

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Lívia Zoppas Ferreira

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO A
ALTAS TEMPERATURAS DE MINI PAREDES DE
SEGMENTOS DE *CONTAINERS* COM E SEM TINTA
INTUMESCENTE**

Porto Alegre
Julho de 2018

LÍVIA ZOPPAS FERREIRA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO A
ALTAS TEMPERATURAS DE MINI PAREDES DE
SEGMENTOS DE CONTAINERS COM E SEM TINTA
INTUMESCENTE**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação
do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

Orientadora: Angela Gaio Graeff
Orientador conjunto: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Porto Alegre
Julho de 2018

LÍVIA ZOPPAS FERREIRA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO A
ALTAS TEMPERATURAS DE MINI PAREDES DE
SEGMENTOS DE CONTAINERS COM E SEM TINTA
INTUMESCENTE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado pela banca examinadora e, em sua forma final, pelos Professores Orientadores.

Porto Alegre, julho de 2018.

Profa. Angela Gaio Graeff
Ph.D pela University of Sheffield, Grã-Bretanha
Orientadora

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Ph.D pela University of Leeds, Grã-Bretanha
Orientador conjunto

Prof. Jean Marie Désir
DSc. pela UFRJ
Relator

BANCA EXAMINADORA

Profa. Angela Gaio Graeff
(UFRGS)
Ph.D pela University of Sheffield, Grã-Bretanha

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
(UFRGS)
Ph.D pela University of Leeds, Grã-Bretanha

Prof. Jean Marie Désir
(UFRGS)
DSc. pela UFRJ

Jacinto Manuel Antunes de Almeida
(UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Carlos e Jane,
e minha irmã, Júlia, que sempre me apoiaram e
que estiveram comigo especialmente durante
todo o período da minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à professora Angela, minha orientadora, por todos os ensinamentos, orientações e disponibilidade acerca deste trabalho, bem como pela confiança depositada em mim para realização do mesmo. Além disso, agradeço pelo acolhimento de volta ao laboratório que tanto frequentei enquanto bolsista no início da faculdade.

Agradeço ao professor Luiz Carlos por todo o apoio e incentivo durante toda minha trajetória acadêmica, participando de momentos especiais da minha formação e me proporcionando grande conhecimento técnico que levarei comigo ao longo da minha carreira profissional.

À banca desse trabalho, professor Jean Marie e Jacinto, agradeço pela disponibilidade e por todas as contribuições feitas para o aperfeiçoamento dessa pesquisa.

Agradeço ao Claiton, ao Andrius e ao Guilherme, da Colmeia Containers, pela gentileza de cederem as chapas de *container* vindas diretamente do porto de Rio Grande para realização do meu trabalho.

Agradeço a toda equipe do LEME, em especial ao João Carli, bolsista e amigo que me ajudou intensamente durante toda a etapa prática do meu trabalho. Além da ajuda, gostaria de agradecer pela companhia e por todas as conversas que tivemos enquanto realizávamos a preparação dos corpos de prova e os ensaios.

Aos técnicos do LEME, Edgar e Fontes, agradeço por todo o trabalho realizado para confecção dos corpos de prova e para realização dos ensaios. Agradeço pela disponibilidade nos momentos em que precisei de ajuda, bem como pelas dicas técnicas que só vocês saberiam me dar. Ao seu Zé e seu Jorge, muito obrigada por toda ajuda e disponibilidade no laboratório.

Ronaldo e Victor, muito obrigada por toda ajuda e companhia nos dias em que estive no laboratório. A todos os bolsistas do LEME que acompanharam a parte prática do meu trabalho, agradeço pela companhia e por todo interesse que tiveram sobre meus ensaios.

Agradeço à equipe do Lapol, especialmente ao Beraldo, pela disponibilidade em me ajudar em todo o processo que envolveu a utilização da tinta intumescente, desde os estudos sobre a composição da mesma, passando então pelo processo de fabricação da tinta, até a aplicação da mesma nas chapas de *container*.

Agradeço ao Mauro e à Alessandra, por todas as orientações em relação aos estudos sobre a tinta intumescente. Muito obrigada pela disponibilidade em me ajudar durante todo o meu trabalho.

Finalmente, agradeço ao prof. Carlos, meu pai, por toda orientação durante minha pesquisa, especialmente sobre a tinta intumescente. Muito obrigada por fornecer os materiais para que eu pudesse participar de todo o processo que envolveu a utilização da tinta na minha pesquisa. Espero que meu trabalho contribua nas pesquisas do Lapol sobre a utilização de tintas intumescentes, principalmente em estruturas de aço.

Agradeço à prof. Jane, minha mãe, por todo o auxílio e por todas as conversas acerca do tema e da elaboração do meu trabalho. Além disso, muito obrigada por ser a pessoa que mais abre portas e que faz de tudo para me ajudar em qualquer assunto durante toda minha graduação. Em teu nome, gostaria de agradecer a toda equipe do Lacor que me ajudou durante a realização do meu trabalho.

A propósito, agradeço aos meus pais, Carlos e Jane, por todos os ensinamentos, não só durante a graduação, mas ao longo de toda minha vida. Obrigada por confiarem em mim e me apoiarem em todos os momentos da minha vida, especialmente os mais decisivos para minha trajetória acadêmica e profissional. À Júlia, minha irmã, agradeço pela companhia de sempre e por todo apoio durante a realização do meu trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos, os da faculdade, os do intercâmbio e os da vida, por todo o companheirismo ao longo da nossa amizade, principalmente durante os últimos anos.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, participaram de alguma forma do meu trabalho, contribuindo com todo apoio e ajuda possível.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

Este trabalho foi motivado pela crescente utilização de *containers* como material para construção civil, diversificando seus usos, sendo tanto para estruturas temporárias, quanto para edificações residenciais e comerciais. Contudo, os *containers*, por terem espessuras muito pequenas, e terem sua estrutura basicamente metálica – que, em altas temperaturas, tende a se plastificar, perdendo suas propriedades estruturais – devem ser protegidos passivamente ao fogo, com materiais que retardem a propagação do incêndio e permitam evacuação em tempo hábil em situações de incêndio. Um tipo de revestimento existente e utilizado como proteção passiva em estruturas de aço e, portanto, de possível utilização nesse caso, é a pintura intumescente, que retarda o efeito do fogo na estrutura. Sendo assim, esse trabalho buscou utilizar tintas intumescentes em estruturas de *container*, a fim de comparar sua eficiência ao se utilizar ou não sua proteção em situações de altas temperaturas. Foram realizados ensaios de resistência ao fogo em mini paredes de *container*, de dimensões de 70 x 80 cm, sem proteção nenhuma, e com duas espessuras diferentes de tinta intumescente – com duas camadas e três camadas de pintura. Dentre as três condições de resistência ao fogo previstas – isolamento térmico, estabilidade e estanqueidade a gases –, foi priorizada a primeira, como foco principal do trabalho, a fim de monitorar a temperatura interna e externa do corpo de prova em situação de incêndio. Foi verificado que, com a crescente temperatura interna do forno, a tinta intumescente protegeu termicamente a face não exposta do *container*. Porém, a temperatura medida nesta é maior do que a permitida pela norma brasileira, não tendo a parede protegida com tinta intumescente, portanto, capacidade de ser isolante térmica em situações de incêndio. Sendo assim, este trabalho permite apontar que a utilização de tintas intumescentes é muito válida na proteção de estruturas de *container* contra incêndios, desde que complementada com outros materiais que auxiliem no isolamento e no conforto térmico dos usuários presentes nas mesmas.

Palavras-chave: Estruturas de *container*. Segurança contra incêndio. Proteção passiva com tinta intumescente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delineamento da pesquisa.....	17
Figura 2 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF).....	23
Figura 3 – curva padrão “temperatura-tempo”	25
Figura 4 – <i>Container dry</i> de 40 pés (esquerda) e 20 pés (direita).	28
Figura 5 – Residência em <i>container</i> personalizado.	30
Figura 6 – Edifício em <i>containers</i> reutilizados.	30
Figura 7 – Fator de redução de resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade do aço com a temperatura.	33
Figura 8 – Revestimento intumescente exposto a chama	34
Figura 9 – Chapas de <i>container</i> marítimo utilizadas para ensaio.	37
Figura 10 – Materiais utilizados para remoção da tinta do <i>container</i>	38
Figura 11 – Produção da tinta em equipamento de dispersão.	40
Figura 12 – Tinta intumescente produzida no laboratório.	40
Figura 13 – Aplicação da tinta intumescente na chapa de <i>container</i>	41
Figura 14 – Perfil da chapa com tinta de espessura 1,5 mm.	42
Figura 15 – Chapa de <i>container</i> pronta para ensaio de resistência ao fogo.	43
Figura 16 – Disposição dos termopares no corpo de prova para ensaio no forno.	44
Figura 17 – Termopares dispostos lado a lado no terceiro ensaio.	44
Figura 18 – Posicionamento da câmera termográfica durante ensaio.	45
Figura 19 – Gráfico de “temperatura-tempo” do corpo de prova sem tinta intumescente.	47
Figura 20 – Imagens da câmera termográfica durante ensaio da mini parede sem proteção passiva.	49
Figura 21 – Gráfico de “temperatura-tempo” do corpo de prova com três camadas de tinta intumescente.	50
Figura 22 – Fotos da câmera termográfica durante ensaio da mini parede com três camadas de tinta.	51
Figura 23 – Gráfico das curvas “temperatura-tempo” do ensaio da mini parede com duas camadas de tinta.....	52
Figura 24 – Gráfico comparativo da diferença de temperatura interna e externa dos três ensaios.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – escala de temperaturas da curva-padrão de incêndio.....	26
Tabela 2 – Fatores de redução do aço.....	32
Tabela 3 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF).	46
Tabela 4 – Comparativo entre a temperatura média externa dos três ensaios.	55

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBM – Corpo de Bombeiros Militar

CBPMESP – Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo

CBMRS – Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul

ISO – International Organization for Standardization

IT – Instrução Técnica

RT – Resolução Técnica

SCI – Segurança contra Incêndio

TRRF – Tempo requerido de resistência ao fogo

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

t – tempo (min)

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	16
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo principal.....	16
2.2.2 Objetivos secundários.....	16
2.3 HIPÓTESE	16
2.4 DELIMITAÇÕES.....	17
2.5 LIMITAÇÕES	17
2.6 DELINEAMENTO.....	17
3 A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS.....	19
3.1 GRANDES INCÊNDIOS NO BRASIL.....	19
3.2 A LEGISLAÇÃO NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL	21
3.2.1 Conceito de resistência ao fogo.....	22
3.2.2 Ensaio de resistência ao fogo	24
4. ESTRUTURAS DE CONTAINER	28
4.1 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS <i>CONTAINERS</i>	28
4.2 <i>CONTAINERS</i> UTILIZADOS COMO ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES.....	29
4.3 PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO CONTRA O FOGO	31
4.3.1 Comportamento de estruturas de aço em situações de incêndio.....	31
4.3.2 Tintas intumescentes	33
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	36
5.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	36
5.2 CORPOS DE PROVA.....	36
5.2.1 Preparação da superfície.....	37
5.2.2 Fabricação da tinta intumescente	38
5.2.3 Aplicação da tinta intumescente.....	41
5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
6.1 MINI PAREDE DE <i>CONTAINER</i> SEM PROTEÇÃO PASSIVA	47
6.2 MINI PAREDES DE <i>CONTAINER</i> COM PROTEÇÃO PASSIVA	49

6.2.1 Proteção com três camadas de tinta intumescente	49
6.2.3 Proteção com duas camadas de tinta intumescente.....	51
6.3 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO	53
6.3.1 Estabilidade.....	53
6.3.2 Estanqueidade.....	53
6.3.3 Isolamento térmico	54
7 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A área de Segurança Contra Incêndios em edificações pode ser considerada relativamente nova no Brasil, se comparada com os países da Europa e os Estados Unidos. Isso se deve ao fato de que, infelizmente, como mostra a história mundial, somente após a ocorrência de grandes desastres relacionados a incêndios é que medidas de prevenção e combate a incêndios são tomadas e devidamente cobradas nos países e regiões que sofrem com essas tragédias.

Como os grandes incêndios no Brasil foram ocorrer décadas após os dos países mais desenvolvidos economicamente, que aconteciam desde o início do século XX, a legislação brasileira começou a existir e se desenvolver após os desastres dos anos de 1970, em São Paulo. Mas foi em 2013, quando aconteceu o trágico incêndio da Boate Kiss, em Santa Maria/RS, com 242 mortos, que começaram a surgir mudanças nas leis e maiores exigências nos projetos de Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio nas edificações do Rio Grande do Sul e, aos poucos, nos outros Estados da região Sul do Brasil.

Da mesma forma, a construção civil vem sendo estudada com um crescente viés de sustentabilidade, afinal é uma das atividades que gera resíduos em maiores proporções historicamente, impactando negativamente o meio ambiente, situação que se agrava no cenário nacional. Enquanto novos materiais vêm surgindo no mercado, alguns também podem ser reutilizados após seus mais variados usos. Exemplo disso são os *containers*, que são recipientes de grandes dimensões geralmente feitos de aço, destinados ao transporte de carga em navios e trens.

Containers têm sua vida útil na função de transporte de cerca de 10 anos, sendo então descartados e inutilizados. Contudo, vêm sendo reutilizados para outros fins na área da construção civil e arquitetura, servindo de estrutura para edificações, tanto residenciais, temporárias ou comerciais, e diversificando as configurações de usos e os métodos construtivos tradicionais.

