengo no Ninho do Urubu, seu centro de treinamento. 26

jovens atletas dormiam na estrutura, quando às 5:00 da manhã as chamas se debelaram, até atingir todo o alojamento, em 30min (MEDEIROS, 2020).

Segundo o inquérito produzido pelo Ministério Público do Rio de Janeiro em parceria com a Polícia Civil do Rio de Janeiro, a estrutura provisória era modular, construída com containers, revestidos com espuma de poliuretano para o isolamento térmico da estrutura. Possuía ao todo seis quartos e adjunto, havia um vestiário, conforme mostra a planta baixa na Figura 5. Os quartos contavam com janelas de 1m<sup>2</sup> gradeadas e sistema de refrigeração de seis ar-condicionados horizontais que supriam todos os quartos.

**Figura 5 – Planta baixa da estrutura provisória de alojamento no Ninho do Urubu**



Fonte: Adaptado de Medeiros, 2020

O relatório pericial indica que as chamas se iniciaram no ar condicionado do quarto 6, do qual todos os atletas conseguiram escapar, bem como no quarto 4. Nos quartos 5 e 3 houve um óbito em cada, três óbitos no quarto 2 e cinco óbitos no quarto 1. Os quartos eram interligados por dutos pelos quais o ar circulava, e que foram decisivos para que os gases tóxicos se propagassem do quarto 6 para os demais.

O fogo que se iniciou no motor de um ar condicionado, rapidamente ascendeu ao revestimento de espuma de poliuretano, que por não possuir aditivos anti chama, propagou a combustão com alta velocidade, elevando subitamente a temperatura do ambiente, colocando também outros materiais combustíveis da estrutura em situação de queima.

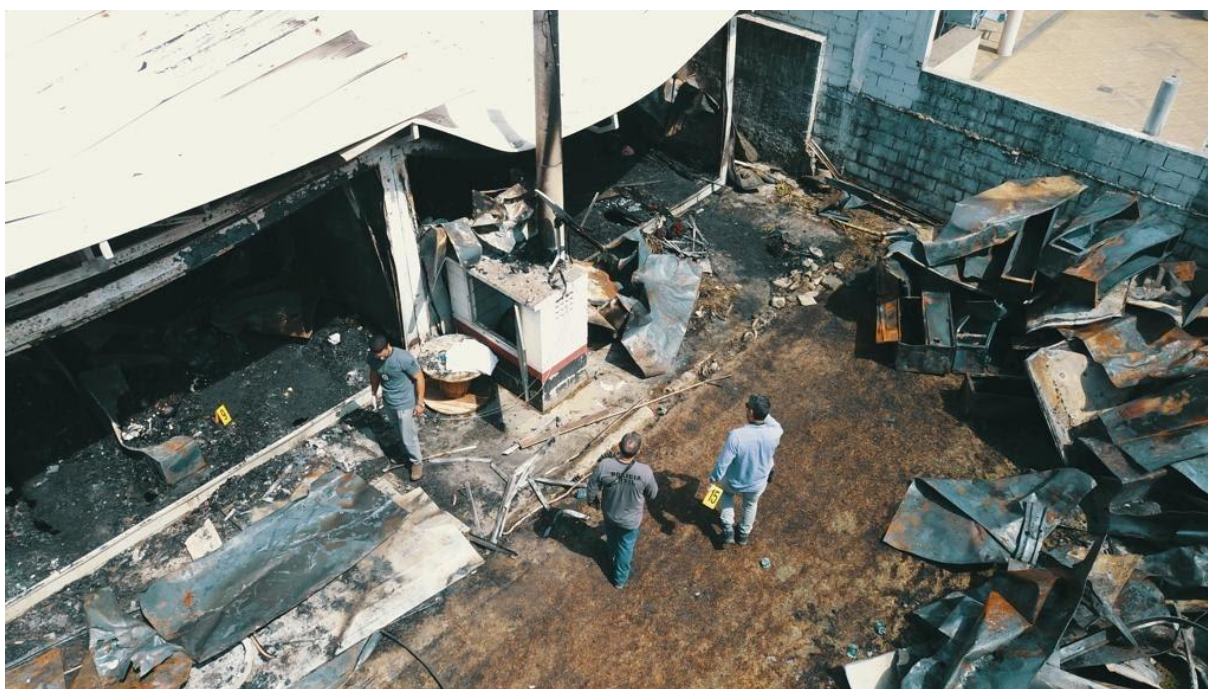


### 5.2.2.1 Falhas de segurança

- Aplicação de espuma de poliuretano originário de álcoois terciários, sem aditivos retardantes de chama
- Janelas gradeadas e portas corredeiras

