

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CARINA PANNO

**MEDIDAS COMPENSATÓRIAS NO PLANO DE PREVENÇÃO CONTRA
INCÊNDIO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EXISTENTES DE BAIXO PADRÃO:
PROPOSTAS DE MENOR CUSTO PARA PORTAS CORTA-FOGO**

**São Leopoldo
2018**

CARINA PANNO

**MEDIDAS COMPENSATÓRIAS NO PLANO DE PREVENÇÃO CONTRA
INCÊNDIO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EXISTENTES DE BAIXO PADRÃO:
PROPOSTAS DE MENOR CUSTO PARA PORTAS CORTA-FOGO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Ms. Fabrício Longhi Bolina

São Leopoldo
2018

Aos meus pais,
Claudio e Maria Alice.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser presença constante em minha vida e conceder-me calma e sabedoria.

Aos meus pais, Claudio e Maria Alice, meu eterno agradecimento pelo apoio e incentivo incondicionais. A presença e o amor de vocês me deram segurança e a certeza de não estar sozinha nesta trajetória.

Ao meu irmão Moysés, pelo carinho e disponibilidade.

Ao meu orientador, Prof. Ms. Fabrício Longhi Bolina, que frente a tantos compromissos, sempre esteve presente para esclarecer dúvidas e solucionar imprevistos. Agradeço a paciência, as correções e principalmente os ensinamentos.

Aos familiares, colegas e amigos pelas palavras de incentivo e compreensão nos momentos de minha ausência, vocês fazem parte desta conquista.

A toda equipe do itt Performance/UNISINOS pelo financiamento dos ensaios e apoio essencial a pesquisa, em especial, ao Gabriel Bottin, Gustavo Manica e Gustavo Prager, pelo profissionalismo e auxílio no processo experimental.

Ao Gelson e ao Juliano pela dedicação e auxílio prestado na etapa de construção das amostras.

Ao Fabiano Giongo, da Planalto Têxtil, pelo financiamento dos materiais e confiança.

À amiga Bruna Ferrari pelo auxílio prestado nas traduções.

“A persistência é o caminho do êxito”.

(Charles Chaplin)

RESUMO

No Brasil, os recorrentes desastres causados por incêndio em edificações motivaram a elaboração de leis, decretos e resoluções. Atender quesitos de proteção passiva e ativa em edificações desencadeou a demanda por novos sistemas, materiais e equipamentos, além de requisitos projetuais. Contudo, no caso das edificações existentes, às vezes não é possível adaptá-las as exigências das regulamentações atuais. Em alguns edifícios residenciais existentes, por exemplo, as escadas são do tipo não enclausurada, não oferecendo segurança aos usuários. Nestas situações, portas corta-fogo com resistência ao fogo adequada, aplicada às unidades autônomas, podem servir de medida compensatória. Em edificações de baixo padrão, o custo de adequação pode se tornar um empecilho. Este trabalho tem como objetivo, propor medidas de proteção que determinem no mínimo 30 minutos de resistência ao fogo a portas de madeira convencionais, de baixo custo, normalmente existentes nestas edificações. Para tanto, ensaios laboratoriais foram feitos em protótipos de portas, em escala real. Foram testadas 3 soluções de proteção às portas: (a) placas de gesso resistentes ao fogo, (b) placas cimentícias, (c) lã de politereftalato de etileno com chapa metálica. Uma porta isenta de proteção foi testada, servindo de referência. O ensaio de resistência ao fogo para portas foi realizado segundo um procedimento adaptado da NBR 6479 (ABNT, 1992). Por fim, verificou-se que entre os protótipos construídos o único que resistiu aos 30 minutos foi o com aplicação de placas cimentícias. Este resultado demonstra que há indícios de solução alternativa, de baixo custo, a ser utilizada em edificações de baixo padrão e pela população de baixo poder aquisitivo, para adaptação de portas de madeira convencionais.

Palavras-chave: Segurança contra incêndio. Porta corta-fogo. Edificações existentes. Resistência ao fogo.

ABSTRACT

In Brazil, the used damage caused by fire in buildings motivated the elaborations of laws, rulings and resolutions. Attending the conditions of passive and active fire protection of building stimulated the demand for new systems, materials and equipments, besides projectual requisites. However, in the case of existing buildings, it is not Always possible to adapt them to the current rules. In some existente residential buildings, for example, the stairs are not enclosed, and so, don't provide security to the users. In this situations, fire doors with adequate fire resistance, aplyied to each unit, can be a compensatory measure. In low standard edifications, the cost for this adaptation can become a problem. This work has as objective propose protective measures that determine at least 30 minutes of fire resistance to conventional low cost wooden doors normally found in in these buildings. For that, lab trials were done in door prototypes using real scale. There were submitted to testing three diferent protection solutions for doors: (a) gypsum board resistente to fire, (b) cement board, (c) polyethylene terephthalate wool insulation with metal board. A usual door without protection was tested, which results were udes as reference. The fire resistance test was realized accorting to na adaption of the procedure described in the NBR 6479 (ABNT, 1992). Lastly, it was verified that among the tested protypes, the only one trhat resisted for 30 minutes was the one which has the application of cement board. This result demonstrates that there are indications of an alternative solutions, of low cost, that can be used in low standard edifications and for the population that has low purchasing power, for adapting conventional wooden doors.

Keywords: Fire security. Fire door. Existent building. Fire resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tetraedro do fogo.....	18
Figura 2 - Flashover	19
Figura 3 - Modelo de compartimentação horizontal	29
Figura 4 - Escada enclausurada protegida, caso especial.	38
Figura 5 - Componentes de uma porta.....	44
Figura 6 - Programa experimental.....	45
Figura 7 - Porta de madeira.....	46
Figura 8 - Placas de gesso resistente ao fogo	47
Figura 9 - Placa de lã de politereftalato de etileno	48
Figura 10 - Chapa metálica	49
Figura 11 - Placa cimentícia	50
Figura 12 - Tinta intumescente e diluente	51
Figura 13 - Tira intumescente.....	52
Figura 14 - Instalação das portas nas paredes de alvenaria	53
Figura 15 - Identificação amostras	55
Figura 16 - Detalhe montagem amostras	55
Figura 17 - Montagem da porta P1.....	56
Figura 18 - Montagem da porta P2.....	56
Figura 19 - Pintura dos materiais que compõem as portas P3 e P4	57
Figura 20 - Montagem da porta P3.....	59
Figura 21 - Montagem porta P4.....	61
Figura 22 - Forno vertical e painel de comando	62
Figura 23 - Equipamentos para ensaio de resistência ao fogo.....	63
Figura 24 - Instalação dos termopares externos e internos	64
Figura 25 - Sequência de ensaio da porta P1	67
Figura 26 - Temperatura média no interior do forno da porta P1	68
Figura 27 - Temperatura dos termopares internos da porta P1.....	69
Figura 28 - Temperatura dos termopares externos da porta P1.....	69
Figura 29 - Registro câmera termográfica da porta P1	70
Figura 30 - Sequência de ensaio da porta P2	72
Figura 31 - Temperatura média no interior do forno da porta P2	73
Figura 32 - Temperatura dos termopares internos da porta P2.....	73