Apesar da facilidade de construção de edificações de *containers*, é necessário que se atenda à legislação e às normas vigentes na região. Portanto, não se pode esquecer de projetar a estrutura desejada atendendo aos requisitos mínimos de segurança contra incêndio e estudando seu comportamento frente a um sinistro que venha a ocorrer. A edificação deve ser capaz de

preservar sua estrutura e propriedades de resistência ao fogo durante um determinado tempo, que varia conforme o tipo de uso da edificação, para que permita a evacuação de todas as pessoas antes de entrar em colapso.

Containers são compostos basicamente de metal, material que em altas temperaturas expande termicamente, gerando tensões indesejadas na sua estrutura metálica. Isso faz com que a mesma perca suas propriedades mecânicas, como a resistência à compressão/tração e módulo de elasticidade, e pode levar rapidamente ao rompimento por flambagem ao atingir a carga crítica. Sendo assim, proteções passivas que retardem a ação do fogo sob estruturas metálicas podem contribuir para o tempo necessário de resistência ao fogo de edificações residenciais, comerciais e temporárias feitas de *container*. Um exemplo são as tintas intumescentes, que podem ser utilizadas facilmente nas paredes da edificação, pois são revestimentos que se expandem e as protegem contra o fogo por determinado tempo.

Nesse contexto, esse trabalho visa analisar os efeitos da utilização de tintas intumescentes em estruturas de *container* quando expostas a situações de incêndio.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DA PESQUISA

A questão de pesquisa para o trabalho é: quando utilizadas como proteção passiva contra incêndio, quais os efeitos de melhoria que a pintura intumescente causa no TRRF de estruturas de *container* expostas ao fogo e altas temperaturas, comparativamente à sua não utilização?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários, conforme os itens a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é analisar experimentalmente o comportamento, em termos de resistência ao fogo – priorizando o isolamento térmico – de estruturas de *container* revestidas com proteção intumescente em situações de incêndio.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são comparar situações com e sem revestimento de tinta intumescente e, posteriormente, realizar uma revisão da legislação de incêndio em relação a estruturas feitas de *container*, para fins de uso residencial, temporário e comercial, principalmente de restaurantes.

2.3 HIPÓTESE

O trabalho tem como hipótese que as paredes de *container* não suportam o tempo requerido de resistência ao fogo necessário para evacuação de edificações compostas pelas mesmas. Tem também como hipótese que a utilização de tinta intumescente melhora a resistência ao fogo das paredes de *container*, bem como que uma parede com o dobro de espessura de tinta

intumescente resista mais da metade do tempo que a parede com apenas uma camada de tinta intumescente.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho é delimitado a ensaios de resistência ao fogo em mini paredes de *container* inutilizados para fins de transporte de carga, de dimensões 70 x 80 cm, com e sem a utilização de tinta intumescente para melhorar o comportamento frente a altas temperaturas.

2.5 LIMITAÇÕES

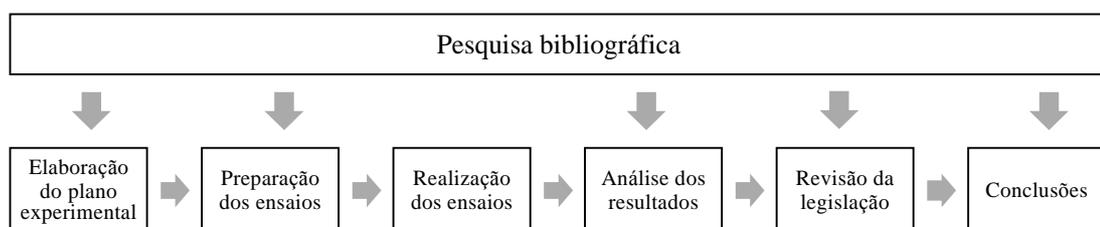
São limitações do trabalho a realização de ensaios em apenas um tipo de *container*, bem como o tamanho das paredes, que serão ensaiadas em escala reduzida, sendo de 70 x 80 cm, devido ao tamanho do forno disponível. E, também, a utilização de apenas uma composição de tinta intumescente, de um único fabricante, em apenas duas camadas distintas.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir e representadas na figura 1.

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração do plano experimental;
- c) preparação dos corpos de prova com e sem pintura intumescente;
- d) realização dos ensaios;
- e) análise dos resultados experimentais;
- f) conclusões.

Figura 1 – Delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

Na etapa de pesquisa bibliográfica, que se estendeu até o final do trabalho, foram realizadas buscas em literatura nacional e internacional acerca do tema, bem como em normas, leis e procedimentos normativos relacionados ao tema da pesquisa. Em seguida, foi elaborado o plano experimental, que consiste na organização dos modelos experimentais, definindo desde a quantidade de corpos de prova e os materiais necessários para os ensaios até os dias que serão ensaiados. Após as definições do plano experimental, foi recebido todo o material e então preparados os corpos de prova, com e sem pintura intumescente, que, após, foram ensaiados nas datas preestabelecidas. A partir da análise dos dados coletados nos ensaios experimentais e da revisão na legislação de resistência ao fogo e incêndio do estado do RS, foram realizadas as conclusões sobre o trabalho realizado, que devem auxiliar os fabricantes de edificações de *containers* e os bombeiros a alinharem as medidas necessárias de proteção contra incêndio nessas estruturas.

3 A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

A segurança contra incêndios é internacionalmente vista como uma ciência, que vem sendo muito estudada em países da Europa e Estados Unidos, e, em menor intensidade, mas em crescente relevância, nos países em desenvolvimento, como o Brasil. O Prof. Dr. Ualfrido Del Carlo (2008), da FAU-USP, cita a importância e constante inovação da SCI no mundo em seu livro “A Segurança Contra Incêndio no Brasil”:

É uma tendência internacional exigir que todos os materiais, componentes, sistemas construtivos, equipamentos e utensílios usados nas edificações sejam analisados e testados do ponto de vista da SCI. Para alcançar um desempenho cada vez maior, a sociedade desenvolve novas soluções em todas essas áreas.

A legislação e os códigos de SCI vêm sendo substituídos para as edificações mais complexas pela engenharia de SCI, outra área também em expansão internacionalmente.

As tecnologias que vêm se desenvolvendo, como eletrônica, robótica, informática, automação, etc. estão mais presentes em todas as áreas de conhecimento da SCI.

A demanda por engenheiros, pesquisadores e técnicos em SCI é crescente e no momento existe falta de mão-de-obra no mercado internacional. (2008, p.1)

Esse capítulo apresenta a situação atual da SCI no Brasil, que vem crescendo devido a grandes incêndios históricos no país, e ainda comenta sobre a legislação vigente no Brasil e no Rio Grande do Sul.

3.1 GRANDES INCÊNDIOS NO BRASIL

O Brasil cresceu de forma acelerada em um curto espaço de tempo, com um aumento da população em suas grandes cidades, que foram urbanizadas e industrializadas sem muito planejamento e controle, apresentando ampla verticalização dos bairros e regiões metropolitanas. Por consequência, diversos setores da sociedade, como segurança, saúde, educação, manutenção e conservação ambiental, etc., mostravam deficiências – que aparecem até hoje (DEL CARLO, 2008). Isso inclui o aumento do risco de incêndio nas edificações, considerando que não havia preocupação nem legislação em relação à SCI.

Foi em 17 de dezembro de 1961, em Niterói/RJ, que aconteceu o primeiro grande sinistro de incêndio no Brasil – e o maior em número de vítimas até hoje. Ventura (2011) conta que mais

de 3 mil espectadores, em sua grande maioria crianças, assistiam ao espetáculo circense do Gran Circo Norte Americano, quando, perto do final da sessão dos trapezistas, a lona pegou fogo e começou a cair em chamas em cima da plateia. Sem preparação de estrutura e equipe de segurança para a saída de milhares de pessoas em pânico, o episódio virou um marco na história da SCI no país, deixando mais de 500 mortos e aproximadamente mil feridos.

Nove anos mais tarde, em 18 de dezembro de 1970, um incêndio tomou conta da Ala 13 da montadora de automóveis Volkswagen, em São Bernardo do Campo/SP, consumindo grande parte da edificação, e deixando uma vítima fatal. Esse fato acabou desmistificando a crença de que construções de alvenaria aliadas a alta umidade relativa do ar minimizavam os riscos de incêndio, e também incentivou o início de estudos para a implementação de sistemas de controle de fumaça, inexistentes na fábrica em questão (GILL, OLIVEIRA e NEGRISOLDO, 2008).

A década de 1970 foi marcante na história da SCI no Brasil. No dia 24 de fevereiro de 1972, o país teve seu primeiro grande incêndio em uma edificação alta, de ocupação comercial e de serviços. O edifício Andraus, na cidade de São Paulo, de 31 pavimentos, foi dominado pelo fogo, que propagou-se rapidamente devido à pele de vidro da fachada, deixando 16 mortos e 336 feridos. O número de vítimas fatais foi relativamente pequeno, graças ao heliponto na cobertura, que permitiu o resgate de muitas pessoas que ocupavam o prédio. Esse sinistro levou ao início de estudos sobre a reformulação na legislação e reestruturação dos corpos de bombeiros, principalmente em SP, e à reformulação do Código de Obras da cidade de São Paulo (GILL et al., 2008).

Novamente, em fevereiro de 1974, outro prédio comercial foi tomado pelo fogo na cidade de São Paulo. Era o edifício Joelma, com 23 andares de escritórios e estacionamentos, cujo incêndio culminou em 179 mortos e 320 feridos. Dessa vez, não havia heliponto, portanto muitos ocupantes que subiram até o telhado, provavelmente esperando o mesmo tipo de resgate do famoso incêndio ocorrido 2 anos antes, acabaram morrendo queimados sem ter por onde escapar. Sem que efeitos tivessem surgido nos corpos de bombeiros desde o incêndio do edifício Andraus, ficou clara a necessidade de reorganização e aperfeiçoamento de profissionais na área, bem como uma legislação mais exigente e voltada à prevenção contra incêndio (GILL et al., 2008).

Voltando a história para o Rio Grande do Sul, o estado teve o incêndio das Lojas Renner, no centro de Porto Alegre, em 27 de abril de 1976, vitimando 41 pessoas e deixando outros 65

feridos. Janelas basculantes ou com grades, divisórias internas de madeira, escadas de emergência estreitas e poucos extintores de incêndio impediam a fuga e favoreciam o fogo e a fumaça a se espalharem pelo prédio (METRO, 2016). Sem estrutura preparada para combate a grandes incêndios, tanto no edifício, como no corpo de bombeiros local, o fato evidenciou novamente falhas no sistema de SCI como um todo.

Finalmente, o último grande marco na história da SCI no Brasil, com impacto gigantesco no Rio Grande do Sul, aconteceu na madrugada do dia 27 de janeiro de 2013, em Santa Maria/RS. Um incêndio provocado por fogos de artifício em contato com a espuma do forro acústico na boate Kiss acabou deixando 242 mortos e centenas de feridos. A fumaça tóxica liberada na queima do material do forro se espalhou rapidamente no local – totalmente fechado, escuro e superlotado –, que continha uma única saída disponível, asfixiando os jovens presentes no local (G1, 2013).

3.2 A LEGISLAÇÃO NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL

Até os anos de 1970, a avaliação e a classificação de riscos de incêndio eram feitas pelo Instituto de Resseguros do Brasil – IRB. Portanto, quem implementava as “regras” em relação a prevenção contra incêndio nas residências e estabelecimentos comerciais eram as seguradoras, que indicavam medidas que, se o assegurado adotasse, teria benefícios no valor de sua apólice. Essas medidas tinham relação com a localização da edificação, o tipo de ocupação e o tipo de construção e materiais adotados em sua estrutura. Contudo, a maior preocupação acerca de incêndios era com o patrimônio, e não com os ocupantes da edificação.

À medida que os desastres citados anteriormente foram acontecendo, diversas medidas de prevenção começaram a ser tomadas. Após os grandes incêndios ocorridos no estado de São Paulo nos anos de 1970, o corpo de bombeiros estadual despontou na área de legislação e planejamento de prevenção contra incêndio, sendo referência no país até hoje.

A estrutura da legislação de segurança contra incêndios no Brasil atualmente segue a Lei Kiss Federal – Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017. Ela indica, em seu artigo 2º, que:

O planejamento urbano a cargo dos Municípios deverá observar normas especiais de prevenção e combate a incêndio e a desastres para locais de grande concentração e circulação de pessoas, editadas pelo poder público

municipal, respeitada a legislação estadual pertinente ao tema. (BRASIL, 2017)

Esses locais referem-se a uma ocupação simultânea potencial igual ou superior a 100 pessoas, ou, se menor que 100 pessoas, a locais ocupados predominantemente por idosos, crianças ou pessoas com dificuldade de locomoção, ou com grande quantidade de materiais altamente inflamáveis em seu interior.

Em seu artigo 3º, a lei remete ao poder estadual, através do Corpo de Bombeiros Militar, o compromisso de “[...] planejar, analisar, avaliar, vistoriar, aprovar e fiscalizar as medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público [...]”, incluindo a aplicação de advertência, multa, interdição e embargo, na forma da legislação estadual pertinente.