Segundo o inquérito policial apresentado pela Polícia Civil do Rio de Janeiro e Ministério Público do Rio de Janeiro em 2021, as principais inconformidades apresentadas pela estrutura provisória de alojamento e dormitório foram o isolamento térmico em espuma de poliuretano, que conforme perícia, apresentou fulgor a 50°C e ausência de retardantes de chamas, fazendo com que a chama iniciada no quarto 6 rapidamente alcançasse os quartos adjacentes, com agravante do horário, em que atletas dormiam, reduzindo o tempo que tiveram para resposta à fuga, tempo este que foi determinante para o insucesso na evacuação, já que a estrutura metálica dos containers, conforme mostra a Figura 6, se contorceu, provocando o emperramento da porta de saída, do tipo corredeira.

**Figura 6 – Imagem aérea do que sobrou da estrutura provisória após o incêndio, durante o trabalho pericial**



Fonte: Medeiros, 2020

### 5.2.3 A espuma de poliuretano na construção civil em situação de incêndio

A espuma de poliuretano, seja rígida ou flexível, tem sua resistência à degradação térmica muito dependente da estrutura do polímero, tendo poliuretanos originados de polióis a base de álcoois primários e secundários iniciando a degradação das cadeias entre 150°C e 200°C, enquanto os poliuretanos originários de álcoois terciários iniciam a decomposição prematuramente a temperaturas acima de 50°C (FRISCH e VOGT, 1964). São nestas condições, quando em baixa presença de O<sub>2</sub>, na decomposição se dá o início da formação de álcool e isocianato conforme demonstra a Equação (2) (Bolsoni, 2008).



Por este motivo, visando aumentar a segurança e garantir maior tempo de evacuação, que é extremamente recomendado o uso de aditivos retardantes de chama a poliuretanos nesta aplicação.

Ferrari (2001) estudou o perfil da contaminação por monóxido de carbono através da carboxihemoglobina (COHb) e cianeto de hidrogênio (HCN) presentes na corrente sanguínea de 35 vítimas fatais de um incêndio que ocorreu em um presídio na Argentina, em que colchões de espuma de poliuretano foram incendiados. A Tabela 3 mostra o percentual de vítimas que se enquadravam nas faixas de concentração dos contaminantes:

**Tabela 3 – Percentual de vítimas com diferentes níveis de COHb e HCN no sangue**

	%COHb			
	0-5	5-10	10-15	15-20
HCN(mg/L)				
0-2	5.5	0	2.9	0
2-4	14.3	34.2	8.6	2.9
4-6	8.6	8.6	8.6	0
6-8	2.9	2.9	0	0

Fonte: Ferrari, 2001

Comparando-se os dados da Tabela 3 com a Tabela 4 é possível inferir que os níveis de carboxihemoglobina presentes no sangue das vítimas não seriam suficientes para ocasionar os óbitos, estando condicionado principalmente à dores de cabeça e início de dificuldade respiratória, bem como conforme estudou Baud (1991), concentrações sorológicas de HCN acima de 2,7 mg/L são fortemente letais, corroborando com os resultados apresentados por Ferrari, indicando o potencial e especial perigo da fumaça de poliuretano em condições de incêndio, em que as vítimas têm sua atividade respiratória interrompida precocemente, antes mesmo da elevação da concentração de monóxido de carbono na atmosfera local.