Figura 33 - Temperatura dos termopares externos da porta P2.....	74
Figura 34 - Registro câmara termográfica porta P2	75
Figura 35 - Sequência de ensaio porta P3	77
Figura 36 - Temperatura média no interior do forno da porta P3	78
Figura 37 - Temperatura dos termopares internos da porta P3.....	79
Figura 38 - Temperatura dos termopares externos da porta P3.....	79
Figura 39 - Registro câmara termográfica da porta P3	80
Figura 40 - Sequência de ensaio da porta P4	82
Figura 41- Temperatura média no interior do forno da porta P4	83
Figura 42 - Temperatura dos termopares internos da porta P4.....	84
Figura 43 - Temperatura dos termopares externos porta P4	84
Figura 44 - Registro câmara termográfica porta P4	85
Figura 45 - Comparativo entre as temperaturas médias dos termopares externos...87	
Figura 46 - Acréscimo no tempo de resistência por aplicação de materiais.....	89
Figura 47 - Comparação de custos	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissividade superficial para materiais de construção	21
Tabela 2 - Classificação dos materiais com base no método da EN 13823.....	23
Tabela 3 - Composição de placas cimentícias	25
Tabela 4 - Propriedades térmicas de alguns materiais de proteção ao fogo.....	26
Tabela 5 - Classificação das edificações residenciais e áreas de risco de incêndio quanto à ocupação.....	30
Tabela 6 - Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF): Grupo A	31
Tabela 7 - Dimensões de vão luz portas corta-fogo	32
Tabela 8 - Recomendações de utilização de portas corta-fogo.....	32
Tabela 9 - Tipos de escadas de emergência por ocupação	36
Tabela 10 - Adaptação de escadas em edificações existentes	37
Tabela 11 - Adaptação de escadas em edificações existentes.....	37
Tabela 12 - Medidas padronizadas para folhas de portas internas (segundo sua massa)	43
Tabela 13 - Propriedades térmicas de alguns tipos de madeiras.....	47
Tabela 14 - Características físicas da placa de gesso resistente ao fogo.....	47
Tabela 15 - Características físicas das placas cimentícias	50
Tabela 16 - Características da tinta.....	51
Tabela 17 - Características tira intumescente	52
Tabela 18 - Identificação corpos de prova	54
Tabela 19 - Sequência de demãos de tinta intumescente.....	58
Tabela 20 - Deslocamentos da porta P1	71
Tabela 21 - Deslocamentos porta P2	76
Tabela 22 - Deslocamentos da porta P3	81
Tabela 23 - Deslocamentos porta P4.....	86
Tabela 24 - Resultados para análise do critério de isolamento térmico	87
Tabela 25 - Resumo de propriedades térmicas dos materiais	90
Tabela 26 - Custos de adaptação da porta P4.....	91

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBMGO	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás
CBMMG	Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais
CBMRS	Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Sul
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
CBPMESP	Corpo de Bombeiros Polícia Militar do Estado de São Paulo
CF	Corta-fogo
EP	Enclausurada protegida
IN	Instrução Técnica
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	International Organization for Standardization
IT	Instrução Técnica
Itt Performance	Instituto Tecnológico Desempenho e Construção Civil
	UNISINOS
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NE	Não enclausurada
NT	Norma Técnica
PCF	Porta corta-fogo
PET	Politereftalato de etileno
PF	Enclausurada à prova de fumaça
PPCI	Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio
PRF	Porta Resistente ao Fogo
PrPCI	Projeto de Prevenção e Proteção Contra Incêndio
RF	Resistência ao fogo
RT	Resolução Técnica
SBI	Single Burning Item
SSPGO	Secretaria de Segurança Pública do Estado de Goiás
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	17
2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES	18
2.1 DINÂMICA DE INCÊNDIO	18
2.1.1 Evolução de um Incêndio	18
2.1.2 Transferência de Calor	19
2.1.3 Reação e Resistência ao Fogo	21
2.2 MATERIAIS DE PROTEÇÃO AO FOGO	23
2.2.1 Tintas Intumescentes	24
2.2.2 Gesso Resistente ao Fogo	25
2.2.3 Placas Cimentícias	25
2.2.4 Placas de Fibras Compactadas	25
2.2.5 Propriedades Térmicas dos Materiais de Proteção ao Fogo	26
2.3 PROJETO DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO	27
2.3.1 Proteção Passiva	28
2.3.2 Compartimentação	28
2.3.2.1 Compartimentação Horizontal	29
2.3.3 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)	30
2.3.4 Porta Corta-fogo para Entrada de Unidade Autônoma	31
2.4 EDIFICAÇÕES EXISTENTES	34
2.4.1 Inviabilidade Técnica na Adaptação de Edificações Existentes	35
2.5 MADEIRA COMO MATERIAL CONSTRUTIVO	39
2.5.1 Resistência Mecânica	40
2.5.2 Durabilidade e Categorias de Uso	41
2.5.3 Resistência da Madeira ao Fogo	42
2.6 PORTAS DE MADEIRA	43
2.6.1 Componentes de uma Porta	43
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	45

3.1 ETAPAS DO EXPERIMENTO.....	45
3.2 MATERIAIS	46
3.2.1 Portas de Madeira	46
3.2.2 Placa de Gesso Resistente ao Fogo	47
3.2.3 Lã de Politereftalato de Etileno (PET).....	48
3.2.4 Chapa Metálica	49
3.2.5 Parede de Alvenaria	49
3.2.6 Placas Cimentícias Brasilit.....	49
3.2.7 Tinta Intumescente Industintas.....	50
3.2.8 Tiras Intumescentes.....	52
3.3 MÉTODO.....	52
3.3.1 Construção das Paredes de Alvenaria	52
3.3.2 Instalação das Portas de Madeira na Alvenaria.....	53
3.3.2.1 Etapas de Instalação.....	53
3.3.3 Montagem das Amostras junto às Portas de Madeira	54
3.3.3.1 Montagem da Porta P1.....	55
3.3.3.2 Montagem da Porta P2.....	56
3.3.3.3 Montagem da Porta P3.....	57
3.3.3.4 Montagem da Porta P4.....	60
3.3.4 Ensaio de Resistência ao Fogo em Portas e Vedadores	61
3.3.4.1 Equipamentos	62
3.3.4.2 Procedimento de Ensaio	63
3.3.5 Avaliação de Custos	64
3.3.6 Análise da Proposição de Medida Compensatória	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1 RESISTÊNCIA AO FOGO EM PORTAS E VEDADORES.....	66
4.1.1 Porta P1.....	66
4.1.1.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P1	70
4.1.2 Porta P2.....	71
4.1.2.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P2	74
4.1.3 Porta P3.....	76
4.1.3.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P3	80
4.1.4 Porta P4.....	81
4.1.4.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P4	85

4.2 ANÁLISE E CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS.....	86
4.2.1 Custo de Adaptação da Porta P4	91
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
5.1 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS ESTUDOS.....	94
REFERÊNCIAS.....	95
APÊNDICE A - TEMPERATURA MÉDIA NO INTEIOR DO FORNO	104
APÊNDICE B - TEMPERATURA DOS TERMOPARES INTERNOS	108
APÊNDICE C - TEMPERATURA DOS TERMOPARES EXTERNOS	112
ANEXO A - ORÇAMENTO 1	116
ANEXO B - ORÇAMENTO 2	117
ANEXO C - ORÇAMENTO 3	118

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de sinistros em edifícios altos, nas décadas de 70 e 90, foram primícias acerca da preocupação com relação ao nível de segurança das edificações, que até o momento não possuíam soluções passivas em relação à proteção ao fogo. (ONO, 2007). Os incêndios ocorridos nestas décadas deflagraram uma corrida contra o tempo na elaboração de normas, leis e demais exigências, a fim de tornar as edificações mais seguras. (BRENTANO, 2015).

No último século, o projeto de edificações obteve avanços significativos em decorrência de novas soluções arquitetônicas, motivadas pela utilização de novos materiais e tecnologias construtivas. (BRENTANO, 2015). Segundo o Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS, 2014), o projeto técnico que integra o Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio, deve conter medidas para prevenir e evitar o incêndio, viabilizar o abandono dos ocupantes da edificação e áreas de risco em segurança, dificultar a disseminação do incêndio, propiciar seu controle e extinção, além de permitir o acesso do corpo de bombeiros.

Além dos projetos de edificações novas, atualmente são necessárias medidas de segurança contra incêndio em edifícios existentes, principalmente aos localizados em grandes centros urbanos com alto potencial de adequação para reuso, contudo, estas edificações devem passar por processo de adaptação e alterações relacionadas ao uso/ocupação, pois o risco de incêndio pode aumentar ou diminuir. (ONO, 2007).

Segundo Ono (2002) para recuperar edificações existentes muitas vezes são necessárias soluções técnico-construtivas decorrentes das necessidades atuais de uso, porém, garantir o nível de segurança contra incêndio adequado não é tarefa simples, sobretudo, quando a maior parte dos imóveis foi construída antes de exigências construtivas mais eficazes por volta da segunda metade da década de 1970. Os edifícios Andraus e Joelma são exemplos de edificações que não possuíam escadas de segurança. (SSPGO, 2016). Outro exemplo é o incêndio ocorrido no edifício Andorinha em 1986, por se tratar de construção antiga não havia áreas de escape e portas corta-fogo. (CARNEIRO, 2017). As circunstâncias de incêndios decorridos ao longo da história transparecem, que o dimensionamento apropriado das vias de circulação e a compartimentação são aspectos imprescindíveis na proteção da vida humana. (CUNHA, 2016).