Portanto, a responsabilidade na área de SCI cabe à legislação de cada estado, não havendo uma unificação total de normas no país. Em alguns estados, as legislações estaduais remetem, principalmente, a normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas e às instruções técnicas do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, e, aos poucos, em alguns casos, vão criando sua própria legislação.

O estado do Rio Grande do Sul vem avançando bastante na área desde 2013, após a ocorrência do trágico acidente na boate Kiss. Diversas normas, através de resoluções técnicas do CBMRS, já foram criadas e editadas, bem como leis e decretos. A Lei Kiss Estadual – Lei Complementar nº 14.376 –, lançada em 26 de dezembro de 2013, já teve diversas alterações desde então, visando melhorias – tanto para a população, quanto para empresas –, tendo sua última versão atualizada pela Lei Complementar nº 14.924 em 22 de setembro de 2016. Ela é regulamentada pelo Decreto nº 51.803, de 10 de setembro de 2014, atualizado pelo Decreto nº 53.822, de 5 de dezembro de 2017.

3.2.1 Conceito de resistência ao fogo

Seguindo o contexto abordado nesse trabalho, a legislação vigente no estado do Rio Grande do Sul em relação à resistência ao fogo segue a Instrução Técnica nº 08/2018 – Segurança estrutural contra incêndio, do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Ela define o TRRF – tempo requerido de resistência ao fogo – para uma edificação de forma que, “[...] em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural por tempo suficiente para

possibilitar a saída segura das pessoas e o acesso para as operações do Corpo de Bombeiros [...]”.

A resistência ao fogo de uma estrutura pode ser definida como a capacidade da mesma de suportar a ação do fogo e do calor do incêndio, preservando sua estabilidade e resistência estrutural, e garantindo isolamento térmico e estanqueidade aos gases provocados pelo incêndio durante determinado TRRF. Sendo assim, a norma vigente no estado do Rio Grande do Sul exige o tempo requerido de resistência ao fogo de uma estrutura conforme o tipo de ocupação e a classe de altura da edificação.

A determinação do TRRF de uma estrutura, segundo a IT 08/2018 do CBPMESP, segue a Tabela A do Anexo A da mesma, como mostra a Figura 2:

Figura 2 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)

Para a classificação detalhada das ocupações (Grupo e Divisão), consultar a Tabela 1 do Regulamento de Segurança contra Incêndio

Grupo	Ocupação/Usu	Divisão	Profundidade do subsolo hs		Altura da edificação h							
			Classe S ₂	Classe S ₁	Classe P ₁	Classe P ₂	Classe P ₃	Classe P ₄	Classe P ₅	Classe P ₆	Classe P ₇	Classe P ₈
			hs > 10 m	hs ≤ 10 m	h ≤ 6 m	6 m < h ≤ 12 m	12 m < h ≤ 23 m	23 m < h ≤ 30 m	30 m < h ≤ 80 m	80 m < h ≤ 120 m	120 m < h ≤ 150 m	150 m < h ≤ 250 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-
		F-3, F-4 e F-7	90	60	ver item A.2.3.3.		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
J	Depósitos	J-1	60	30	ver item A.2.3.4.		30	30	60	-	-	-
		J-2	90	60	30	30	30	30	60	-	-	-
		J-3	90	60	30	60	60	120	120	-	-	-
		J-4	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	-	-	-	-	-	-	-
M	Especial	M-1	150	150	150	-	-	-	-	-	-	-
		M-5	120	90	60	60	90	120	-	-	-	-
		M-3	120	90	90	90	120	120	120	150	-	-

NOTAS:

1. Casos não enquadrados serão definidos pelo SvSCI do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo;
2. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver item 5.10);
3. Para edificações de madeira: verificar item 5.20;
4. Para indústria ou depósito com inflamáveis, considerar I-3 e J-4, respectivamente.

(Fonte: IT n° 08/2018 – CBPMESP)

A IT nº 08/2018 do CBPMESP aceita as seguintes metodologias para comprovar o TRRF de uma edificação:

- a) “execução de ensaios específicos de resistência ao fogo em laboratórios;
- b) atendimento a tabelas elaboradas a partir de resultados obtidos em ensaios de resistência ao fogo;
- c) modelos matemáticos (analíticos) devidamente normatizados ou internacionalmente reconhecidos.”

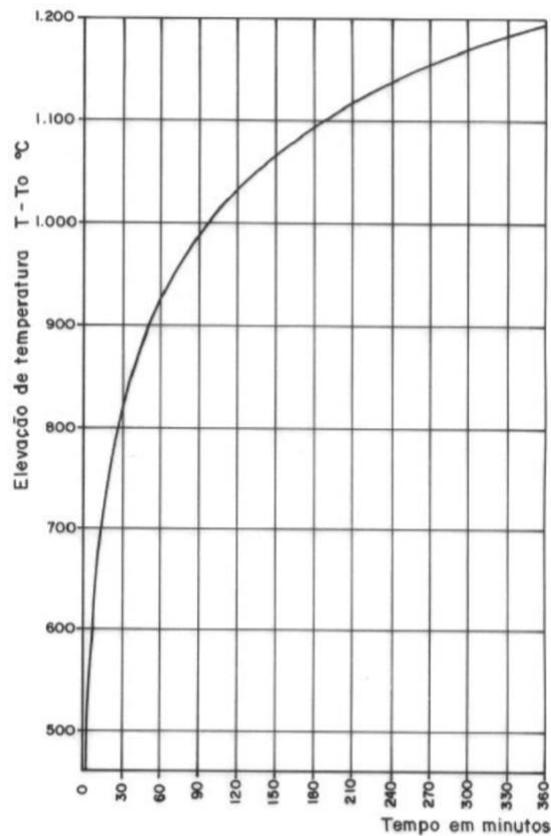
Sendo assim, seguindo o objetivo desse trabalho, a metodologia “a” será aplicada, conforme explicação a seguir.

3.2.2 Ensaio de resistência ao fogo

A norma ABNT NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo, em vigor desde 2001, prescreve o método de ensaio para determinar a resistência ao fogo de elementos estruturais, como paredes, lajes, pilares e vigas. A resistência ao fogo é representada pelo tempo que as amostras suportam sem perder suas propriedades, como mencionado acima – resistência mecânica, isolamento térmico e estanqueidade de gases, quando submetidas a um programa técnico padrão de incêndio.

O programa técnico adotado no ensaio é determinado pela curva-padrão “temperatura-tempo”, mostrada na Figura 3. A expressão matemática que gera a curva do gráfico é a equação 1.

Figura 3 – curva padrão “temperatura-tempo”



(Fonte: ABNT NBR 5628:2001)

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

Sendo:

t = tempo em minutos, a contar do início do ensaio;

T = temperatura do forno em °C no instante “t”;

T₀ = temperatura inicial do forno em °C, sendo que $10^{\circ}\text{C} \leq T_0 \leq 40^{\circ}\text{C}$.

Sendo assim, segundo a Norma, a equação 1 permite calcular uma escala de temperaturas, como mostra a Tabela 1:

Tabela 1 – escala de temperaturas da curva-padrão de incêndio

t (min)	T - T₀ (°C)
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1193

(fonte: elaborado pela autora)

A norma ABNT NBR 10636:1989 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo descreve o ensaio de resistência ao fogo de maneira similar ao de elementos estruturais, com a mesma curva-padrão de “temperatura-tempo”. Como a norma é direcionada a paredes divisórias, é recomendado que se utilize corpos de prova que sejam representativos da parede, incluindo juntas, aberturas, e sistemas de fixação e apoio. As dimensões mínimas solicitadas, quando não for possível realizar o ensaio com as dimensões reais de utilização, são 2,5 m de largura por 2,5 m de altura, mas com espessura igual à adotada na situação real.

A norma sugere que, para planejamento do ensaio, deve ser preestabelecido um TRRF, conforme classificação indicada na mesma, indicando a categoria e o grau de resistência ao fogo do corpo de prova a ser testado. As condições gerais do ensaio incluem também:

- a) temperatura do ambiente entre 10 °C e 40 °C;
- b) velocidade do ar não superior a 1,3 m/s;
- c) corpos de prova não submetidos a qualquer carregamento externo durante o ensaio;
- d) exposição ao aquecimento conforme a curva padrão em apenas uma das faces do corpo de prova.

A medição da temperatura do forno deve ser feita através de termopares, sendo registradas continuamente durante o ensaio, a fim de se obter a temperatura média que obedeça a curva padrão de “temperatura-tempo”. A medição da temperatura na face externa do corpo de prova

deve ser registrada também através de termopares, soldados na superfície da estrutura da parede.

As 3 características de resistência ao fogo a serem verificadas durante o ensaio estão descritas nos próximos itens, seguidas dos procedimentos a serem realizados e dos critérios de aceitação:

- a) Estabilidade: deve ser verificada através de deformações do corpo de prova (flechas devidas a desvios de curvaturas e trincas), assim como o registro de eventual colapso ou sinal de instabilidade. Também deve ser feito teste de choque 3 minutos antes do tempo preestabelecido para término do ensaio, que consiste em submeter a face não exposta ao fogo do corpo de prova ao impacto pendular de uma esfera de aço, com massa entre 15 kg e 25 kg. Considera-se estável o corpo de prova que não entrar em colapso durante todo o ensaio.
- b) Estanqueidade: “a estanqueidade às chamas e gases quentes das trincas ou outras aberturas é verificada por meio de um chumaço de algodão colocado a uma distância destas, variável entre 20 mm e 30 mm”, aplicado em curtos intervalos de tempo – no mínimo 10 s e no máximo 20 s – para determinação de sua inflamação. Considera-se estanque o corpo de prova que não apresentar trincas ou aberturas que permitam a passagem de gases quentes ou chamas durante todo o ensaio.
- c) Isolamento térmico: deve ser verificado, através dos termopares, pelo aumento da temperatura na face do corpo de prova não exposta à alta temperatura do forno, durante todo o ensaio. Considera-se isolante térmico o corpo de prova que não apresentar aumento de temperatura média superior a 140 °C na face não exposta à alta temperatura, bem como o aumento de temperatura superior a 180 °C em qualquer termopar da mesma.

O resultado, de acordo com o atendimento de cada um dos critérios explicados acima, se dá em duas formas: categoria de resistência ao fogo e grau de resistência ao fogo. As duas categorias a que a estrutura pode se enquadrar são: corta-fogo, quando atende às 3 características, e pára-chamas, quando atende apenas à estabilidade e estanqueidade. Os graus de resistência ao fogo são expressos pelo tempo de ensaio no qual os corpos de prova atendem aos requisitos de resistência ao fogo, associados a cada uma das categorias, e expressos em minutos, partindo de 360, 240, 180, 120, 90, 60, 45, 30 até 15.

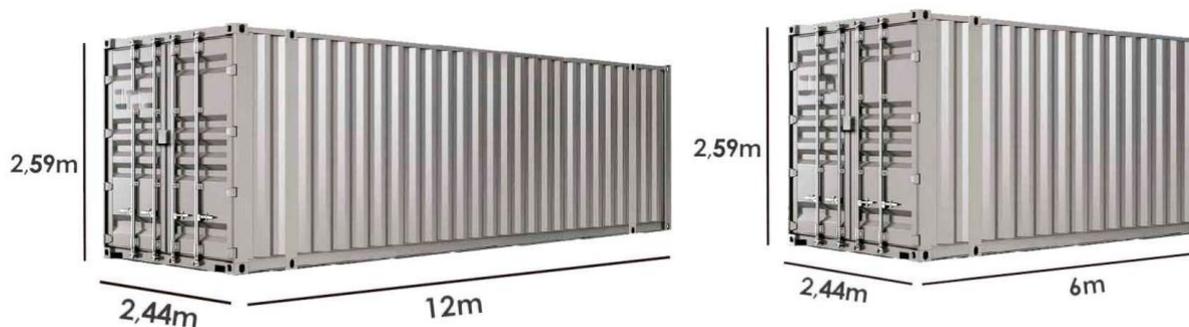
4. ESTRUTURAS DE *CONTAINER*

4.1 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS *CONTAINERS*

Containers são empregados na indústria para o transporte, principalmente marítimo, de materiais dos mais variados segmentos. São relativamente recentes, tendo surgido na década de 1950, graças a Malcom McLean, que concluiu que a operação de retirada de carga de caminhões para os navios seria muito mais ágil se a carreta pudesse ser colocada diretamente sobre o navio e empilhada sobre outras iguais – ao invés da carga ser carregada individualmente por estivadores. Após duas décadas trabalhando para colocar sua ideia em prática, McLean fez a primeira viagem de transporte marítimo com 58 contêineres em 1956, nos Estados Unidos, revolucionando o transporte de mercadorias mundial (GUANDALINI, 2007).

Guandalini (2007) ainda fala que, com a padronização da caixa metálica pela International Organization for Standardization (ISO), no fim da década de 1960, o transporte de cargas rápido e automatizado causou um impacto irreversível no comércio mundial, diminuindo o custo do frete – que custava cerca de 20% do preço final da mercadoria, para 1% – em 95%. Os tamanhos padrões mais populares são o de 20 pés (6,10 m) e o de 40 pés (12,20 m) de comprimento, tendo 2,44 m (8 pés) de largura por 2,6 m (8,6 pés) de altura, que devem ser desenvolvidos em uma das 3 categorias: *dry* – normal, para cargas secas –; insulado, com revestimento especial; e refrigerado, que contém equipamento próprio para geração de frio, para cargas que requerem conservação em baixas temperaturas (GUIA MARÍTIMO, 2018). A Figura 4 mostra os dois tamanhos de *container* mais populares.