**Tabela 4 – Níveis de carboxihemoglobina na atmosfera (exposição prolongada) e no sangue e os efeitos provocados em humanos**

CO na atmosfera (ppm)	COHb no sangue (%)	Sinais e sintomas
10	2	Assintomático
70	10	Encurtamento dos ciclos respiratórios, possível dor na nuca, dilatação de vasos sanguíneos subepiteliais
120	20	Encurtamento dos ciclos respiratórios, dor de cabeça ocasional com latejamento nas têmporas
220	30	Dor de cabeça, irritação, fadiga ao menor esforço, perda substancial da capacidade cognitiva, visão turva
350 - 520	40 - 50	Dor de cabeça, confusão, desmaio ao esforço
800 - 1220	60 - 70	Inconsciência, convulsão, morte se exposição prolongada
1950	80	Rapidamente fatal

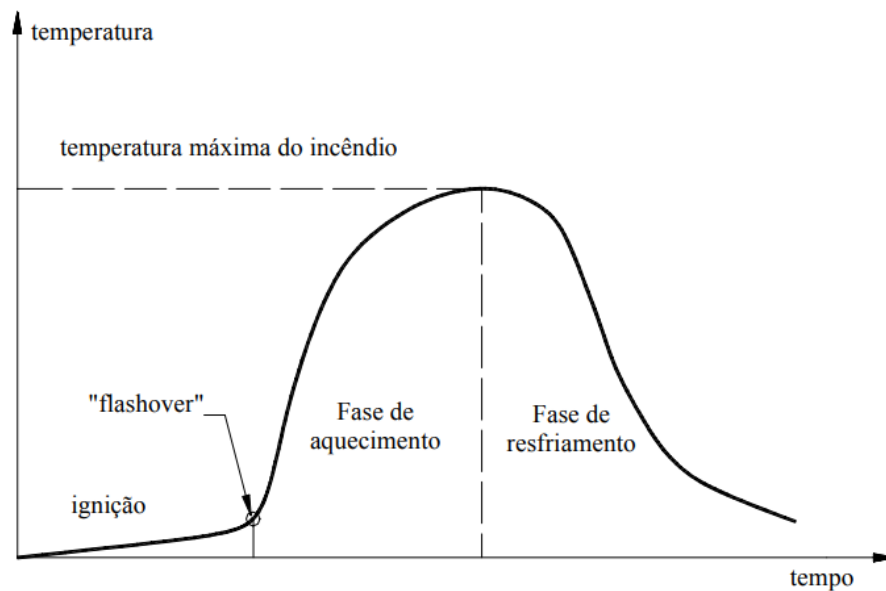
Fonte: Adaptado de WHO, 2000

### 5.2.3.1 Comportamento dinâmico do Poliuretano em situação de incêndio

Incêndios em construção civil possuem comportamento que se dá por três fases que podem ter seu tempo variado de acordo com a carga material combustível presente no local, mas de modo geral apresentam comportamento tal como é demonstrado na Figura 8. Nota-se que, aliado à