No contexto de adaptação das edificações existentes de múltiplos pavimentos, em especial as que não apresentam viabilidade técnica para atender a legislação vigente quando a compartimentação e enclausuramento de escadas, o presente trabalho propõe avaliar, experimentalmente, a incorporação de resistência ao fogo à portas de madeira convencionais semiocas, comuns em edificações de baixo padrão. A adaptação foi realizada com aplicação de materiais distintos como, placa de gesso resistente ao fogo, placa cimentícia, lã de politereftalato de etileno (PET), acústica, com adição de chapa metálica, tinta e tira intumescentes.

Para aferir a viabilidade deste tipo de adaptação, foram analisadas 4 portas similares com 90 x 210 cm e espessura de 3,5 cm, sem pintura. O ensaio de determinação de resistência ao fogo para portas e vedadores, seguiu os critérios prescritos pela NBR 6479 (ABNT, 1992), quanto ao isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica. Foram monitoradas as deformações, temperaturas internas e externas, emissão de fumaça e chamas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Regulamentar edificações existentes é uma tarefa difícil, pois não é possível exigir uma padronização quanto às medidas de segurança, uma vez que as adaptações mínimas necessárias, às vezes não podem ser executadas em virtude de características construtivas. (BRENTANO, 2015). Segundo Ono (2002), as edificações antigas geralmente apresentam como configuração original escada do tipo aberta na ligação entre os pavimentos. Esta característica em relação às escadas pode ocasionar a falta de segurança no uso, principalmente quando são totalmente abertas, ou seja, não existem portas ou paredes que as separem dos demais ambientes dos pavimentos. (ONO, 2002).

O principal objetivo da adaptação de edificações existentes segundo a Instrução Técnica nº 43 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2018f) é,

Estabelecer medidas para as edificações existentes a serem adaptadas visando atender às condições necessárias de segurança contra incêndio, bem como, permitir condições de acesso para as operações do Corpo de Bombeiros.

De acordo com Ono (2002), enclausurar escadas em edifícios antigos com intento de impedir os efeitos nocivos de um incêndio em seu interior, nem sempre é exequível, especialmente nos casos em que o patamar da escada está integrado à área de circulação, dificultando o fechamento por paredes e portas corta-fogo. Desta forma, a alternativa sugerida é a troca das portas comuns de entrada das unidades por portas corta-fogo com abertura no sentido da saída. (ONO, 2002).

A compartimentação cumpre papel indispensável em relação às medidas de segurança contra incêndios em edifícios, pois constitui obstáculo à passagem do fogo, limitando sua disseminação entre compartimentos da edificação e as edificações adjacentes. (JESUS, 2008). Assim como a compartimentação, as portas são requeridas em termos de projeto e execução a fim de assegurar que em situação de incêndio, o fogo seja contido em seu compartimento de origem por um período de tempo específico sem a propagação de chamas e fumaça, a fim de permitir a evacuação de pessoas e a restrição da radiação de calor, para auxílio nas atividades de resgate. (IZYDORCZYK; SEDLAK; SULIK, 2014 tradução nossa).

De acordo com Silva (2010), atualmente existe diversificação nos materiais que compõem as portas corta-fogo, podendo ser constituídas em madeira ou aço simultaneamente, com adição de outros materiais como, gesso, lã de rocha, entre outros, contudo, para manter a exigência quanto ao comportamento e segurança ao fogo, é necessário haver equilíbrio no uso de múltiplos materiais. O mercado já apresenta soluções para o fabrico de portas com boa resistência ao fogo, utilizando dois ou mais materiais com propriedades térmicas distintas. (SILVA, 2010).

1.3 OBJETIVOS

O trabalho proposto divide-se em: objetivo geral e específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Propor medidas de proteção passiva de baixo custo, que incorporem no mínimo 30 minutos de resistência ao fogo em portas de madeira semioca, típicas de edificações de baixo padrão.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos essenciais à concepção do estudo são:

- a) Analisar o comportamento de alternativas à base de gesso resistente ao fogo, das placas cimentícias e da lã de politereftalato de etileno em contato com o substrato da porta quando expostos às chamas;
- b) Analisar o tempo de resistência ao fogo de portas de madeira semioca, com soluções de proteção passivas destacadas em (a);
- c) Avaliação dos custos das soluções testadas em comparação a portas corta-fogo existentes no mercado;
- d) Analisar a viabilidade de propor medidas compensatórias de baixo custo a portas de madeira semioca, convencionais, alternativos às portas de compartimentação tracionais do mercado;

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho se deteve a analisar apenas os requisitos de resistência ao fogo como premissa inicial para viabilidade na adaptação das portas, logo, os ensaios mecânicos, de reação ao fogo e instalação de fechadura especial para situação de incêndio, são variáveis adicionais não abordadas neste estudo.

2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES

Para o entendimento do processo que compreende a segurança contra incêndio em uma edificação, faz-se necessária à concepção de alguns conceitos iniciais.

2.1 DINÂMICA DE INCÊNDIO

Os quatro componentes imprescindíveis para que o fenômeno físico-químico fogo ocorra são: combustível, calor, comburente (oxigênio) e reação em cadeia, conforme Figura 1. (POLLUM, 2016; CBPMESP, 2018a). Este princípio é base dos meios de extinção de incêndio, uma vez que o combate é realizado pela inibição de um de seus componentes. (CBPMESP, 2018a).

Figura 1 - Tetraedro do fogo



Fonte: CBPMESP (2018a).

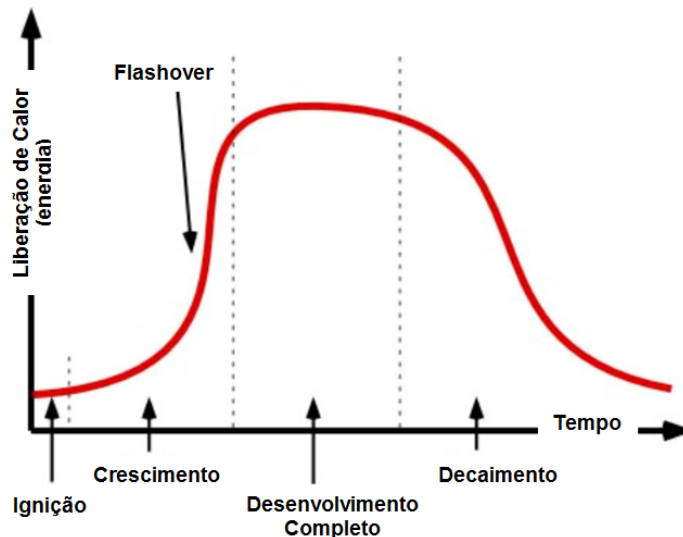
2.1.1 Evolução de um Incêndio

De acordo com a Instrução Técnica nº 02 (CBPMESP, 2018a) a evolução de um incêndio ocorre em três fases de um ciclo: (a) ignição, aonde há elevação sucessiva de temperatura a partir de um ponto de inflamação inicial, (b) aquecimento, com a propagação do incêndio por meio de convecção ou radiação, evoluindo até a inflamação generalizada ou “flashover”, (c) resfriamento e extinção. Para Hartin (2008, tradução nossa), a progressão de um incêndio em compartimentos é descrita por quatro estágios: ignição, crescimento, desenvolvimento total e decadência, conforme Figura 2.

O flashover ocorre com a rápida transição entre os estágios de crescimento e desenvolvimento, não caracterizando um estágio em específico. (HARTIN, 2008,

tradução nossa). O período de alcance desta transição depende sobretudo dos materiais de acabamento e revestimento, pois em pouco tempo o ambiente é totalmente envolto pelo fogo e gases inflamáveis tornando impossível a sobrevivência. (CBPMESP, 2018a).

Figura 2 - Flashover



Fonte: Adaptada pela autora com base em Hartin (2008).

2.1.2 Transferência de Calor

As formas de propagação de calor e incêndios ocorrem de três maneiras distintas: (a) por condução, aonde o calor é transmitido por meio de um material base, (b) por convecção, sendo a transferência por meio de um fluido líquido ou gás, (c) por radiação, energia radiante transmitida por meio de gás ou vácuo. (CBPMESP, 2018a).