Figura 4 – *Container dry* de 40 pés (esquerda) e 20 pés (direita).



(Fonte: Miranda *Container*, 2015)

O material de que os *containers* padrão são fabricados é o aço corten, um aço patinável, que apresenta, em média, três vezes mais resistência à corrosão que o aço comum, pois possui em sua composição elementos que melhoram as propriedades anticorrosivas (METALICA, 2017). Além de formar a pátina, que confere ao aço uma melhoria na resistência à corrosão, as adições de elementos de liga – como cobre, fósforo, níquel e cromo – presentes no aço corten contribuem para a melhoria de propriedades mecânicas da estrutura, como a resistência ao escoamento e a resistência à tração (INFOMET, 2018).

Considera-se que os *containers* de transporte têm sua vida útil de cerca de dez anos, sendo então descartados pelas empresas, que consideram mais viável economicamente a aquisição de um modelo novo (ROMANO et al., 2014). Por serem feitos de material metálico e não biodegradável, tornam-se um problema por formarem montanhas de lixo nos arredores das cidades portuárias (MILANEZE et al., 2012).

Concebidos seguindo rigorosas normas e padrão de qualidade ISO, os *containers* devem ser capazes de suportar o empilhamento de nove recipientes totalmente carregados – cerca de 190 toneladas, bem como de terem sua estrutura conservada ao passarem sua vida útil expostos a condições climáticas extremas ao redor do mundo (XAVIER, 2015). Portanto, apareceram como potencial material para uso na construção civil, indústria que sofre com problemas de geração de resíduos e vem buscando a reutilização de diferentes materiais.

4.2 CONTAINERS UTILIZADOS COMO ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES

Segundo Xavier (2015), foi o arquiteto britânico Nicholas Lacey o pioneiro na ideia de empregar *containers* categoria *dry* inutilizados para residências, tendo escrito sua tese na década de 1970 falando sobre a utilização desse recipiente como alojamentos. Lacey foi seguido por diversos engenheiros e arquitetos, que observaram a possibilidade de uso do material na construção civil, diminuindo os custos da obra em até 30%, além de dar mais agilidade na construção (ROMANO et al., 2014).

O tempo reduzido de obra se deve ao fato de os *containers* serem fabricados em módulos de tamanho e encaixe padronizados pela ISO, facilitando a montagem da estrutura da edificação. Além disso, não exige tempo de cura, como o concreto, pois a estrutura já vem pronta de fábrica, como indica a fabricante Delta *Containers* (2018). É possível, a partir de um projeto, solicitar

o corte das aberturas de portas e janelas, bem como qualquer personalização que seja necessário para a perfeita montagem da estrutura. As Figuras 5 e 6 mostram exemplos de edificações construídas com estrutura de *containers*.

Figura 5 – Residência em *container* personalizado.



(fonte: Construct, 2017)

Figura 6 – Edifício em *containers* reutilizados.



(fonte: Construct, 2017)

O custo da obra também pode ser reduzido quando utilizado esse sistema devido ao custo dos materiais e da leveza da estrutura, além de haver consideravelmente menos perdas de material se comparado a construções convencionais de concreto armado e alvenaria. Um estudo de viabilidade econômica para habitação de interesse social em *containers* foi feito por Milaneze et al., em 2012, e indicou uma redução de custos em comparação ao método tradicional de construção.

Tudo isso, somado ao fato de ser um método construtivo que visa a sustentabilidade, por utilizar materiais de resíduos da indústria e menos recursos provenientes da natureza, além de gerar menos resíduos, aponta a utilização de *containers* em edificações residenciais e comerciais como uma ótima alternativa de inovação na construção. Contudo, alguns cuidados especiais devem ser tomados para que a qualidade e o desempenho da edificação sejam adequados para tal função.

Segundo Sotello (apud ROMANO et al., 2014), algumas adaptações na estrutura e no material do *container* são necessárias para que a vivência em seu interior seja aconchegante e não se torne desconfortável. O isolamento térmico e acústico das paredes e do teto é indispensável, visto que a estrutura metálica tem alta condutividade térmica e produz bastante ruídos quando em contato com chuva, por exemplo. Além do conforto térmico, a edificação deve ter capacidade de resistir a altas temperaturas em um tempo mínimo requerido para evacuação, conforme recomendação de resistência ao fogo. Sendo assim, o aço merece cuidado especial para proteção em casos de incêndio, como será comentado a seguir.

4.3 PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO CONTRA O FOGO

4.3.1 Comportamento de estruturas de aço em situações de incêndio

Segundo Silva et al (2008), é sabido, há muito tempo, que a resistência e o módulo de elasticidade do aço são reduzidos quando este material é submetido a altas temperaturas. Os estudos científicos relativos à resistência ao fogo de estruturas metálicas iniciaram após o acontecimento de uma série de terríveis acidentes em edificações feitas com ferro fundido, tendo como exemplo o famoso incêndio de Chicago, em 1871, quando cerca de 17.000 prédios foram total ou parcialmente destruídos pelo fogo (PANNONI, 2002). No mais, na literatura científica, existem poucos registros de situações de incêndio em estruturas metálicas. Encontra-

se conteúdo sobre estruturas de aço em situações de incêndio na mídia na forma de matérias de *blog* ou reportagens.

Um elemento estrutural, quando exposto a situações de incêndio, deve garantir, pelo tempo requerido, a evacuação de todas as pessoas presentes em seu interior, conservando, portanto, os três aspectos necessários da resistência ao fogo: a resistência mecânica, a estanqueidade e o isolamento térmico nesse período. Pannoni (2002) diz que a capacidade resistente da estrutura depende altamente do comportamento do material do qual ela é composta, ou seja, do grau de variação das propriedades físicas e mecânicas com a variação da temperatura a que é submetida.

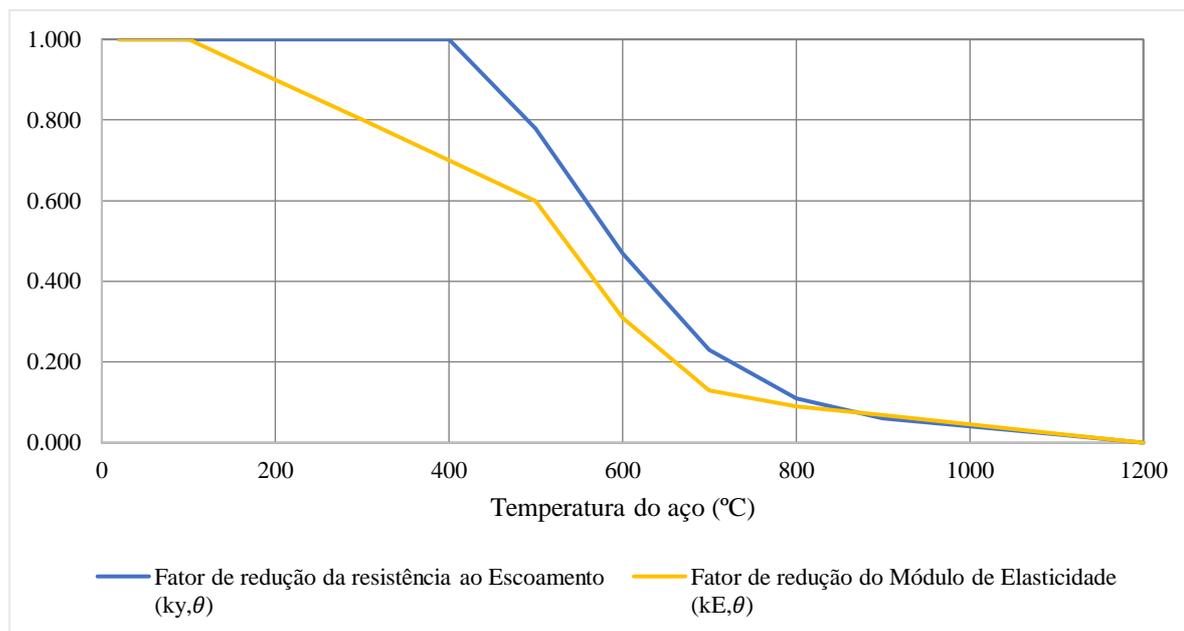
A Tabela 2 e o gráfico gerado pelos dados da mesma, representado na Figura 7, indicam os fatores de redução para o limite de resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade do aço com a temperatura, conforme a ABNT NBR 14323:2013.

Tabela 2 – Fatores de redução do aço

Temperatura do aço (°C)	Fator de redução do Módulo de Elasticidade ($k_{E,\theta}$)	Fator de redução da resistência ao Escoamento ($k_{y,\theta}$)
20	1,000	1,000
100	1,000	1,000
200	0,900	1,000
300	0,800	1,000
400	0,700	1,000
500	0,600	0,780
600	0,310	0,470
700	0,130	0,230
800	0,090	0,110
900	0,068	0,060
1000	0,045	0,040
1100	0,023	0,020
1200	0,000	0,000

(fonte: elaborado pela autora)

Figura 7 – Fator de redução de resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade do aço com a temperatura.



(fonte: elaborado pela autora)

A resistência mecânica dos aços estruturais sofre reduções progressivas quando estes são expostos a altas temperaturas, como ocorre durante um incêndio. A fim de evitar o colapso ou simplesmente danos à estrutura, é recomendada a utilização de aços pouco sensíveis a altas temperaturas, e também de materiais que podem formar uma camada de revestimento, que age como uma proteção passiva do material metálico, melhorando assim sua capacidade de isolamento térmico e evitando a entrada de calor intenso na estrutura (PANNONI, 2002). Um exemplo de utilização desse tipo de material é a pintura com tintas intumescentes, cuja descrição está apresentada na sequência.

4.3.2 Tintas intumescentes

Tintas intumescentes podem ser definidas como componentes de proteção passiva contra o fogo (JIMENEZ et al, 2006). Elas podem ser aplicadas em diversos tipos de substratos (metais, polímeros, madeira, etc.), a fim de proteger as propriedades dos mesmos quando expostos a altas temperaturas, como é o caso em incêndios (SÁ, 2017).

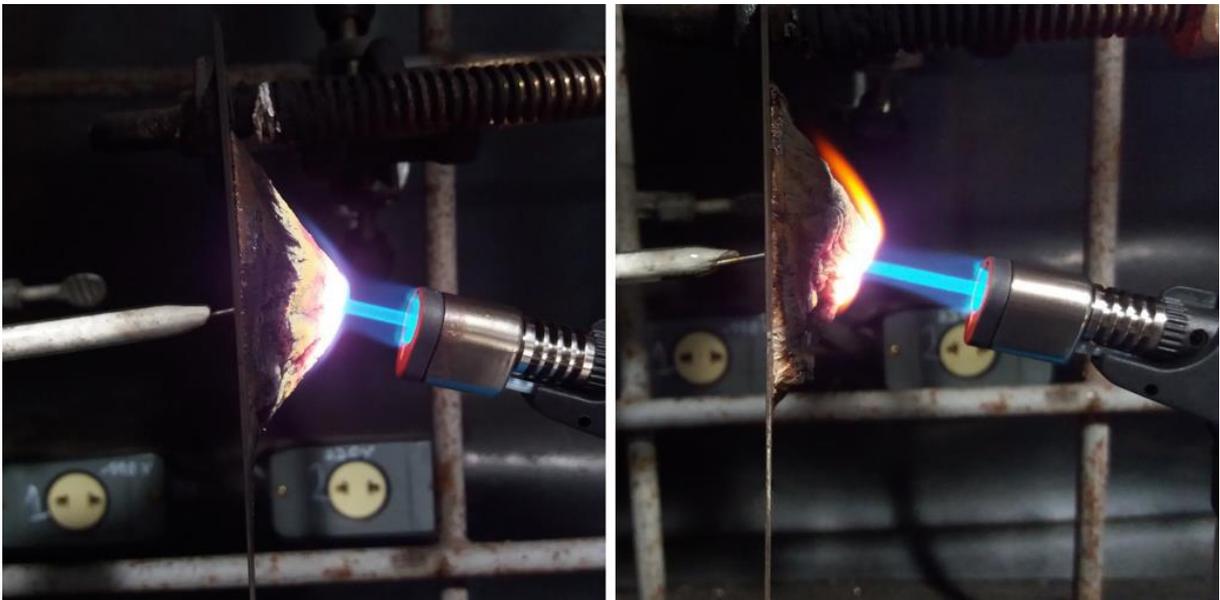
A composição das tintas intumescentes varia conforme o fabricante. Os três componentes ativos de uma formulação intumescente são:

uma fonte ácida (um ácido inorgânico ou um composto capaz de liberar espécies ácidas sob aquecimento), uma fonte de carbono (capaz de formar a camada carbonosa protetora) e um agente de expansão (deve decompor para proporcionar a expansão da camada) (SÁ, 2017, p.38).

Além destes, as tintas contêm um componente formador de filme (resina polimérica), aditivos e solvente – orgânico ou água. A escolha da natureza do solvente está relacionada à solubilidade da resina (resina organo-solúvel ou emulsão aquosa) e também ao aspecto ambiental, já que emulsões aquosas não contêm compostos orgânicos voláteis que são emitidos para a atmosfera no momento da formação do filme de tinta (FAZENDA, 2009).