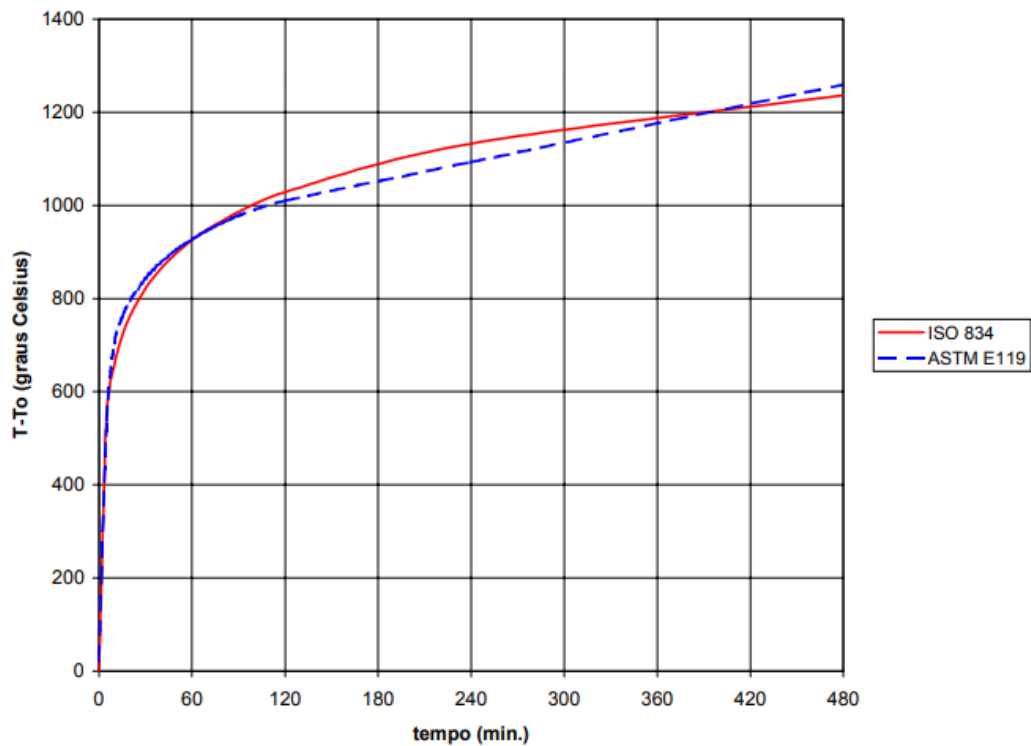
análise da Figura 9, das curvas padrão elaboradas pela ASTM e ISO em suas normativas E-119 e 834 respectivamente, que o a etapa de *flashover* no incêndio é coincidente com o momento de degradação mássica da espuma de poliuretano, conforme análise termogravimétrica (TGA) realizada por Chao (2001) em ambiente de ar atmosférico, sem aditivos retardantes de chama, apresentado na Figura 10.

**Figura 7 – Curva tempo-temperatura da evolução de um edifício em situação de incêndio**



Fonte: Alva, 2000

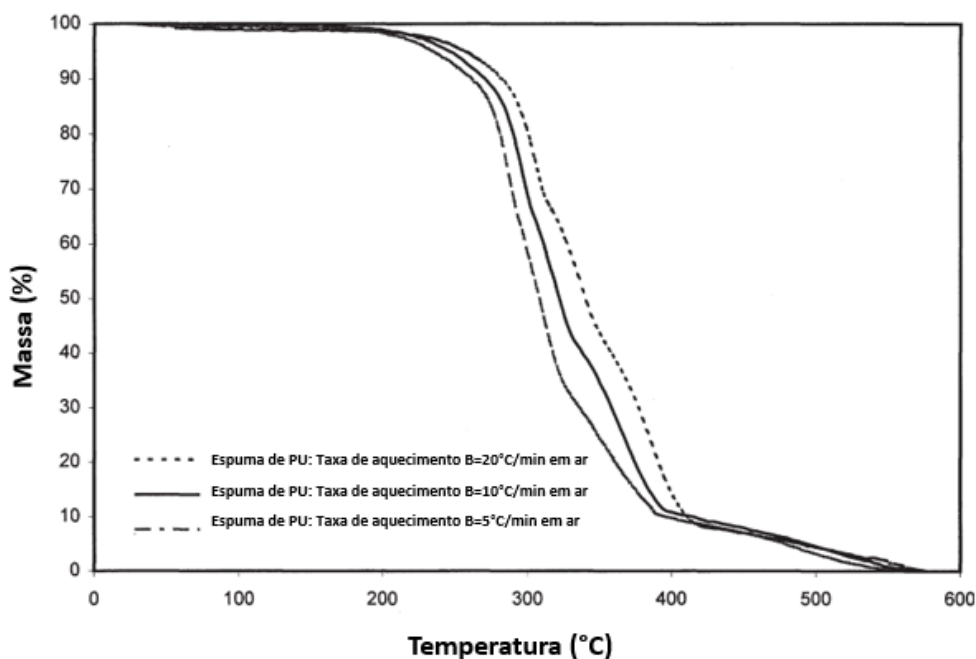
**Figura 8 – Comparação das curvas tempo-temperatura apresentadas na ISO 834 e ASTM E-119**



Fonte: Alva, 2000

O ensaio de termogravimetria consiste na análise da variação da massa de um corpo de prova colocado em uma balança dentro de um forno, no qual é possível programar a taxa de elevação térmica.