De acordo com Incropera e Witt (2003, p. 2), o processo de condução pode ser visto como “[...] a transferência de energia das partículas mais energéticas para as partículas de menor energia, devido às interações entre elas”. Com a incidência de calor em um material os átomos de extremidade se movem rapidamente, consequência disso, é a transferência de energia térmica por meio de colisões eletrônicas e moleculares. (HEWITT, 2011). Segundo Incropera e Witt (2003), o processo de condução de calor pode ser quantificado por taxas de transferência de calor por unidade de tempo conhecida como Lei de Fourier, aonde (q_x) é a transferência de calor, (k) condutividade térmica, (A) área perpendicular ao fluxo de calor e (dT/dx) gradiente de temperatura, conforme Equação 1.

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Quanto ao processo de convecção, Incropera e Witt (2003, p. 4), definem como “[...] a transferência de energia que ocorre no interior de um fluido devido à combinação dos efeitos de condução e do movimento global do fluido”. Já para Hewitt (2011, p. 299) a convecção ocorre é “A transferência de energia térmica em um líquido ou gás por meio de correntes no interior do fluido aquecido”. De acordo com Incropera e Witt (2003), a transferência de calor por convecção pode ser calculada pela Lei do resfriamento de Newton, conforme Equação 2. Aonde (q'') representa o fluxo de calor convectivo, (h) coeficiente de transferência por convecção e (T_s e T_∞) diferença de temperatura da superfície e do fluido, respectivamente.

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

A transferência de calor por radiação, segundo definição de Hewitt (2011, p. 299), é “A transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas”. Já para Incropera e Witt (2003, p. 5), a “Radiação térmica é a energia emitida por toda matéria que se encontra a uma temperatura finita”. Enquanto a transferência de calor por meio de condução e convecção requerem meio material para realizar trocas térmicas, a radiação é independente. (ORDENES; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

De acordo com Ordenes; Lamberts; Güths (2008), a taxa de liberação de energia é realizada por unidade de área (W/m^2), também conhecida como poder emissivo (q''_{rd}), é presumida pela Lei de Steffan-Boltzmann, onde T_{sup} é a temperatura absoluta (K) e ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$) constante de Steffan-Boltzmann, conforme Equação 3.

$$q''_{rd} = \varepsilon \sigma T_{sup}^4 \quad (3)$$

A propriedade emissiva (ε) provê relação entre a capacidade de emissão de energia de um material em relação a um corpo negro ($0 \leq \varepsilon \leq 1$). INCROPERA; WITT (2003). Os valores de emissividade decorrem dos materiais utilizados na superfície, seu acabamento e coloração. (ORDENES; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

A Tabela 1 ilustra a emissividade superficial de alguns materiais de construção.

Tabela 1 - Emissividade superficial para materiais de construção

Material	Emissividade (ϵ)
Alumínio polido	0,04
Aço limpo	0,22
Concreto	0,88 – 0,93
Tijolo (vermelho)	0,93 – 0,96
Placa de gesso	0,90 – 0,92
Madeira	0,82 – 0,92

Fonte: Ordenes; Lamberts; Güths (2008, p.33).

2.1.3 Reação e Resistência ao Fogo

A concepção das fases de um incêndio está intimamente ligada ao comportamento dos materiais que promovem sua evolução, logo, escolher e regulamentar a utilização de materiais e estruturas em razão de seu comportamento ao fogo, por meio de ensaios de resistência e reação, é primordial para amenizar severidades. (PINTO; CALIL JÚNIOR, 2002).

Segundo a Instrução Técnica nº 02 (CBPMESP, 2018a) a partir do instante que um incêndio adquire grandes proporções os elementos construtivos são expostos a fluxos excessivos de energia térmica. Assim, a resistência ao fogo é definida como a capacidade dos materiais e componentes construtivos, de suportar por tempo predeterminado à estabilidade estrutural da edificação, estanqueidade e isolamento térmico. (PINTO; CALIL JÚNIOR, 2002; CBPMESP, 2018a).

De acordo com Pinto e Calil Júnior (2002), os ensaios de resistência ao fogo podem ser realizados em três tipos diferentes de fornos: (a) forno de ensaio vertical, (b) forno de ensaio de pilares, (c) forno de ensaio horizontal. Os resultados permitem avaliar o desempenho dos materiais submetidos a aquecimento sob condições controladas, fornecendo informações como a temperatura no interior da peça, perda de massa, taxa de carbonização e tempo de colapso. (PINTO; CALIL JÚNIOR, 2002; CBPMESP, 2018a). No Brasil, o ensaio de resistência ao fogo para portas e vedadores é realizado de acordo com a NBR 6479 (ABNT, 1992).

A reação ao fogo é descrita por Pinto e Calil Júnior (2002) como as transformações físicas e químicas que ocorrem com os materiais quando expostos ao fogo controlado. Os ensaios de reação ao fogo intentam avaliar a contribuição dos materiais na propagação e crescimento de um incêndio. (FACCIO; SILVA, 2016). As

avaliações são realizadas por meio dos ensaios de: (a) propagação superficial de chamas, (b) combustibilidade, (c) poder calorífico, (d) densidade óptica específica de fumaça, (e) toxicidade da fumaça. (PINTO; CALIL JÚNIOR, 2002).

Faccio e Silva (2016) destacam que a realização do ensaio de combustibilidade em materiais presumidamente combustíveis, tais como polipropileno, policarbonato entre outros, são desnecessários, de forma equivalente para materiais reconhecidamente incombustíveis, como, concreto, vidro, alvenaria, pedras naturais, metais e ligas metálicas. Além do que, a Norma de desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não impede a utilização de materiais combustíveis para acabamentos e revestimentos, mas orienta a aquisição dos mesmos de acordo com as características de reação ao fogo que atendam aos critérios de desempenho. (FACCIO; SILVA, 2016).

Quanto ao ensaio de densidade óptica específica de fumaça, Faccio e Silva (2016) ressaltam que não há relação com a toxicidade dos gases e cor da fumaça liberados durante a queima do material, mas sim, com a diminuição da captação de luz, que dificulta a visibilidade em situação de incêndio.

Para classificar os materiais quanto à reação ao fogo, exceto materiais de revestimento de pisos, a Instrução Técnica nº 10 (CBPMESP, 2018d) apresenta dois métodos: (a) conforme NBR 9442 (ABNT, 1988) e (b) conforme EN13823 (2010). Contudo, para materiais que sofrem derretimento ou retração abrupta, a Instrução Técnica nº 10 (CBPMESP, 2018d) informa a impossibilidade de execução pelo método da NBR 9442 (ABNT, 1988), ou seja, execução dos ensaios da EN 13823 (2010), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos materiais com base no método da EN 13823

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

Fonte: CBPMESP (2018d).

2.2 MATERIAIS DE PROTEÇÃO AO FOGO

Materiais utilizados na estrutura de uma edificação podem afetar consideravelmente as características de desenvolvimento de um incêndio, deste modo, a investigação do desempenho térmico dos materiais de construção em altas

temperaturas é imprescindível, uma vez que, afetam potencialmente a segurança global de um edifício. (ASIMAKOPOULOU et al, 2015, tradução nossa). Segundo Carlo (2008), o uso de materiais novos sem controle de sua reação e resistência ao fogo, traz riscos diversificados. Para que os materiais de construção atendam aos requisitos de resistências ao fogo, muitas vezes há necessidade de protegê-los com produto isolante. (SILVA, 2010).

De acordo com Troitzsch (1983, tradução nossa), a redução do risco de incêndio por materiais combustíveis, tais como a madeira, plásticos e têxteis é feita em locais de vivência e trabalho, com o uso de tratamentos retardadores de chama adequados. Esses tratamentos podem impedir ou atrasar o início de um incêndio de forma a proporcionar tempo suficiente para fuga de pessoas em risco, além disso, foram desenvolvidos protetores de revestimentos que atuam na proteção efetiva do material coberto (por exemplo, madeira, aço ou plástico) em caso de incêndio, formando uma superfície protetora ao fogo. (TROI TZSCH, 1983, tradução nossa).