Sá (2017) explica que o mecanismo de ação de um revestimento intumescente funciona de modo que, quando exposto a uma fonte de calor, ocorre expansão do material, formando uma camada de um material isolante térmico com volume 50 a 200 vezes maior que o original, e capaz de proteger o substrato em que está aplicado (WLADIKA-PRZYBYLAK et al, 1999). A Figura 8 mostra o revestimento intumescente de uma chapa durante ensaio, expandindo quando exposto a um maçarico com chama.

Figura 8 – Revestimento intumescente exposto a chama



(fonte: SÁ, 2017)

A utilização de tintas intumescentes torna-se viável e eficiente principalmente em estruturas de aço, já que o mesmo tem suas propriedades de resistência mecânica diminuídas quando a superfície da estrutura atinge temperaturas superiores a 450°C (SOUZA et al, 2016). Além de preservar a resistência estrutural, uma tinta intumescente é capaz de limitar o aumento de

temperatura na superfície oposta à de contato com o fogo em situações de incêndio, isolando termicamente o ambiente vizinho ao incêndio.

A resistência ao fogo de uma estrutura é uma característica importante na prevenção contra incêndios, dada pelo tempo que a mesma deve garantir sua estabilidade, isolamento térmico e estanqueidade de gases para a fuga completa de todos os ocupantes da edificação. Portanto, sabendo que *containers* vêm sendo utilizados cada vez mais em estruturas de diversas edificações e que, em situações de incêndio, a estrutura deve garantir a resistência ao fogo durante determinado tempo, esse trabalho visa utilizar tintas intumescentes em estruturas de *container*, a fim de comparar sua eficiência ao se utilizar ou não sua proteção em situações de altas temperaturas, variando a espessura do revestimento para comparar os tempos de resistência ao fogo para diferentes situações.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Nesse capítulo será descrito o programa experimental do trabalho, apresentando os materiais que foram utilizados, bem como a preparação dos mesmos para os ensaios. Serão descritos também os ensaios e procedimentos executados, todos realizados no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME/UFRGS).

5.1 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia experimental da pesquisa proposta para esse trabalho é uma adaptação baseada na norma ABNT NBR 10636:1989 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo, descrita no capítulo 3, sessão 3.2.2 desse trabalho. Como o trabalho visa testar, em laboratório, a resistência ao fogo de paredes de *container*, com e sem revestimento de proteção passiva, é necessária a utilização de um forno que respeite a curva padrão de “temperatura-tempo”.

A adaptação do ensaio se deve ao fato de o forno disponível no laboratório ser de tamanho pequeno e ter abertura de 50 x 50 cm, ao contrário da abertura mínima de 2,5 x 2,5 m requerida na norma. A verificação das características de resistência ao fogo durante o ensaio também foi adaptada – o teste de choque mecânico não foi realizado, pela indisponibilidade de uma esfera de aço com massa entre 15 e 25 kg, bem como pelo fato de a mini parede ser muito menor do que a parede prevista no ensaio normatizado.

5.2 CORPOS DE PROVA

Os ensaios foram realizados em chapas de *containers* marítimos inutilizados, de aço corten, com dimensões médias de 70 x 80 cm. As chapas foram cortadas em um depósito do Porto de Rio Grande e gentilmente cedidas pela empresa Colmeia *Containers*. A Figura 9 ilustra as chapas de *container*.

Figura 9 – Chapas de *container* marítimo utilizadas para ensaio.



(fonte: foto da autora)

5.2.1 Preparação da superfície

Como as chapas vieram diretamente do porto, estavam com a pintura usual de *containers* de transporte marítimo. Foi necessária a remoção dessa pintura da face da chapa que seria exposta à alta temperatura do forno, a fim de evitar a inflamação da mesma. Para tanto, foi utilizado o removedor de tintas “Striptizi Gel”, da Montana Química S.A, juntamente com um solvente de cloreto de etileno. A Figura 10 mostra os materiais utilizados para remoção da tinta. Foi utilizado, também, para finalização da retirada da tinta da chapa de *container*, um *thinner*, que auxilia na remoção de resíduos da tinta e do próprio removedor.

Figura 10 – Materiais utilizados para remoção da tinta do *container*.



(fonte: foto da autora)

5.2.2 Fabricação da tinta intumescente

A tinta intumescente determinada para realização desse trabalho é estudada e desenvolvida no Lapol – Laboratório de Materiais Poliméricos/UFRGS. Há diversas pesquisas envolvendo o uso desse tipo de revestimento para proteção passiva contra o fogo. Essas tintas são compostas basicamente de uma mistura de fonte de carbono, agente de expansão e fonte ácida, os quais levam à formação de reações em cadeia, levando à criação de uma camada cerâmica de baixa condutividade térmica, fenômeno este chamado de intumescência.

Neste trabalho de conclusão, duas diferentes formulações foram previamente avaliadas para verificar qual apresentaria o melhor desempenho anti chama para o substrato estudado. A diferença entre estas foi a resina base da tinta, sendo que em uma formação utilizou-se resina epóxi monocomponente e na outra resina epóxi bicomponente. As formulações foram ensaiadas em forno do laboratório em temperatura de até 600 °C, quando verificou-se que a formulação contendo resina epóxi monocomponente não se mostrou adequada para proteção anti chama. Com isto, continuou-se o estudo com a formulação contendo resina epóxi bicomponente.

A produção da tinta para a realização dos ensaios desse trabalho foi executada no laboratório do Lapol no Centro Tecnológico (CT) do Campus do Vale da UFRGS. A quantidade de material

a ser produzido foi calculada obedecendo à hipótese inicial do trabalho, que solicita que sejam ensaiadas duas chapas de *container*, uma com espessura de 1,5 mm e outra com o dobro de espessura, ou seja, 3,0 mm. O cálculo se deu através da área superficial das chapas a serem ensaiadas, multiplicada pela espessura do filme de tinta, e, por fim, multiplicada pela massa específica da tinta. Os materiais foram pesados anteriormente e transportados até o laboratório no CT em porções separadas para cada batelada de produção de tinta. Foram feitas duas bateladas de 1,5 kg de tinta e uma batelada de 1,0 kg de tinta, totalizando 4,0 kg de tinta intumescente.

As tintas foram preparadas em um dispersor, utilizando xilol-butanol como solvente. Primeiramente, a resina no balde foi posta em dispersão, adicionando solvente aos poucos e, após sua homogeneização, os componentes sólidos misturados foram adicionados e dispersos a uma rotação de 300 rpm. O processo de dispersão ocorreu por volta de 30 minutos, e, após esse tempo, foi constatado que a tinta estava com viscosidade adequada para aplicação nas chapas de *container*. A Figura 11 mostra o equipamento de dispersão em execução na fabricação da tinta e a Figura 12 mostra os três potes de tinta intumescente.

Figura 11 – Produção da tinta em equipamento de dispersão.



(fonte: foto da autora)

Figura 12 – Tinta intumescente produzida no laboratório.



(fonte: foto da autora)

5.2.3 Aplicação da tinta intumescente

Após a fabricação da tinta intumescente bicomponente, foi iniciada a pintura nas mini paredes de *container*. Essa etapa consistiu, primeiramente, em adicionar o componente endurecedor da resina no pote de tinta, para que fosse possível sua aplicação e sua consequente cura. A tinta foi aplicada com auxílio de pinceis e uma espátula, devido à sua alta viscosidade.

Foi utilizado um medidor de espessura de filme úmido para o controle da espessura da tinta. A chapa destinada à espessura de 1,5 mm recebeu 2 demãos de tinta, e a chapa de espessura 3,0 mm, 3 demãos. Após aplicação de cada demão, para execução da próxima, foi aguardado o tempo necessário para que a tinta estivesse seca ao toque. A Figura 13 mostra a tinta sendo aplicada na mini parede de *container*.

Figura 13 – Aplicação da tinta intumescente na chapa de *container*.



(fonte: foto da autora)

Foi observado que a espessura da tinta nas duas chapas não se manteve constante, devido ao formato do corpo de prova, pois a tinta, durante sua cura, escorria pelas faces verticais da chapa, como mostra o perfil da chapa na Figura 14. Portanto, é importante salientar que as faces “inferiores” das chapas de *container* permaneceram com espessura maior do que a preestabelecida.

Figura 14 – Perfil da chapa com tinta de espessura 1,5 mm.

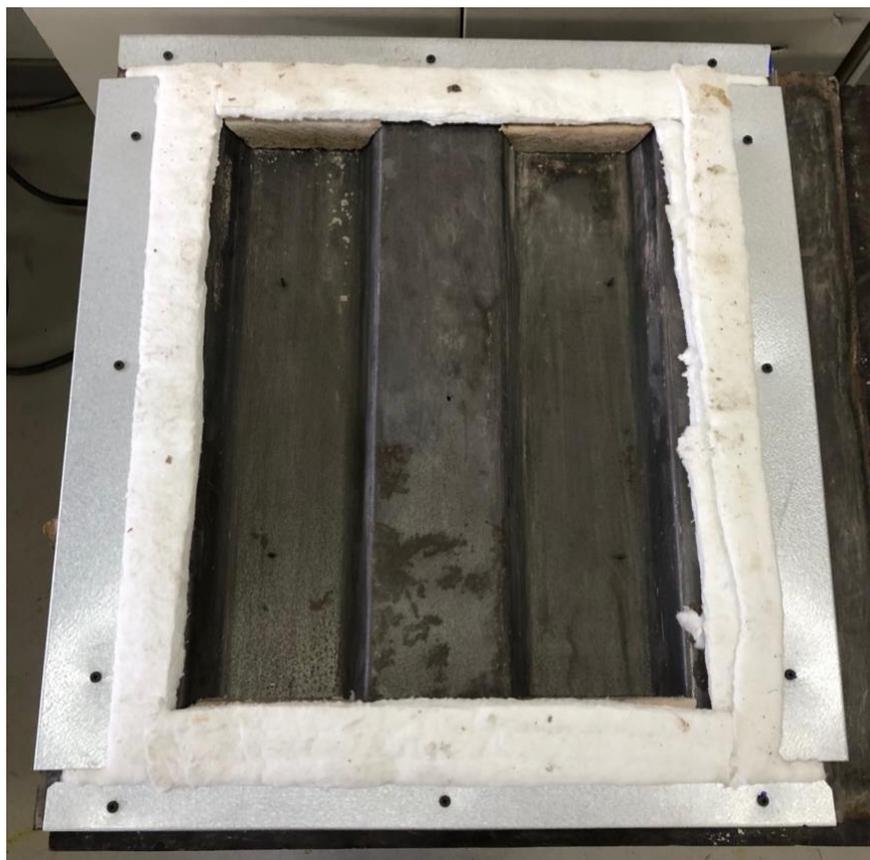


(fonte: foto da autora)

5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO

O forno utilizado para ensaio adaptado de resistência ao fogo é capaz de simular a curva padrão de “temperatura-tempo” exigida pela norma NBR 10636. O isolamento da chapa no forno para a realização do ensaio foi feito juntamente com pedaços de placa e de manta fibro-cerâmica. A Figura 15 mostra a moldura de isolamento da chapa de *container* para ensaio no forno.

Figura 15 – Chapa de *container* pronta para ensaio de resistência ao fogo.



(fonte: foto da autora)

Os termopares para medição da temperatura interna do forno e da face externa do corpo de prova foram dispostos de acordo com as exigências da norma ABNT NBR 10636:1989: utilização de cinco termopares, sendo um no centro geométrico do corpo de prova, e os demais defronte a cada uma das áreas resultantes da divisão da superfície da chapa em quatro partes iguais. O termopar interno foi alocado ao lado do termopar externo central. Os dados foram programados para serem coletados a cada 10 segundos através de um equipamento de aquisição de dados, denominado de field logger®. A Figura 16 indica a disposição dos termopares (1, 2, 3, 4 e 6) já montados para realização dos primeiros dois ensaios (corpo de prova sem tinta e com três camadas de tinta intumescente). No terceiro ensaio (corpo de prova com uma camada de pintura intumescente), os termopares foram dispostos lado a lado, conforme mostra a Figura 17, a fim de obter uma melhor distribuição da temperatura na face inteira da chapa de *container*.

Figura 16 – Disposição dos termopares no corpo de prova para ensaio no forno.



(fonte: foto da autora)

Figura 17 – Termopares dispostos lado a lado no terceiro ensaio.



(fonte: foto da autora)

Além dos termopares, foi utilizada uma câmera termográfica, da marca Flir®, que foi programada para tirar uma foto a cada 30 segundos de ensaio, auxiliando na coleta de dados da temperatura superficial da face externa do corpo de prova. A faixa de atuação configurada na

câmera termográfica é de zero até 600 °C. A Figura 18 mostra o posicionamento da câmera em frente ao forno com a mini parede de *container* durante o ensaio de resistência ao fogo.

Figura 18 – Posicionamento da câmera termográfica durante ensaio.



(fonte: foto da autora)

O tempo preestabelecido para duração do ensaio (TRRF) foi de 60 minutos, considerando o maior valor da legislação existente no Estado do Rio Grande do Sul para edificações com os tipos de ocupação mais usuais em estruturas de *container*: residencial, comercial, escritórios e restaurantes, com até 6 metros de altura – não mais que dois *containers* empilhados. A Tabela 3 indica, em resumo, os TRRFs de cada tipo de ocupação, conforme informações contidas na Instrução Técnica nº 08/2011 – Resistência ao fogo dos elementos de construção, do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo, e no Decreto nº 56.819 do Estado de São Paulo.