**Figura 9 – Curva TGA das amostras de espuma de poliuretano sem retardantes em ar**



Fonte: Traduzido de Chao, 2001

A ISO 834 (1975), elaborou a curva tempo-temperatura através de análise empírica de situações de incêndio, para ser aplicada em cálculos estruturais, na resistência térmica de estruturas. Mas, pela dificuldade em se estabelecer uma curva média, já que as condições do incêndio podem variar muito, dependendo do perfil de materiais combustíveis presentes, a curva apresenta as condições máximas de elevação de temperatura. E, então construiu-se uma função logarítmica em função do tempo (t), temperatura (T) no instante t e a temperatura inicial no ambiente ( $T_0$ ) para expressá-la:

$$T - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1)$$

Destas normas para que estruturas não sejam comprometidas em incêndios, aplicando-as à análise do tempo para consumo de 90% da carga de poliuretano em um incêndio, que se dá a 412°C segundo a curva de decomposição da espuma de poliuretano à taxa de elevação de temperatura de 20°C/min, conforme Figura 10, tem-se que em pouco mais de 15 segundos esta carga seria consumida e pela dinâmica da inspiração de cianeto de hidrogênio apresentada anteriormente, a população teria pouquíssimo tempo, por norma, para evacuar o local antes que começasse a ser acometida pela fumaça tóxica.

## 6. CONCLUSÃO

O estudo de caso da aplicação de polímeros a construção civil e o risco que podem trazer em situações de incêndio permitiu que os questionamentos propostos e que foram motivadores deste trabalho pudessem ser estudados e respondidos pelo próprio estudo, identificando ainda mais questionamentos que podem ser motivadores de novas produções acadêmicas.

O levantamento estatístico dos casos de incêndio e a ocorrência de vítimas fatais em decorrência da inalação de fumaça advinda da combustão de polímeros, demonstrou que há fundamental necessidade de estudos que investiguem tanto o aspecto pós incêndios, em suas causas e falhas, quanto na busca de estabelecimento de referenciais para a segura aplicação destes materiais.

Pela investigação das tragédias da Boate *Kiss* e do Ninho do Urubu, foi possível analisar que entre outras falhas na execução dos projetos de cada uma das edificações, o fator preponderante para a incidência do número de vítimas fatais foi o uso de espuma de poliuretano não tratada com aditivos antichamas. E pela repetição deste material, o estudo a fundo de seu comportamento dinâmico em situação de incêndio, seguindo normas correlatas da construção civil, é possível destacar que sua aplicação é ao menos arriscada, em cenário de baixo referencial bibliográfico, dimensionar os limites de segurança.

A metodologia de estudo de caso mostra-se efetiva para a análise de temas contemporâneos e que ainda careçam de aprofundamento, possibilitando a obtenção e apresentação de informações de forma lógica e concisa, de forma que hipóteses e conclusões puderam ser obtidas e soluções foram propostas.

Salienta-se a necessidade e indica-se trabalhos futuros que investiguem, por grupos de polímeros, o perfil da degradação térmica em situações de incêndio, e como se dá a composição dos gases expelidos na composição com o ar atmosférico, a fim de se mensurar os limites mássicos de implantação do material em um dado volume de edifício. Que seja motivador da normatização do assunto.

## 7. REFERÊNCIAS

BERTO, Antonio Fernando; CARLO, Ualfrido. **Medidas de proteção contra incêndio: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios.** 1991. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ALVES, Tatianny Soares et al . *Flammability of polypropylene/organoclay nanocomposites.* *Polímeros*, São Carlos, v. 24, n. 3, p.307-313, June 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282014000300008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282014000300008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso: 27 Nov. 2019. <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2014.030>.

CAVANI, Claudia Santos, **Estudo das Características de Inflamabilidade de Polímeros Utilizados na Construção Civil e Indústria de Transportes**, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 116 p. Trabalho Final de Mestrado.