2.2.1 Tintas Intumescentes

Segundo Silva (2010) materiais intumescentes têm por característica principal a reação em situação de incêndio protegendo elementos contra o aumento da temperatura em função do fogo, a proteção comumente é provida por uma camada que pode atingir várias vezes sua espessura inicial, logo, o tempo de proteção poderá ser maior em elementos com mais camadas de proteção. Habitualmente são aplicados na proteção passiva de estruturas metálicas, perfis em aço e em elementos de compartimentação como portas de aço. (SILVA, 2010)

No contexto da engenharia, tintas intumescentes comumente são associadas à proteção contra incêndio de estruturas de aço, contudo, sua utilização é admitida na proteção de outros materiais inflamáveis, uma vez que, amplia o tempo de resistência ao fogo de uma estrutura ou material em situação de incêndio. (OLIVEIRA; MORENO JÚNIOR; VIEIRA, 2017, tradução nossa). Produtos intumescentes reagem sob a ação da temperatura atuando como isolante térmico da madeira, retardando assim, o início de sua carbonização. (CRUZ; NUNES, 2005).

Uma das vantagens do uso de tintas intumescentes é que a aparência final das estruturas é exposta em sua plenitude, oferecendo soluções arquitetônicas diferenciadas. (PANNONI; SANTOS, 2011).

2.2.2 Gesso Resistente ao Fogo

As placas de gesso são utilizadas na proteção contra o fogo em virtude de sua baixa condutividade térmica, pois apresentam teor significativo de água que protela a evolução da temperatura. (SILVA, 2010).

De acordo com Knauf [2018?], o gesso que compõem as placas de drywall é proveniente de Sulfato de Cálcio ($\text{Ca.SO}_4+2\text{H}_2\text{O}$), logo, as moléculas de água contribuem com 20% do peso total, o que limita a ação do fogo quanto à destruição das placas ao consumo prioritário deste percentual.

2.2.3 Placas Cimentícias

De acordo com Ribas (2013) as placas cimentícias geralmente apresentam largura de 1,20 m, comprimentos de 2,0; 2,40 e 3,0 m e espessuras de 6; 8; 10 e 12 mm, são constituídas por materiais como cimento Portland, fibras de celulose sem amianto, fios sintéticos e agregados. As placas são utilizadas para fechamentos internos e externos, uma vez que, apresentam elevada resistência a impactos e umidade, agilidade de execução, baixo peso e incombustibilidade. (RIBAS, 2013).

A Tabela 3 apresenta a composição de alguns tipos de placas cimentícias, conforme Cichinell (2007).

Tabela 3 - Composição de placas cimentícias

Produto	Composição
Brasilit - Brasiplac	cimento reforçado com fios sintéticos, sem amianto
Bricka - Brickawall Plus	concreto leve reforçado nas duas faces com tela de fibra de vidro resistente aos álcalis do cimento
Knauf - Durock	cimento Portland com aditivos especiais
Infibra (chapa lisa)	cimento Portland, calcário, celulose e amianto Crisotila

Fonte: Elaborada pela autora com base em Cichinell (2007).

2.2.4 Placas de Fibras Compactadas

De acordo com Miyada et al. (2009) as fibras naturais que não apresentam tratamento químico, quando expostas ao fogo queimam continuamente até que haja o consumo total do material, mesmo com o afastamento da fonte de queima. Nas

fibras sintéticas há o derretimento do material em contato com as chamas, enquanto que em tecidos resistentes ao fogo o processo de queima cessa quando a fonte de ignição é retirada. (MIYADA et al., 2009).

Materiais como lã de rocha e lã de vidro que são utilizados para isolamento, são ideais para proteção contra incêndio, pois apresentam valores baixos de condutividade. (SILVA, 2010). As lãs de vidro e rocha são materiais inorgânicos não inflamáveis, por isso, são utilizadas nas construções que requerem resistência ao fogo. (NAKAMURA, 2014).

2.2.5 Propriedades Térmicas dos Materiais de Proteção ao Fogo

Para Hewitt (2011, p. 282), o calor específico dos materiais pode ser definido como “A quantidade de calor por unidade de massa requerido para elevar a temperatura de uma substância em um grau Celsius”. Assim, pode-se comparar o calor específico a uma espécie de inércia térmica, pois há resistência das substâncias a mudança de temperatura. (HEWITT, 2011).

A condutividade térmica determina a capacidade de uma substância em conduzir calor, assim, quanto maior o valor de condutividade térmica que um material apresenta, maior é sua eficiência de condução. (SILVA, 2010).

Segundo Incropera e Witt (2003), o produto entre o calor específico (c_p) e a massa volumétrica (ρ) define a capacidade calorífica volumétrica (ρc_p) de um material, ou seja, a capacidade de armazenamento de energia térmica.

A Tabela 4 descreve as propriedades térmicas de alguns materiais utilizados na construção civil.

Tabela 4 - Propriedades térmicas de alguns materiais de proteção ao fogo

Material	Massa Volumétrica, ρ (Kg/m ³)	Condutividade Térmica, λ [W/(m.K)]	Calor Específico, c_p [J/(kg.K)]
Gesso	Placas de Gesso	0,25	1000
	Acessórios de Gesso	0,485	1000
Lã	Lã de vidro	0,037	1030
	Lã de rocha	0,037	1030

Fonte: Adaptada pela autora com base em Silva (2010).

2.3 PROJETO DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Com a finalidade de proteger a integridade física de bens e principalmente pessoas, em cada estado brasileiro os projetos de prevenção contra incêndio são elaborados de acordo com Leis, Normas Técnicas, Portarias e Resoluções do Corpo de Bombeiros. (FAGUNDES, 2014).

No Rio Grande do Sul, em dezembro de 2013, foi aprovada Lei Complementar nº 14.376, que dispõe acerca das competências, atribuições, fiscalização e sanções administrativas, além da obrigatoriedade do Alvará de Prevenção e Proteção Contra Incêndios para licenciamento de edificações. (RIO GRANDE DO SUL, 2013). Outra Lei Complementar do mesmo estado, a de nº 14.924 (RIO GRANDE DO SUL, 2016a), define como Projeto de Prevenção e Proteção Contra Incêndio (PrPCI), o projeto técnico que abrange as medidas necessárias para evitar e prevenir um incêndio, viabilizar o abandono em segurança dos ocupantes da edificação e áreas de risco de incêndio, inibir a propagação do incêndio, disponibilizar meios de domínio e extinção do incêndio e possibilitar o acesso do Corpo de Bombeiros para combate ao fogo.

No mesmo ano entrou em vigor a norma NBR 15575-1 – Edificações Habitacionais: Desempenho (ABNT, 2013a), estipulando critérios para o desempenho dos sistemas que compõem as edificações habitacionais. Os requisitos de segurança contra incêndio a serem atendidos, foram dispostos no capítulo 8 das 6 partes da norma. (ABNT, 2013a).

Em março de 2017 foi sancionada Lei Federal Nº 13.425 que define as diretrizes sobre medidas de prevenção, combate a incêndio e desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público. (BRASIL, 2017). Segundo a Lei, o Estado se torna o único responsável pela fiscalização de segurança contra incêndio e pânico nas edificações. (OECHSLER, 2017).

Acerca da proteção contra incêndio, os sistemas são separados em dois segmentos complementares: proteção passiva e ativa, enquanto a proteção ativa é conferida por meio de instalação de equipamentos contra incêndio com necessidade de acionamento, a passiva já é parte integrante da edificação. (ONO, 2007). No sistema de Segurança Contra Incêndio, as medidas protetivas atuam na edificação quando as preventivas são ineficazes acarretando o início do incêndio, logo, a fim de garantir a integridade do imóvel devem ser adotadas ambas medidas de proteção. (VENEZIA, 2004).

2.3.1 Proteção Passiva

Segundo Freire (2009), a proteção passiva compreende as medidas de prevenção que devem ser consideradas na concepção do projeto arquitetônico para evitar um incêndio, ou então, para inibir sua propagação e efeitos caso o sinistro ocorra. De acordo com a NBR 14432 (ABNT, 2011a), as medidas devem ser incorporadas à construção, mantendo suas características normais durante o uso da edificação reagindo passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não oferecer condições para seu crescimento de forma a facilitar a fuga dos usuários e ingresso na edificação para ações de combate. Desta forma, os materiais de acabamento e revestimento têm papel indispensável, principalmente os utilizados na circulação interna (vertical e horizontal), na disposição dos espaços, fachada e implantação do edifício e seus acessos. (VENEZIA, 2004).