Tabela 3 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF).

Ocupação em <i>container</i>	Grupo	Ocupação / Uso	Divisão	Descrição	TRRF
					Classe P1 h ≤ 6 m
Residencial	A	Residencial	A-1 a A-3	Habitação uni/multi familiar ou coletiva	30
Comércio (lojas)	C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	60
Escritórios	D	Serviço profissional	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	30
Restaurantes	F	Local de reunião de público	F-8	Local para refeição	60

(fonte: elaborado pela autora, com base na IT nº 08/2011 do CBMSP)

Foram realizados três ensaios: uma mini parede de *container* sem proteção de tinta intumescente, e duas mini paredes com proteção, sendo uma com duas camadas de tinta (totalizando média de 1,5 mm), e a outra com três camadas de tinta intumescente (totalizando média de 2,5 mm).

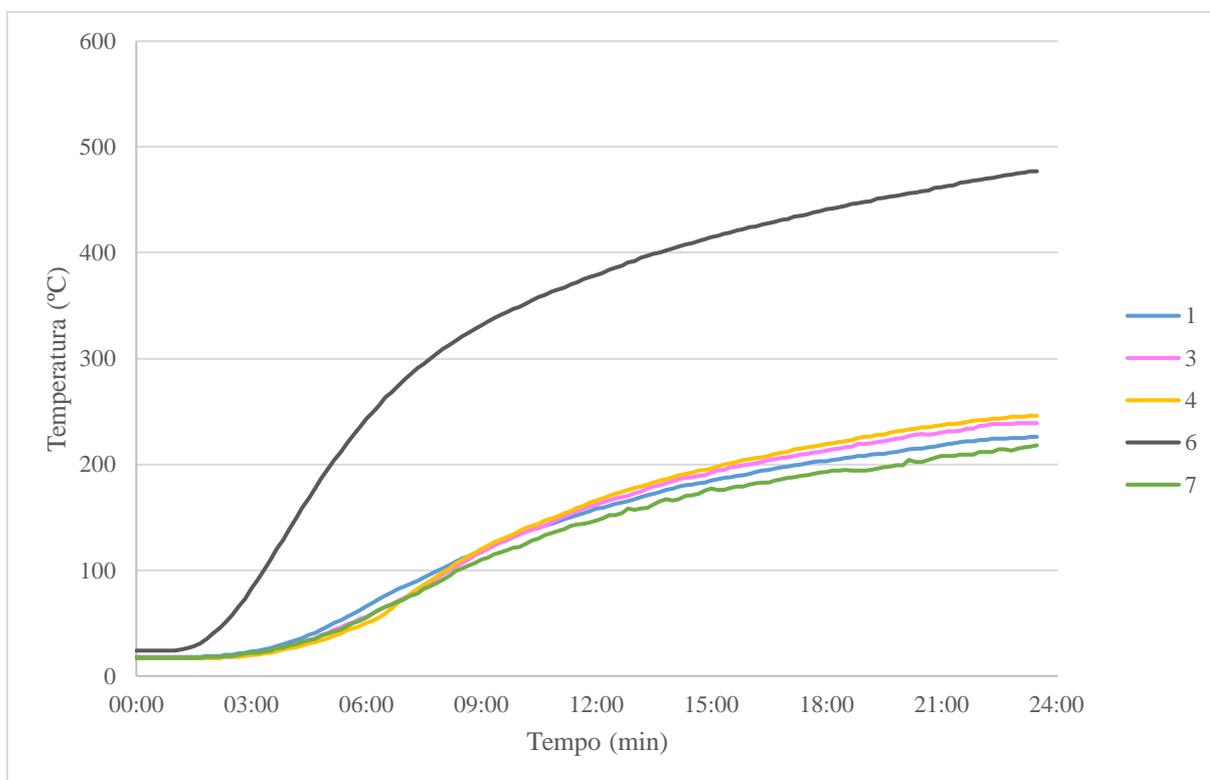
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentadas as curvas de “temperatura-tempo” dos corpos de prova ensaiados, bem como a análise dos resultados.

6.1 MINI PAREDE DE *CONTAINER* SEM PROTEÇÃO PASSIVA

A primeira mini parede ensaiada foi a sem tinta intumescente, com a finalidade de servir como referência de resistência ao fogo de um *container* marítimo inutilizado. A medida que a temperatura do forno foi aumentando, a temperatura da face externa também apresentava crescimento, porém menos acelerado. A Figura 19 apresenta a curva “temperatura-tempo” dos dados coletados no ensaio realizado, sendo os termopares 1, 3, 4 e 7 os da face externa, e o 6, interno (posicionado próximo à face exposta). É importante ressaltar que os dados do termopar 2 foram desconsiderados para elaboração do gráfico, pois o mesmo apresentou mal contato no início do ensaio, resultando em dados imprecisos de medição de temperatura durante o ensaio.

Figura 19 – Gráfico de “temperatura-tempo” do corpo de prova sem tinta intumescente.



(fonte: elaborado pela autora)

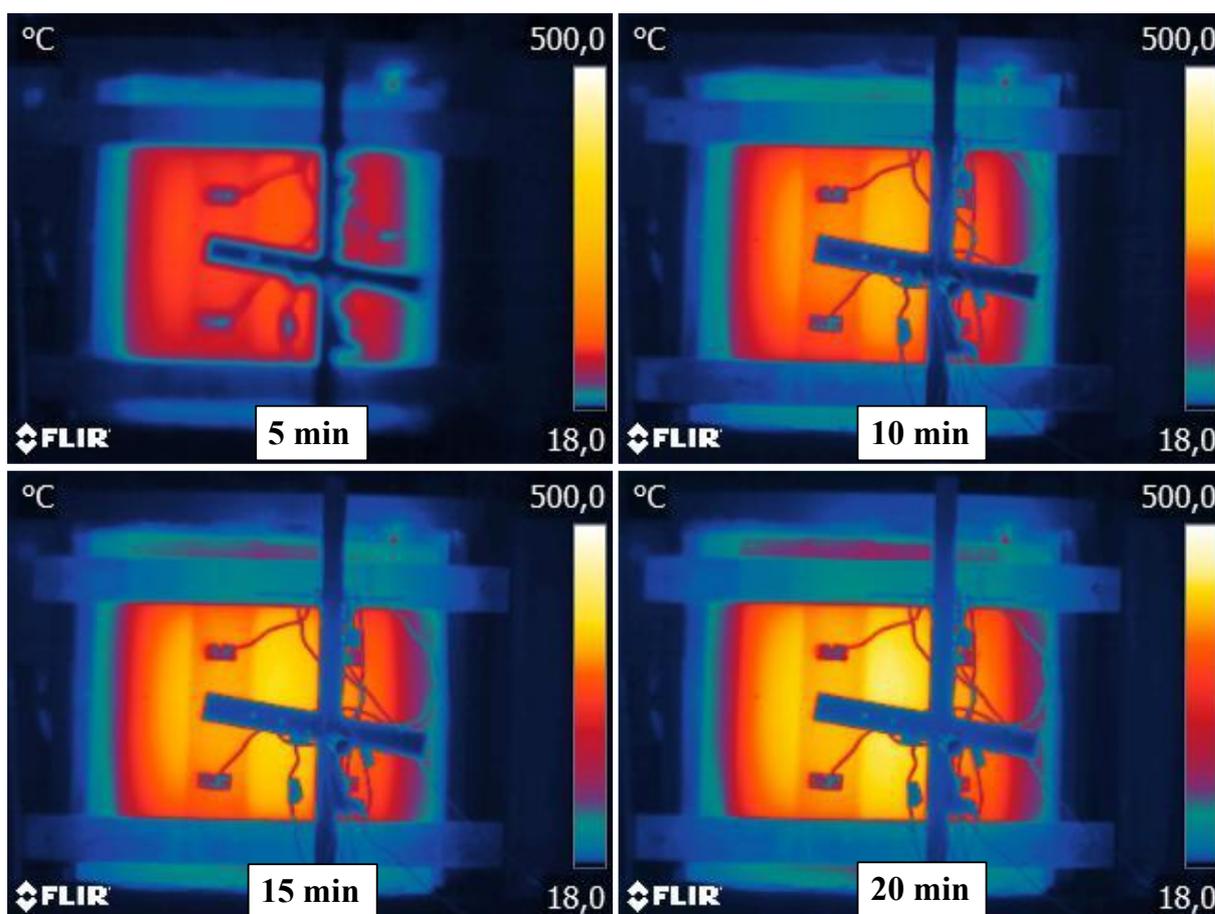
A partir dos dados do ensaio, foram obtidos os valores máximos de temperatura na face externa da mini parede de *container* para comparação com as exigências da norma brasileira (ABNT NBR 10636), sendo:

- Temperatura média máxima medida pelos termopares da face não exposta: 232 °C;
- Maior temperatura medida pelos termopares da face não exposta: 246 °C.

O ensaio teve que ser interrompido devido ao forte odor causado pela fumaça que produzida pelo corpo de prova, e, também, porque o forno não conseguia aumentar a temperatura, não respeitando a curva padrão solicitada pela norma NBR 10636:1989. Isso pode ter se dado por alguma deficiência no sistema de isolamento do corpo de prova com o forno, e também pelo fato de haver troca de calor intensa, através da chapa de *container*, entre o forno e o ambiente. Como a temperatura da face externa já tinha extrapolado o limite do isolamento térmico – com a temperatura máxima medida de 246 °C no termopar 4, além da média dos termopares também ter atingido o limite de norma –, o forno foi desligado e o ensaio dado como terminado. Foi observado que o furo onde foi colocado o termopar que media a temperatura interna do forno estava dilatando, e que, através do mesmo, era possível enxergar a incandescência da chapa devido ao calor a que estava exposta. Todavia, não foi observada nenhuma fissura ou trinca na mini parede de *container*.

A Figura 20 apresenta imagens da câmera termográfica, indicando o aumento de temperatura na superfície da mini parede de *container*. A temperatura medida pela câmera pode variar da temperatura medida pelos termopares que estão em contato com a chapa, por causa de pontos que apresentam maior temperatura e das condições do ambiente onde é realizado o ensaio. Pela análise das imagens termográficas, é possível perceber que a temperatura superficial da chapa aumentou durante todo o decorrer do ensaio. Sendo assim, é possível considerar que a chapa de *container* sem proteção passiva contra o fogo tem grande capacidade de condução de calor, confirmando uma das hipóteses iniciais do trabalho.

Figura 20 – Imagens da câmera termográfica durante ensaio da mini parede sem proteção passiva.



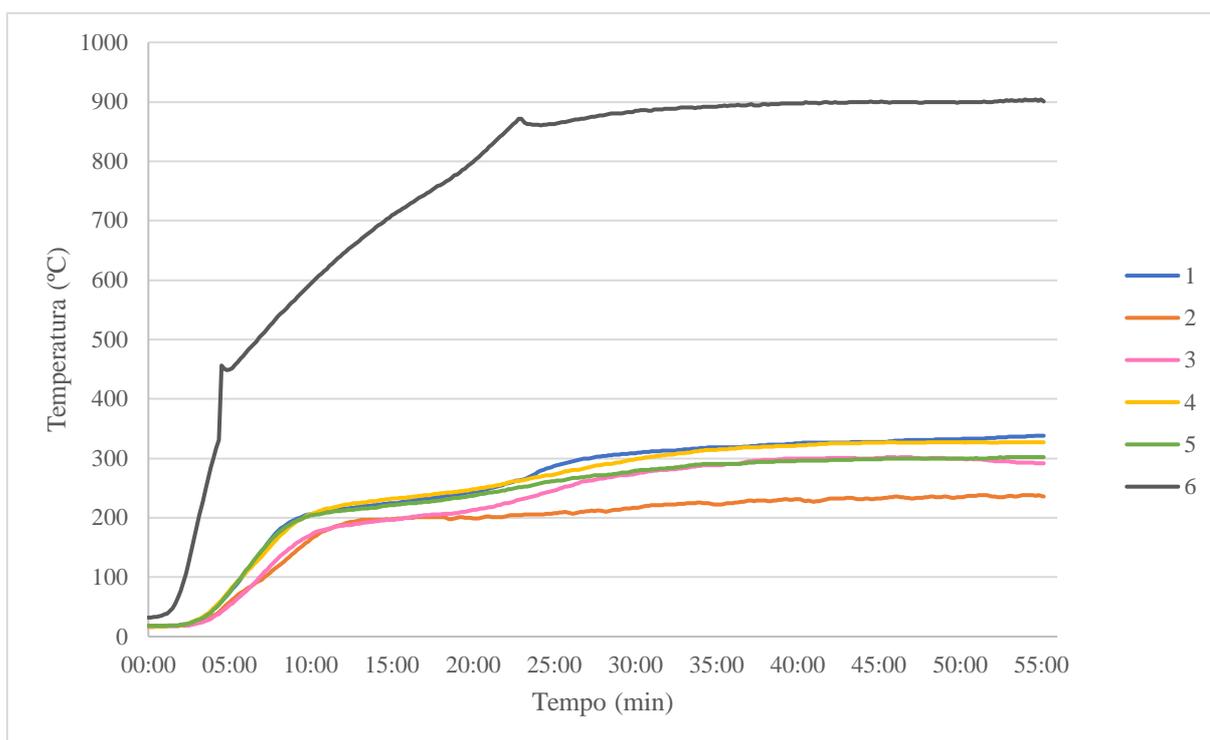
(fonte: arquivo da autora)

6.2 MINI PAREDES DE *CONTAINER* COM PROTEÇÃO PASSIVA

6.2.1 Proteção com três camadas de tinta intumescente

O segundo ensaio realizado foi o da chapa pintada com três camadas de tinta intumescente, ou seja, com espessura média de 2,5 mm. Assim como na mini parede sem tinta, à medida que a temperatura do forno crescia, a temperatura medida na face não exposta do corpo de prova aumentava também. A Figura 21 ilustra o gráfico gerado com os dados obtidos pelos termopares durante o ensaio. Os termopares 1, 2, 3, 4 e 5 representam a temperatura na face externa, e o termopar 6, a interna ao forno.