LYON, Richard E., *Polymer flammability*, Washington DC, EUA: Federal Aviation Administration; 2005 (DOT/FAA/AR-05/14) GALLO, J. B.; AGNELLI, J. A. M. Aspectos do comportamento de polímeros em condições de incêndio. *Pol.*, v. 8, p. 23 – 38, 1998.

MANO, E. B., *Polímeros como Materiais de Engenharia*. São Paulo, SP: Editora Edgard Blücher LTDA, 2000. GEMAQUE, M. J. A., **Características de inflamabilidade de materiais poliméricos com aplicação no setor aeroespacial**, p. 495, Tese (Doutorado em Propulsão e Combustão) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

COUTINHO, Fernanda M. B.; MELLO, Ivana L.; MARIA, Luiz C. de Santa. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 13, n. 1. 2003.

F. LESTARI, A.J. HAYES, A.R. GREEN, G. CHATTOPADHYAY, *In vitro cytotoxicity and morphological assessment of smoke from polymer combustion in human lung derived cells*



(A549), *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 10.1016/j.ijheh.2011.12.006, 215, 3, p. 320-332, 2012.

ZHANG H. *Fire-safe polymers and polymer composites*. Federal Aviation Administration, Office of Aviation Research; Washington, 2004.

JANICE, Silvestri. **UTILIZAÇÃO DE TIJOLOS DE POLIETILENO PELO PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM PARA DIVISÓRIA DE AMBIENTES (VEDAÇÕES INTERNAS)**: 2008. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade para o desenvolvimento do estado e da região do pantanal, Passo Fundo, 2008.

KILIARIS, P; PAPASPYRIDES, C. D. *Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy*. *Progress in Polymer Science* , [s. l.], ano 2010, v. 35, n. 7, p. 902-958, 15 mar. 2010. DOI <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.03.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670010000304?via%3Dihub>. Acesso em: 27 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais de construção - Determinação do Índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante: NBR 9442**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

FRISCH, K. C., VOGT, H. C. *Polyurethanes and Isocyanate Polymers*. In: FETTES, E. M. *Chemical Reactions of Polymers*. New York: Interscience Publishers, 1964. v. 19, cap. 11, p. 893 - 1008.

BORYNIEC, S.; PRZYGOCKI, W. **Polymer Combustion Processes: Flame Retardants for Polymeric Materials**. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, Polônia, ano 2001, p. 127.148, 1 fev. 2001. DOI <https://doi.org/10.1177/147776060101700103>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/147776060101700103>. Acesso em: 10 set. 2019.

ABIPLAST (Brasil). **Brazilian Plastic Processed and Recycling Industry - 2018 Profile - Preview**. 2018. Disponível em: [://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/04/preview\\_perfil\\_2018\\_web.pdf](https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/04/preview_perfil_2018_web.pdf). Acesso em: 16 fev. 2021.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION (ISO 834) (1994). *Fire resistance tests – Elements of building construction*. Geneva.

LUCCHESI, Bette. **Incêndio no CT do Flamengo começou no ar-condicionado e se alastrou devido a material do contêiner, aponta laudo**. G1, Rio de Janeiro, 8 maio 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/05/08/incendio-no-ct-do-flamengo-comecou-em-curto-no-ar-condicionado-e-se-alastrou-devido-a-material-do-container-aponta-laudo.ghtml>. Acesso em: 18 fev. 2021.

HOLLWECK, Trista. Robert K. Yin. (2014). *Case Study Research Design and Methods* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: sage. 282 pages. The Canadian Journal Of Program Evaluation, [S.L.], 1 mar. 2016. University of Toronto Press Inc. (UTPress). Disponível em: . Acesso em: 04 nov. 2020.

BOLSONI, Elisandra. **ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO E REUTILIZAÇÃO DAS ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO PÓS-CONSUMO**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/17820/Tese%20Elisandra%20Bolsoni.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CARDOSO, Grace. **Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona (*Ricinus communis*) para isolamento térmico na construção civil**. 2010. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2010. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22112010-115509/publico/Grace\\_versaoRevisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22112010-115509/publico/Grace_versaoRevisada.pdf). Acesso em: 16 jul. 2021.