Para Venezia (2004) e Freire (2009), os elementos que compõem as medidas de proteção passiva são:

- a) Compartimentação vertical;
- b) Compartimentação horizontal;
- c) Resistência ao fogo da fachada do edifício, bem como dos elementos estruturais;
- d) Determinação de rotas de fuga seguras e com sinalização adequada;
- e) Determinação dos acessos aos equipamentos de combate a incêndio e sinalização apropriada;
- f) Controle do volume de material combustível anexo à construção, bem como suas características de reação ao fogo;
- g) Distância segura entre edificações;
- h) Proteção de aberturas entre ambientes;
- i) Escadas protegidas.

2.3.2 Compartimentação

As tragédias relacionadas a incêndios no Brasil e no exterior, excepcionalmente as ocorridas em edificações com altura elevada, expõem a fragilidade acerca da circulação vertical e horizontal às consequências de um incêndio (fumaça, calor e

chamas), sobretudo da velocidade com que o fogo se propaga no pavimento de origem para os demais ou para edifícios vizinhos. (ONO, 2007).

Entre as medidas de proteção passivas, a compartimentação pode desempenhar funções relacionadas com a distância mínima de separação entre edificações, medidas arquitetônicas, parcelamento de áreas e projeto estrutural em situação de incêndio, neste último em específico apresentando característica de corta-fogo. (COSTA; ONO; SILVA, 2005).

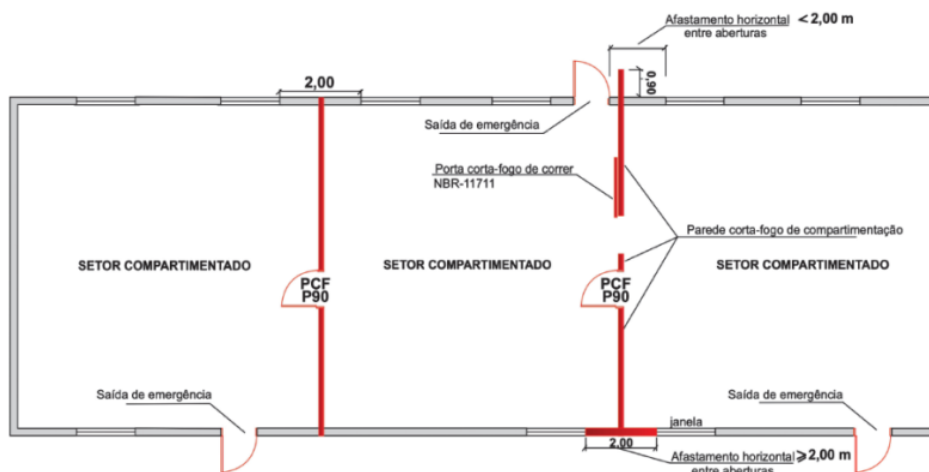
Segundo Venezia (2004), a compartimentação intenta segmentar o edifício em áreas capazes de suportar um incêndio, inibindo a expansão do fogo e favorecendo as operações de combate ao mesmo. Denomina-se como compartimentação horizontal o impedimento de propagação do incêndio no interior de um pavimento, e vertical, entre pavimentos, são obtidas por meio de dispositivos corta-fogo como: paredes, portas, selos, registros, lajes e enclausuramento de escadas. (VENEZIA, 2004). Para conceber a compartimentação de forma correta é imprescindível a escolha minuciosa dos elementos construtivos utilizados e suas propriedades físicas, essencialmente as que informam sua resistência à ação do fogo em função do tempo. (FAGUNDES, 2014).

2.3.2.1 Compartimentação Horizontal

A compartimentação horizontal (de áreas) tem por finalidade impossibilitar a propagação do fogo no pavimento de origem para os demais ambientes no plano horizontal. (CBPMESP, 2018c). Do mesmo modo que a compartimentação vertical, o alastramento do fogo pode ocorrer por meio de aberturas internas ou da fachada e contato com edificações vizinhas. (FAGUNDES, 2014). Ainda de acordo com a Instrução Técnica nº 09 (CBPMESP, 2018c), sempre que houver exigência deste tipo de compartimentação para restringir áreas deverão ser adotados elementos com características corta-fogo como: paredes, portas, vedadores, registros (dampers), selos, cortina e afastamento horizontal entre aberturas.

A Figura 3 representa um modelo de compartimentação horizontal, com paredes e portas corta-fogo.

Figura 3 - Modelo de compartimentação horizontal



Fonte: CBPMESP (2018c).

2.3.3 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

A Instrução Técnica nº 08 (CBPMESP, 2018b) define como tempo requerido de resistência ao fogo, “o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio padrão”. Em função de características da edificação como altura, área de pavimento, ocupação, medidas de proteção ativa, entre outros, os tempos são estabelecidos entre 30 e 120 minutos, com intervalos de 30 minutos. (VARGAS; SILVA, 2003).

Além do tipo de ocupação a NBR 14432 (ABNT, 2011a), ainda atribui a gravidade ou potencial destrutivo dos incêndios a fatores como: profundidade do subsolo, área, altura da edificação e facilidade de ingresso para combate ao incêndio, além de que, se existirem elementos integrantes de mais de um edifício ou compartimento, deverão atender ao maior tempo de resistência ao fogo entre prescritos para cada ocupação.

A Tabela 5 apresenta a classificação das edificações residenciais segundo o Decreto Estadual nº 53.280 de 2016.

Tabela 5 - Classificação das edificações residenciais e áreas de risco de incêndio quanto à ocupação

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais

A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamentos em geral
A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, vestiários, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos

Fonte: Adaptada pela autora com base em Rio Grande do Sul (2016b).

A Tabela 6 apresenta os tempos requeridos de resistência ao fogo para edificações residenciais conforme Instrução Técnica 08 (CBPMESP, 2018b).

Tabela 6 - Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF): Grupo A

Grupo: A									
Ocupação/Usos: Residencial									
Divisão: A-1 a A-3									
Profundidade do Subsolo (hs)		Altura da edificação (h)							
Classe S ₁	Classe S ₂	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 > 10m	hs ≤ 10m	h ≤ 6m	6m < h ≤ 12m	12m < h ≤ 23m	23m < h ≤ 30m	30m < h ≤ 80m	80m < h ≤ 120m	120m < h ≤ 150m	150m < h ≤ 250m
90	60	30	30	60	90	120	120	150	180

Fonte: Adaptada pela autora com base em CBPMESP (2018b).

2.3.4 Porta Corta-fogo para Entrada de Unidade Autônoma

A proteção passiva contra incêndio em edifícios é feita com diversos componentes com funções específicas, entre eles a porta corta-fogo que tem papel importante na redução da propagação das chamas e da fumaça entre os compartimentos, estabelecendo a saída segura da edificação. (MORO et al, 2017, tradução nossa).

As portas e janelas corta-fogo utilizadas na proteção de aberturas existentes em paredes de compartimentação, não podem sofrer comprometimento em suas características de resistência ao fogo, logo, devem ser submetidas a testes comprobatórios de desempenho. (COSTA; ONO; SILVA, 2005; CBPMESP, 2018c).

As portas corta-fogo, são desenvolvidas com base em metodologias destinadas a aprimorar o desempenho térmico do componente e facilitar o uso cotidiano e em

casos de incêndio, pois, é elemento fundamental para segurança. (MORO et al., 2017, tradução nossa). A NBR 15281 (ABNT, 2005b) considera como porta corta-fogo para entrada de unidade autônoma e de compartimentos específicos de edificações, as portas que abrem em seu eixo vertical, constituídas de folha, batente ou marco, ferragens e ocasionalmente bandeira.

A NBR 15281 (ABNT, 2005b) indica as dimensões de vão luz que os fabricantes de portas corta-fogo devem atender, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Dimensões de vão luz portas corta-fogo

Vão luz	Largura (mm)	Altura (mm)
Mínimo	660	2000
Máximo	2400	3000

Obs.: Os vãos-luz com largura superior a 1200 mm devem ter duas folhas com larguras iguais

Fonte: Elaborada pela autora com base em ABNT (2005b).

Para a NBR 15281 (ABNT, 2005b) as portas corta-fogo destinadas a entrada de unidade autônoma, são divididas em três classes, de acordo com o tempo de resistência ao fogo.