Figura 21 – Gráfico de “temperatura-tempo” do corpo de prova com três camadas de tinta intumescente.



(fonte: elaborado pela autora)

A partir dos dados colhidos pelos termopares ao longo do ensaio, foram obtidos os valores máximos de temperatura na face externa da mini parede de *container* com proteção passiva de três camadas de tinta intumescente para comparação com as exigências da norma brasileira, sendo:

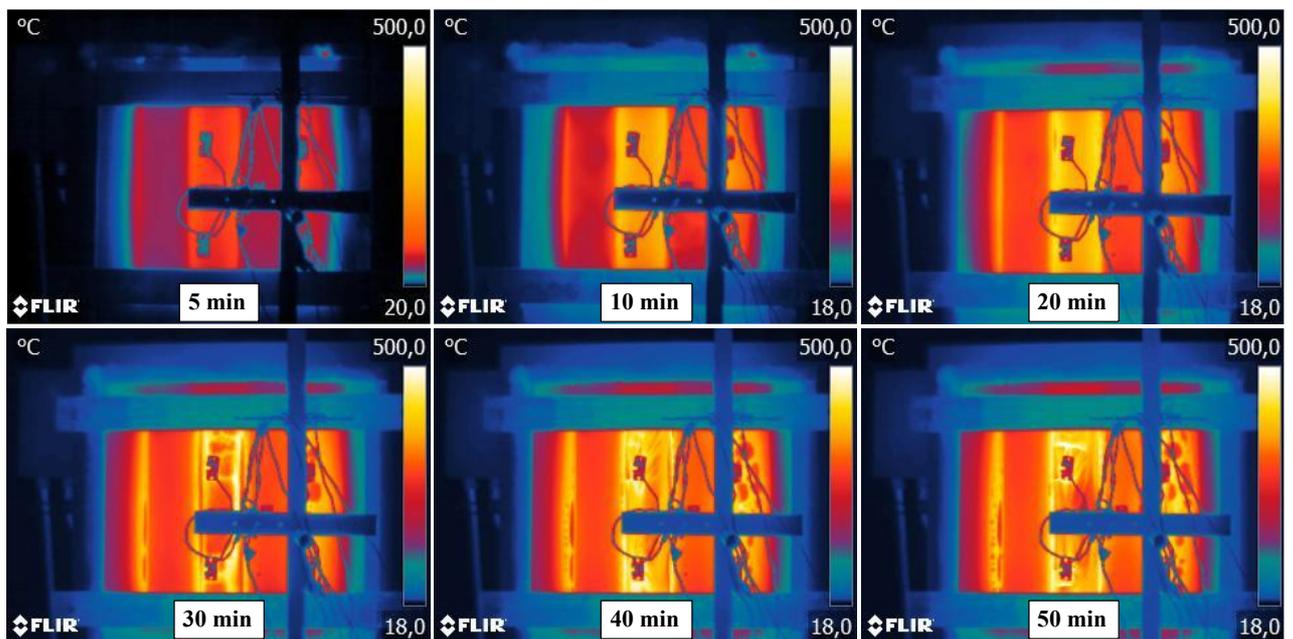
- Temperatura média máxima medida pelos termopares da face não exposta: 301 °C;
- Maior temperatura medida pelos termopares da face não exposta: 338 °C.

É possível observar que a temperatura da face não exposta diretamente ao calor do forno ultrapassou o limite aceito para a condição de isolamento térmico, que é de 140 °C. Porém, deve-se ressaltar que, considerando que o aço é um ótimo condutor de calor, a tinta desempenhou um isolamento térmico grandioso, tendo-se cerca de 900 °C de um lado da chapa de *container* e menos de 340 °C do lado oposto. Não foi observada nenhuma fissura ou trinca no corpo de prova durante todo o ensaio.

O ensaio teve duração de aproximadamente 55 minutos, tendo sido finalizado pelo mesmo motivo do ensaio anterior: cheiro muito forte da fumaça que exalava do corpo de prova, e confirmação do não cumprimento dos requisitos de isolamento térmico do ensaio de resistência ao fogo regido pela norma NBR 10636:1989.

A Figura 22 apresenta as fotos da câmera termográfica durante alguns momentos do ensaio. A partir da análise das figuras termográficas, é perceptível a crescente temperatura superficial da chapa de *container* até os primeiros 30 minutos de ensaio. Após esse tempo, ao contrário da chapa sem proteção passiva, a temperatura da face externa da mini parede não tem grande variação, confirmando a medição constante de temperatura dos termopares indicada pelas curvas da mesma na Figura 21. Esse fato indica o efeito positivo da tinta intumescente em relação ao isolamento térmico de estruturas de aço.

Figura 22 – Fotos da câmera termográfica durante ensaio da mini parede com três camadas de tinta.

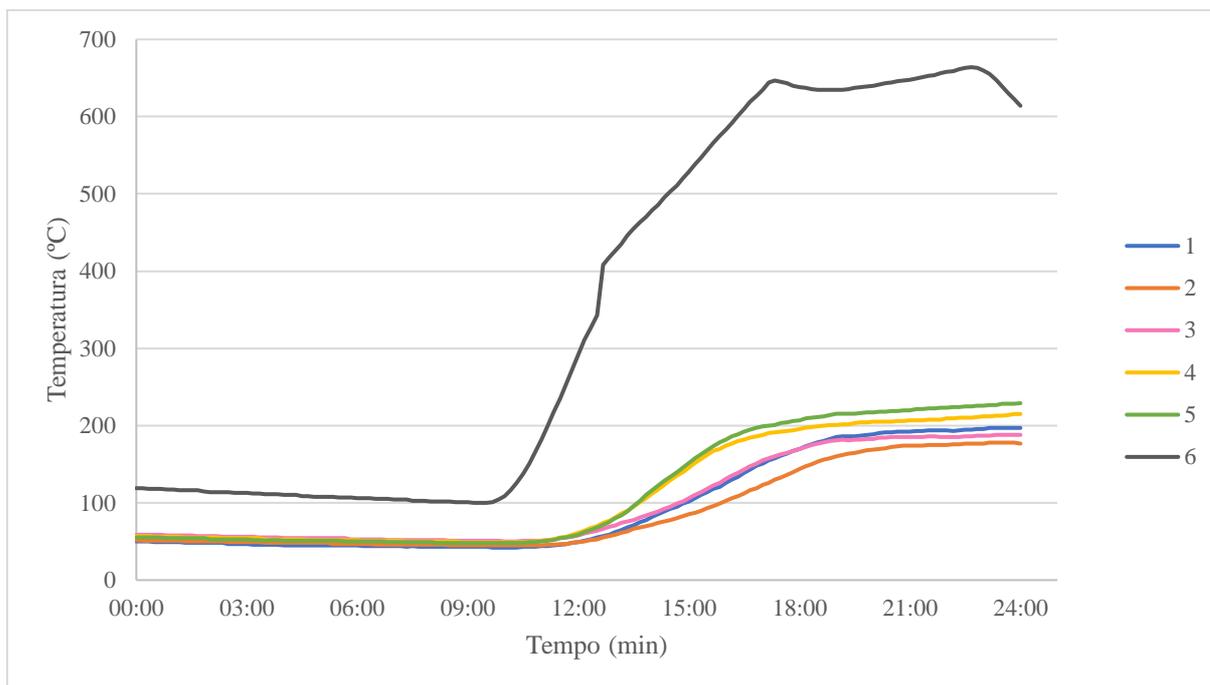


(fonte: foto da autora)

6.2.3 Proteção com duas camadas de tinta intumescente

O terceiro e último ensaio foi realizado na mini parede com duas camadas de pintura intumescente, com espessura média de 1,5 mm. A Figura 23 ilustra o gráfico gerado pelos dados de temperatura obtidos pelos termopares ao longo do tempo. Os termopares 1, 2, 3, 4 e 5 estavam localizados na face não exposta da chapa de *container*, enquanto o termopar 6 media a temperatura interna do forno.

Figura 23 – Gráfico das curvas “temperatura-tempo” do ensaio da mini parede com duas camadas de tinta.



(fonte: elaborado pela autora)

A partir dos dados do ensaio, foram obtidos os valores máximos de temperatura na face externa da mini parede de *container* para comparação com as exigências da norma brasileira (ABNT NBR 10636), sendo:

- Temperatura média máxima medida pelos termopares da face não exposta: 201 °C;
- Maior temperatura medida pelos termopares da face não exposta: 229 °C.

O ensaio foi iniciado e, logo em seguida, pausado por cerca de 3 minutos por problemas técnicos, antes de ser retomado novamente. O forno já tinha aumentado a temperatura interna para aproximadamente 200 °C antes da pausa, portanto a temperatura inicial dos termopares da face externa da chapa é mais elevada do que a dos outros ensaios, começando em cerca de 50 °C. O forno, portanto, também iniciou o ensaio com temperatura de cerca de 120 °C. É possível notar também, pelo gráfico, que a temperatura interna do forno demorou para voltar a aumentar – cerca de 9 minutos. O ensaio teve duração de pouco mais de 24 minutos, e foi finalizado por causa de um problema técnico do forno: a temperatura interna não chegou aos 700 °C e começou a baixar. Conseqüentemente, a temperatura na face não exposta da mini parede também decresceu, mas é importante observar que a temperatura máxima média medida na mesma – pouco mais de 200 °C – ultrapassou o limite aceito pela norma. A câmera termográfica não foi

configurada corretamente para esse ensaio, portanto optou-se pela não utilização das imagens obtidas por ela nessa seção.

6.3 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO

6.3.1 Estabilidade

Como dito anteriormente, a condição de estabilidade no ensaio de resistência ao fogo é dada pela verificação da existência ou não de deformações, colapso ou qualquer forma de instabilidade, bem como do ensaio do corpo de choque – que não foi executado, conforme metodologia descrita no item 6.1 do trabalho.

Nenhum dos três corpos de prova apresentou fissuras ou sinais de instabilidade durante o ensaio. Portanto, é possível afirmar que uma chapa com proteção de tinta intumescente resiste mecanicamente a uma situação de incêndio por aproximadamente 60 minutos. Como o ensaio da chapa sem proteção passiva não alcançou temperaturas maiores que 700 °C, somente é possível afirmar que uma chapa de *container* sem proteção passiva resiste mecanicamente por no mínimo 20 minutos se for exposta apenas a princípios de incêndio – temperaturas menores que 700 °C.

6.3.2 Estanqueidade

O ensaio de estanqueidade a gases, descrito na seção 6.1 do trabalho conforme a norma ANBT NBR 10636:1989, não foi realizado, devido à inexistência de trincas e aberturas. Nos três ensaios, foi observado, na junção entre o forno e a chapa de *container*, onde havia a placa e a manta fibro-cerâmicas de isolamento térmico, a existência de fumaça, que se espalhava para fora do corpo de prova. Essa fumaça incluía a inflamação da tinta da face não exposta da peça, já que esta não fora retirada. Esta tinta é normalmente utilizada como proteção à corrosão para os *containers*.