SINGH, Harphal; JAIN, A.K. **Ignition, combustion, toxicity, and fire retardancy of polyurethane foams: A comprehensive review**. Journal of Applied Polymer Science, [S. l.], v. 111, n. 2, p. 1115-1143, 17 out. 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez107.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/app.29131>. Acesso em: 30 jul. 2021

FERRARI, Luis et al. *Hydrogen cyanide and carbon monoxide in blood of convicted dead in a polyurethane combustion: a proposition for the data analysis*. Forensic Science International, [S. l.], p. 140-143, 15 jul. 2001. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez107.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0379073801004649?via%3DiHub>. Acesso em: 31 jul. 2021.

1ª DELEGACIA DE POLÍCIA DE SANTA MARIA-RS (Santa Maria). Marcelo Arigony, Sandro Meinerz, Marcos Vianna, Gabriel Zanella e Luiza Sousa. 22 de Março de 2013. **RELATÓRIO FINAL**, [S. l.], 15 jul. 2001. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/FabioRipardo/relatrio-definitivo-da-polcia-civil-sobre-o-incendio-na-boate-kiss-em-santa-maria-rs>. Acesso em: 31 jul. 2021.

42ª DELEGACIA POLICIAL DO RIO DE JANEIRO (Rio de Janeiro). Promotor Décio Luiz Alonso Gomes. 14 de Janeiro de 2021. **INQUÉRITO POLICIAL Nº 042-00897 /2019**, [S. l.], 14 jan. 2021. Disponível em: [http://www.mprj.mp.br/documents/20184/540394/denuncia\\_ninho\\_do\\_urubu\\_\\_final\\_ocultado.pdf](http://www.mprj.mp.br/documents/20184/540394/denuncia_ninho_do_urubu__final_ocultado.pdf). Acesso em: 3 ago. 2021.

MEDEIROS, Victor. **Relato do caso do Ninho do Urubu**. Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais, [S. l.], p. -, 22 jul. 2020. Disponível em: <https://apcf.org.br/noticias/artigo-relato-do-caso-do-ninho-do-urubu/>. Acesso em: 3 ago. 2021.

BAUD, Frédéric et al. *Elevated Blood Cyanide Concentrations in Victims of Smoke Inhalation*. The New England Journal of Medicine, [S. l.], v. 325, p. 1761-1766, 19 dez. 1991. Disponível em: [https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM199112193252502#article\\_citing\\_articles](https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM199112193252502#article_citing_articles). Acesso em: 18 ago. 2021.

WHO (EUROPE). Regional Office for Europe. *Air Quality Guidelines - Second Edition*. World Health Organization, [S. l.], p. 1-15, 1 jan. 2000. Disponível em: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/123059/AQG2ndEd\\_5\\_5carbonmonoxide.PDF](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/123059/AQG2ndEd_5_5carbonmonoxide.PDF). Acesso em: 18 ago. 2021.

ALVA, Gerson. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto**. 2000. 297 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2000. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/34738306\\_Sobre\\_o\\_projeto\\_de\\_edificios\\_em\\_estrutura\\_mista\\_aco-concreto](https://www.researchgate.net/publication/34738306_Sobre_o_projeto_de_edificios_em_estrutura_mista_aco-concreto). Acesso em: 23 ago. 2021.

CHAO, Christopher. *Comparison of the Thermal Decomposition Behavior of a Non-Fire Retarded and a Fire Retarded Flexible Polyurethane Foam with Phosphorus and Brominated Additives*. Journal of Fire Sciences, [S. l.], p. 137-156, 1 mar. 2001. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1106/Q56W-KUDB-0VRT-6HLF>. Acesso em: 23 ago. 2021.

**APÊNDICE A – Planilha de ‘*Review* de casos’ de incêndio no Brasil no ano de 2019, que com retratos jornalísticos, veiculados digitalmente.**