- a) Classe PRF-30: porta corta-fogo com tempo de resistência mínima ao fogo de 30 minutos;
- b) Classe PRF-60: porta corta-fogo com tempo de resistência mínima ao fogo de 60 minutos;
- c) Classe PRF-90: porta corta-fogo com tempo de resistência mínima ao fogo de 90 minutos;

Para utilização de portas corta-fogo, a NBR 11742 (ABNT, 2003b) recomenda seis classes de resistência, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Recomendações de utilização de portas corta-fogo

Classe	Recomendações de Utilização
P-30	- Fechamento de aberturas em paredes corta-fogo de resistência 1h (CF-60); - Proteção de apartamentos em edifícios residências.
P-30 à prova de fumaça (PF-30)	- Porta de acesso às escadas das saídas de emergência com antecâmara, ou com duas portas das antecâmaras de áreas de refúgio; - Circulação de saídas de emergência.

P-60	<ul style="list-style-type: none"> - Fechamento de aberturas em paredes corta-fogo de resistência 2h (CF-120); - Fechamento do acesso à antecâmara das escadas de saídas de emergência; - Proteção de escritórios em edifícios comerciais e industriais.
P-60 à prova de fumaça (PF-60)	<ul style="list-style-type: none"> - Fechamento de aberturas de acesso a escadas de saídas de emergência sem antecâmara (<i>se aplica nos casos onde não for possível a construção de antecâmara</i>).
P-90	<ul style="list-style-type: none"> - Fechamento de aberturas em paredes corta-fogo de resistência 3h (CF-180); - Substituição de porta corta-fogo de madeira revestida de metal exclusivamente com uma folha e em passagens para pessoas, nas interligações de escritórios com locais de industrialização, comercialização e armazenamento; - Fechamento do acesso a recintos de medição, proteção e transformação de energia elétrica.
P-120	<ul style="list-style-type: none"> - Fechamento de aberturas em paredes corta-fogo de resistência 4h (CF-240); - Substituição de porta corta-fogo de madeira revestida de metal exclusivamente com uma folha e em passagens para pessoas, nas interligações não previstas para P-90 e sempre nos casos de parede com resistência de 4 h.

Fonte: Adaptada pela autora com base ABNT (2003b).

Quanto as portas corta-fogo constituídas por madeira a NBR 11711 (ABNT, 2003a) salienta que as mesmas deverão possuir propriedades equivalentes as do pinho do Paraná, com pouca resina, massa específica entre $0,50 \text{ g/cm}^3$ e $0,60 \text{ g/cm}^3$, resistência a fungos, capacidade de absorver pregos sem lascas ou rachar. Em um mesmo núcleo não podem ser misturados diferentes tipos de madeira, a umidade deverá ser igual ou inferior a 15%, não devem existir defeitos, as tábuas devem possuir espessura nominal entre 22 mm e 25 mm, largura entre 100 mm e 200 mm, passar por processo de aplainamento nas duas faces e possuir juntas em todo seu comprimento com profundidade e largura de aproximadamente 6 mm. NBR 11711 (ABNT, 2003a).

A classificação como porta corta-fogo para entrada de unidade autônoma, deve cumprir os critérios de avaliação de desempenho relacionados na NBR 15281 (ABNT, 2005b) quanto à tolerância nas dimensões de folhas e batentes, comportamento da folha submetida a manobras anormais, deformação da folha submetida a carregamentos, resistência ao impacto de corpo mole e resistência ao fogo, conforme NBR 6479 (ABNT, 1992).

2.4 EDIFICAÇÕES EXISTENTES

O Art. 6 da Lei complementar número 14.924 do estado do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2016a), classifica as edificações existentes em regularizada e não regularizada. A regularizada pode ser comprovada por meio de habite-se, projeto aprovado na Prefeitura, projeto de prevenção contra incêndio protocolado no Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul ou qualquer documento emitido por órgão público que comprove a existência e áreas da edificação até 26 de dezembro de 2013. Enquanto a não regularizada é a edificação construída que não se enquadra nos quesitos anteriores, contudo, pode comprovar sua existência anterior a 26 de dezembro de 2013 por meio de registros fotográficos ou documentos históricos e públicos da época.

Para tratar destas edificações, a corporação de cada estado possui regulamentação própria. Como o Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás que estabelece medidas para a regularização de edificações existentes segundo a Norma Técnica nº 4 (CBMGO, 2017). Já o Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul, define as medidas com base na Resolução Técnica nº 05 – Parte 07 - processos de segurança contra incêndio: edificações e áreas de risco de incêndio existentes (CBMRS, 2016a).

O Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo possui a Instrução Técnica nº 43 (CBPMESP, 2018f). Já o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, a Instrução Técnica nº 40 (CBMMG, 2016) e o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina a Instrução Normativa nº 05 (CBMSC, 2015).

Em virtude da localização e constituição, as edificações antigas possuem alto grau de vulnerabilidade aos incêndios, uma vez que há inúmeros fatores suscetíveis a deflagração de um incêndio dificultando o combate e possibilitando sua propagação, movida pela elevada carga térmica dos materiais incorporados. (BARRA; RODRIGUES; FERREIRA, 2011). Na reutilização de edificações existentes, uma ponderação a ser feita é com relação às condições de segurança. (AIELLO et al.,2002, tradução nossa). Em uma edificação histórica, isso compreende a proteção, segurança e bem estar dos usuários, considerando simultaneamente os méritos arquitetônicos do edifício. (AIELLO et al.,2002, tradução nossa).

Alguns dos problemas mais complexos em edificações antigas estão relacionados à evacuação de pessoa em virtude de aspectos relacionados a

compartimentação, escadas com largura reduzida e ausência de circulação horizontal comum, tais particularidades são de difícil resolução. (BARRA; RODRIGUES; FERREIRA, 2011). Contudo, Aiello et al., (2002, tradução nossa) ressaltam que as adequações para o desenvolvimento de técnicas alternativas de prevenção e proteção contra incêndio são eficientes na concepção de nível de segurança equivalente, desde que, haja uma avaliação particular dos riscos reais.

2.4.1 Inviabilidade Técnica na Adaptação de Edificações Existentes

A Resolução Técnica nº 5 – Parte 7, descreve inviabilidade técnica como a impossibilidade de instalação de uma ou mais medidas de segurança contra incêndio. Para fins de mitigação dos riscos de incêndio em consequência da inviabilidade, apresenta medidas compensatórias. (CBMRS, 2016a).

Ainda de acordo com a Resolução Técnica nº 5 – Parte 7 (CBMRS, 2016a), as medidas compensatórias compreendem equipamentos, instalações, sistemas construtivos ou procedimentos de socorro e treinamento que visam mitigar os riscos decorrentes da impossibilidade parcial ou total da implantação de adaptações às medidas de segurança, conforme legislação vigente, em razão de características construtivas e áreas de risco de incêndio já edificadas. As medidas visam reestabelecer o nível de proteção, aonde as adaptações são inconcebíveis. (CBMRS, 2016a).

Em relação a edificações residenciais, a NBR 9077 (ABNT, 2001) e a Resolução Técnica nº 11 (CBMRS, 2016b) classificam as escadas de emergência quanto à tipologia, com base na ocupação, divisão e altura. Sendo as mesmas divididas em não enclausurada (NE), enclausurada protegida (EP) e enclausurada à prova de fumaça, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Tipos de escadas de emergência por ocupação

Dimensão					
Altura (em metros)		H ≤ 6	6 < H ≤ 12	12 < H ≤ 30	Acima de 30
Ocupação		Tipo Escada	Tipo Escada	Tipo Escada	Tipo Escada
Grupo	Divisão				
A	A-1	NE	NE	-	-
	A-2	NE	NE	EP	PF(1)
	A-3	NE	NE*	EP	PF

Fonte: Adaptada pela autora com base em CBMERS (2016b) e ABNT (2001).

No entanto, muitas vezes, por se tratar de edificação existente, a tipologia mais comum é a de escada não enclausurada e ações de isolamento são inconcebíveis por conta da própria estrutura. (ONO, 2002).

Segundo Brentano (2015), antes da recente aprovação de normas, leis nacionais, estaduais e municipais de proteção contra incêndio em edificações, os projetos de segurança contra incêndio não passavam por detalhamento, análise e fiscalização rigorosa, o que resultou na construção de edificações vulneráveis a situações de incêndio. Ademais, nos planos diretores de muitas cidades, com exceção de grandes metrópoles, não havia restrições quando ao afastamento entre edificações, recuos, compartimentação, saídas de emergência, escadas enclausuradas, materiais combustíveis, entre outros, viabilizando a construção de edificações notáveis carentes de proteção mínima. (BRENTANO, 2015).