6.3.3 Isolamento térmico

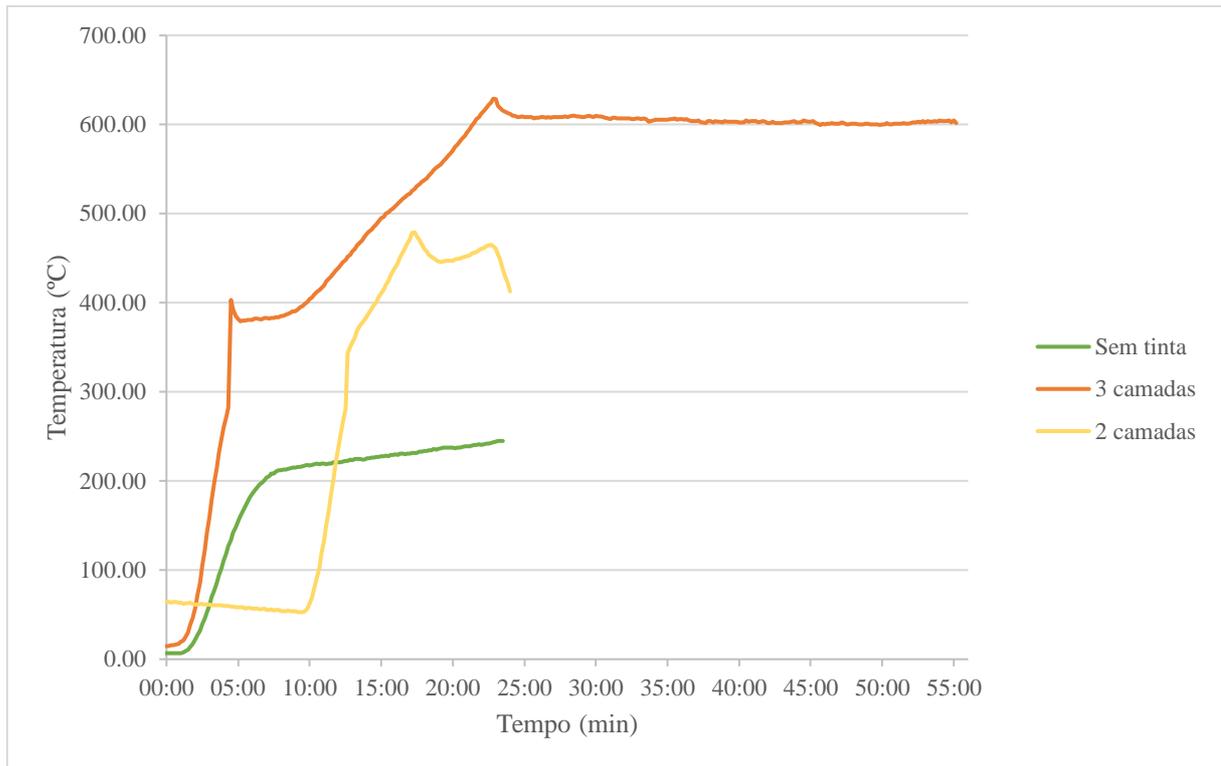
O ensaio de isolamento térmico foi o mais completo dos três realizados, pois era o principal objetivo do trabalho. Este consiste na medição de temperatura da face externa (não exposta) do corpo de prova, através de cinco termopares, e na medição da temperatura interna do forno, através de um termopar. O incremento da temperatura média da face não exposta da chapa de *container* não deve ultrapassar o limite estabelecido pela norma, que é de 140 °C, sendo que nenhum termopar pode ter aumento superior a 180 °C.

Durante os ensaios, os três corpos de prova extrapolaram o limite de temperatura da norma. Sendo assim, pode-se afirmar que, mesmo com proteção passiva de tinta intumescente com espessura de 2,5 cm, uma edificação de *container* não pode ser considerada isolante térmica durante uma situação de incêndio.

É importante salientar que houve uma diferença de temperatura significativa – cerca de 570 °C – entre a face interna ao forno e a face externa da chapa, por parte da tinta intumescente, como citado anteriormente. A tinta intumescente teve papel importante nessa queda de temperatura, mostrando, portanto, seu efeito positivo na capacidade de isolamento térmico em uma superfície de aço.

A Figura 24 ilustra o gráfico comparativo dos três ensaios, mostrando a diferença de temperatura interna e externa dos corpos de prova durante os ensaios. A temperatura de cada chapa é representada pela média das temperaturas dos termopares externos, e a temperatura interna é representada pela medição do termopar interno de cada ensaio. É importante ressaltar que o tempo de ensaio não foi igual para todos, e que as curvas geradas pelos dados de temperatura e tempo não são curvas-padrão de incêndio. Além disso, o ensaio da chapa com 1,5 mm de espessura de tinta intumescente teve início pausado e retomado novamente, tendo sido finalizado precocemente também por problemas técnicos. Apesar de os resultados não alcançarem a temperatura descrita na norma, é possível afirmar que a tinta intumescente utilizada nesse trabalho fez com que a diferença de temperatura interna e externa da chapa de *container* fosse bastante significativa.

Figura 24 – Gráfico comparativo da diferença de temperatura interna e externa dos três ensaios.



(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 4 apresenta um comparativo da média das temperaturas da face externa das chapas de *container* durante os ensaios, nos momentos em que a temperatura do forno estava em 400 °C, 450 °C e 480 °C – temperatura interna máxima em comum aos três ensaios. Os dados indicam que há grande ganho de isolamento térmico com a utilização de tinta intumescente como proteção passiva em paredes de *container*.

Tabela 4 – Comparativo entre a temperatura média externa dos três ensaios.

Parede	Temperatura interna do forno (°C)		
	400	450	480
	Temperatura média externa (°C)		
Sem tinta	176	213	232
3 camadas	51	53	99
2 camadas	65	79	94

(fonte: elaborado pela autora)

7 CONCLUSÕES

A motivação desse trabalho se deu pela crescente utilização de *containers* para edificações na construção civil, tanto residenciais, quanto comerciais ou temporárias. Atrelado a isso, tem-se a iminente preocupação com a prevenção e proteção contra incêndios em edificações, principalmente no Estado do Rio Grande do Sul. Unindo-se os dois motivos supracitados à falta de bibliografia no assunto, foi proposto um trabalho prático experimental para entender de fato o comportamento dessas estruturas frente a altas temperaturas.

As conclusões apresentadas nesse capítulo referem-se à metodologia empregada nesse trabalho, bem como restringem-se aos materiais utilizados nos ensaios. Qualquer alteração nas condições de ensaio e utilização dos materiais pode provocar variações nos resultados.

O comportamento da chapa de *container* pura, sem proteção passiva contra incêndio, é muito preocupante, pois houve intensa troca de calor entre as faces interna e externa da mini parede. Frente a isso, pode-se concluir que, além de uma parede de *container* não ser resistente ao fogo, ela pode conduzir muito calor do próprio incêndio, tornando o ambiente quase impossível para fuga de pessoas.

Sobre as mini paredes de *container* com proteção de pintura intumescente, tanto com duas, quanto com três camadas de tinta, foi observado que a temperatura na face externa da chapa era muito menor do que na face exposta à temperatura do forno. Sendo assim, é possível afirmar que a tinta intumescente tem grande potencial de proteção contra o fogo. Contudo, essa proteção não é suficiente para conferir a uma parede de *container* as características necessárias de resistência ao fogo, conforme as normas e legislação brasileira, já que a temperatura medida na face externa foi superior ao limite permitido.

Não foi possível distinguir com clareza a diferença de proteção entre as duas espessuras de tinta, já que o ensaio da chapa com duas camadas de tinta não foi plenamente concluído. Porém, é possível perceber com os gráficos gerados com os dados dos termopares que, a medida que a temperatura interna do forno crescia, a temperatura da face externa crescia mais lentamente. Comparando a diferença de temperaturas interna e externa nos dois ensaios, a tinta teve desempenho semelhante até os 660 °C do forno, estando cerca de 200 °C nas duas chapas.

O fato de os ensaios indicarem que a proteção de chapas de *container* com a tinta intumescente utilizada nesse trabalho não garante a propriedade de isolamento térmico de estruturas desse material não significa que esse tipo de proteção não possa ser utilizado. Como a tinta diminui consideravelmente a temperatura do outro lado da parede, ela pode ser utilizada em conjunto com outra proteção passiva – como gesso, por exemplo – de forma a melhorar o comportamento frente ao isolamento térmico e, assim, atender aos requisitos mínimos permitidos pela norma brasileira. Além da proteção contra incêndio em si, esse tipo de material complementar pode contribuir também para um melhor conforto térmico, garantindo uma experiência mais agradável aos usuários das edificações.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de ensaios complementares com outro tipo de proteção passiva adicional à tinta intumescente, para conferir à estrutura a condição de resistência ao fogo. Propõe-se, também, que sejam feitos ensaios em paredes de dimensões reais, quando for possível a utilização de um forno de tamanho maior que o utilizado nesse trabalho. Por fim, recomenda-se também a realização de ensaios com outros fornecedores de tinta intumescente, como por exemplo tintas existentes nos mercados nacional e internacional.

Além disso, é recomendado que a legislação sempre se adapte às tendências do mercado da construção civil, acompanhando o surgimento de novas tecnologias de construção, bem como o emprego de novos materiais. A utilização de alternativas construtivas é válida, desde que garanta segurança e conforto aos usuários. Portanto, no caso de *containers*, é aconselhado que sua utilização seja acompanhada de proteções passivas contra incêndio, pois, como visto nesse trabalho, edificações com esse material não garantem segurança aos usuários frente a condições de altas temperaturas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13860**: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 13.425**, de 30 de março de 2017. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público; altera as Leis nºs 8.078, de 11 de setembro de 1990, e 10.406, de 10 de janeiro de 2002 – Código Civil; e dá outras providências. Brasília, DF, 2017.

Construct. **9 projetos incríveis de construção com container reciclado**. 2017. Disponível em: <<https://constructapp.io/pt/9-projetos-incriveis-de-construcao-com-container-reciclado/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

DEL CARLO, 2008. **Segurança contra Incêndio no Brasil**. 2008

Delta *Containers*. <<http://deltacontainers.com.br/perguntas-frequentes/>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

FAZENDA, J. **Tintas: Ciência e Tecnologia**. 4ª edição, Editora Blucher, 2009.

G1. **Tragédia em boate no RS: o que já se sabe e as perguntas a responder**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/01/tragedia-em-santa-maria-o-que-ja-se-sabe-e-perguntas-responder.html>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

GUANDALINI, G. **A caixa que encolheu a Terra**. 2007. Veja, São Paulo. Disponível em: <http://www.intelog.net/site/default.asp?TroncoID=907492&SecaoID=508074&SubsecaoID=715052&Template=../artigosnoticias/user_exibir.asp&ID=900744&Titulo=A%20caixa%20que%20encolheu%20a%20Terra>.

GUIA MARÍTIMO. **Tipos de Containers**. Disponível em: <<http://www.guiamaritimo.com.br/utilidades/tipos-containers>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

INFOMET. **Aços Patináveis (Corten)**. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=201>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

JIMENEZ, M.; DUQUESNE, S; BOURBIGOT, S. **High-throughput fire testing for intumescent coatings**. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2006.

METALICA. **O que é o Aço Corten?**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/o-que-e-aco-corten>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

MILANEZE, G. L. S.; BIELSHOWSKY, B. B.; BITTENCOURT, L. F.; SILVA, R.; MACHADO, L. T. **A utilização de *containers* como alternativa de habitação social no município de Criciúma/SC**. In: 1o SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSE, 2012, Criciúma. Florianópolis: Revista Técnico Científica do IFSC, 2012.

MIRANDA *CONTAINER*. **Container Dry**. 2015. Disponível em: <<http://mirandacontainer.com.br/container-dry/>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

METRO. **Maior tragédia de Porto Alegre, incêndio completa 40 anos**. 2016. Disponível em: <<https://www.metrojornal.com.br/foco/2016/04/25/maior-tragedia-de-porto-alegre-completa-40-anos.html>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

PANNONI, F.D. **Proteção de estruturas metálicas frente ao fogo**. São Paulo: Gerdau Açominas S.A, 2002.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 08/2018**. Segurança estrutural contra incêndio. Corpo de Bombeiros. São Paulo, 2018.

RIO GRANDE DO SUL. Gabinete de Consultoria Legislativa. **Lei Complementar nº 14.736**, de 26 de dezembro de 2013 (atualizada até a Lei Complementar nº 14.924, de 22 de setembro de 2016). Estabelece normas sobre Segurança, Prevenção e Proteção contra Incêndios nas edificações e aéreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Porto Alegre, RS, 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Gabinete de Consultoria Legislativa. **Lei Complementar nº 14.924**, de 22 de setembro de 2016. Altera a Lei Complementar nº 14.376, de 26 de dezembro de 2013, que estabelece normas sobre Segurança, Prevenção e Proteção contra Incêndios nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Porto Alegre, RS, 2016.

RIO GRANDE DO SUL. Gabinete de Consultoria Legislativa. **Decreto nº 53.280**, de 1º de novembro de 2016. Altera o Decreto no 51.803, de 10 de setembro de 2014, que regulamenta a Lei Complementar no 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e alterações, que estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2016.

ROMANO, L.; DE PARIS, S.R.; NEUENFELDT JÚNIOR, A.L. **Retrofit de contêineres na construção civil**. Labor & Engenho, Campinas [Brasil], v.8, n.1, p.83-92, 2014.

SÁ, S. **Tintas intumescentes com propriedades anticorrosivas formuladas com compostos vegetais para proteção do aço**. 2017.

SÃO PAULO. Secretaria Geral Parlamentar. **Decreto nº 56.819**, de 10 de março de 2011. Institui o Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e aéreas de risco no Estado de São Paulo e estabelece outras providências. São Paulo, SP, 2011.

SILVA, V.; PANNONI, F.; PINTO, E.; SILVA, A. **A segurança contra incêndio no Brasil.** 2008.

SOUZA, M.; SÁ, S.; ZMOZINSKI, A.; PERES, R.; SILVEIRA, M.; FERREIRA, C. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TINTAS INTUMESCENTES EMPREGANDO DIFERENTES RESÍDUOS DE BIOMASSAS NA FORMULAÇÃO.** In: 22º CBCiMat – Congresso Brasileiro e Engenharia e Ciência dos Materiais, 2016, Natal. Anais eletrônicos. Disponível em: < <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/406-041.pdf>>.

VENTURA, M. **O Espetáculo mais Triste da Terra: o incêndio do Gran Circo Norte-Americano.** 2011.

WLADYKA-PRZYBYLAK, M.; and KOZLOWSKI, R. **The Thermal Characteristics of Different Intumescent Coatings.** Fire and Materials, v. 23, p. 33-43, 1999.

XAVIER, M. **Afinal, quais as características de um *container* e por que fazer casas deles?** 2015. Disponível em: <<http://minhacasacontainer.com/2015/02/10/afinal-quais-as-caracteristicas-de-um-container-e-por-que-fazer-casas-deles/>>. Acesso em: 13 jan. 2018.