Como o intento de promover a segurança em edificações existentes, a Instrução Técnica nº 43 (CBPMESP, 2018f) e Norma Técnica nº 41 (CBMGO, 2017), dispõem de medidas para adequar as escadas em desacordo com o desejável atualmente. Assim, são sugeridas opções de adaptação de escadas não enclausuradas para enclausuradas protegidas ou enclausuradas à prova de fumaça e de enclausuradas protegidas para enclausuradas à prova de fumaça, conforme Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Adaptação de escadas em edificações existentes

Instrução Técnica Nº 43/2011 - Adaptação às normas de segurança contra incêndio – edificações existentes	
Escada não enclausurada (NE) para enclausurada protegida (EP)	Primeira opção: - Enclausurar com portas corta-fogo o hall de acesso à escada em relação aos demais ambientes;
	Segunda opção: - Enclausurar com portas resistentes ao fogo PRF P-30 as portas das unidades autônomas que tem acesso ao hall ou corredor de circulação, que por sua vez, acessa a escada
Escada não enclausurada (NE) para enclausurada à prova de fumaça (PF)	- Enclausurar com portas corta-fogo o hall de acesso à escada em relação aos demais ambientes;

Fonte: Adaptada pela autora com base em CBPMESP (2018f).

Tabela 11 - Adaptação de escadas em edificações existentes

Norma Técnica Nº 41/2017 – Edificações Existentes: Adaptação as normas de segurança contra incêndio e pânico	
Escada não enclausurada (NE) para enclausurada protegida (EP)	- As portas que dão acesso à escada deverão ser do tipo corta-fogo com tempo mínimo de resistência ao fogo de 60 minutos; as paredes da caixa da escada deverão ter tempo mínimo de resistência ao fogo de 60 minutos e não poderão possuir aberturas; deverá ser prevista exaustão no topo da caixa de escada, com área mínima de 1,00 m ² ; - Todas as portas das unidades autônomas (salas) instaladas no hall de acesso à escada (corredor) deverão possuir resistência ao fogo mínima de 30 minutos. As paredes do hall de acesso à escada deverão possuir tempo mínimo de resistência ao fogo de 60 minutos; Caso haja as aberturas entre as salas e o hall de acesso à escada, as mesmas deverão ser protegidas por elementos que possuam resistência ao fogo mínima de 30 minutos;
Escada não enclausurada (NE) ou enclausurada protegida (EP) para enclausurada à prova de fumaça (PF)	- Enclausuramento da caixa de escadas, com acesso por portas do tipo corta-fogo com tempo mínimo de resistência ao fogo de 60 minutos; - Paredes da caixa da escada com resistência mínima ao fogo de 60 minutos sem aberturas que permitam a passagem de fumaça, com área mínima de 1,00 m ² , - Todas as portas das unidades autônomas (salas) instaladas no hall de acesso à escada (corredor) deverão possuir resistência ao fogo mínima de 30 minutos; as paredes do hall de acesso à escada deverão possuir tempo mínimo de resistência ao fogo de 60 minutos; caso haja as aberturas entre as salas e o hall de acesso à escada, as mesmas deverão ser protegidas por elementos que possuam resistência ao fogo mínima de 30 minutos; deverá haver no hall de acesso à escada, em todos os pavimentos (exceto no subsolo), aberturas que permitam a saída da fumaça para o meio livre exterior, com área livre mínima de 0,8 m ² , instalada a no máximo 15 cm do teto.

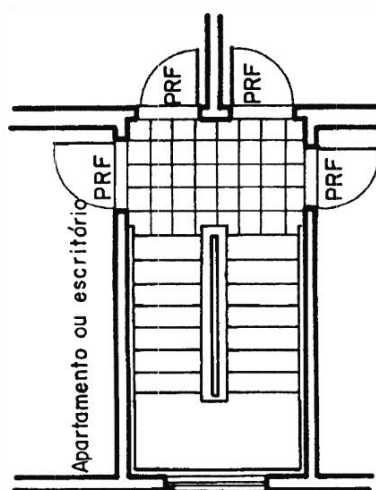
Fonte: Adaptada pela autora com base em CBMGO (2017).

Ainda em relação às escadas, a NBR 9077 (ABNT, 2001) apresenta mais uma classificação para edificações com pequeno pavimento (<750m²). Aonde as portas das unidades autônomas podem abrir diretamente para a escada enclausurada protegida, desde que:

- a) Não haja mais de quatro unidades por pavimento;
- b) As portas de acesso a escada resistam ao fogo por 30 min (PRF);
- c) O patamar/circulação não totalizem mais de 12 m²;
- d) A escada seja interrompida no nível da descarga, ou seja, não chegando ao subsolo.

A Figura 4 apresenta a configuração de escada especial, descrita pela NBR 9077 (ABNT, 2001).

Figura 4 - Escada enclausurada protegida, caso especial.



Fonte: ABNT (2001).

A Resolução Técnica nº 5 – Parte 7 (dispensa a adequação quando ao enclausuramento de escadas e rampas de emergência as edificações que comprovarem sua existência até 28 de abril de 1997 (CBMRS, 2016a). As demais edificações existentes regularizadas e não regularizadas que comprovarem inviabilidade técnica para instalação das medidas de segurança contra incêndio exigidas, deverão elaborar projeto alternativo com propostas de medidas compensatórias para aprovação do CBMRS. (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

Como propostas de medidas compensatórias a Resolução Técnica nº 5 – Parte 7 (CBMRS, 2016a), sugere alternativas em função da inviabilidade apresentada. No que diz respeito a escadas não há apontamento explícito, contudo, entre os itens sugeridos com relação à compartimentação vertical e horizontal estão:

- a) Aplicação de produtos que aumentem o tempo de resistência ao fogo dos elementos que devem desempenhar função de compartimentação;
- b) Proteção dos elementos que desempenharão função de compartimentação por meio de inserção de barreiras ou encapsulamento com outros materiais ou revestimentos.

2.5 MADEIRA COMO MATERIAL CONSTRUTIVO

A preocupação com questões ambientais reacende a procura por materiais naturais, renováveis, recicláveis e principalmente os de características sustentáveis como a madeira. (ANASTÁCIO, 2010). Material biodegradável que não acarreta danos ambientais quando reciclado ou descartado. (SILVA, 2008). A característica renovável se deve ao constante crescimento de árvores, o que é um diferencial da madeira perante os demais materiais de construção. A simplicidade de suas emendas e ligações são outro ponto favorável, pois, não requer ferramentas sofisticadas em seu emprego, possui baixa massa volumétrica, além de não sofrer rompimentos bruscos. (SILVA, 2008).

A evolução dos produtos de madeira corroborou para o desenvolvimento de novas técnicas de ligação como: colas de alta resistência e durabilidade e ligantes mais eficientes. (CRUZ; NUNES, 2005). De acordo com Zenid (2011) as principais propriedades da madeira que acarretam sua hegemonia perante os demais materiais são por conta de sua alta resistência específica, excelentes características de isolamento elétrico e acústico, facilidade de manipulação tanto manual quanto com maquinário e economia no consumo de energia em seu processamento. Contudo, para garantir o desempenho ideal no emprego da madeira, são indispensáveis especificações relacionadas ao material, bem como análise do produto na entrega, quanto à espécie da madeira, defeitos naturais ou de processamento, dimensões e teor de umidade. (ZENID, 2011).

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); São Paulo; Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON-SP), (2003), a madeira pode ser encontrada como:

- a) Madeira serrada: produzida em indústrias (serrarias), nas quais as toras são processadas mecanicamente, passando por uma transformação em sua forma originalmente cilíndrica para peças quadrangulares ou retangulares, de menor dimensão;
- b) Madeira roliça: Consiste de um segmento do fuste da árvore, onde a casca geralmente é mantida, com ou sem cortes transversais;
- c) Madeira laminada: O processo de fabricação se inicia com o cozimento das toras e seu posterior corte em lâminas;
- d) Madeira em painéis: Produtos que suprem uma necessidade de uso da madeira serrada e ampliam sua superfície útil, por meio da expansão de sua largura, o que otimiza sua aplicação.

2.5.1 Resistência Mecânica

Mesmo com a variação de umidade e teor em água, que acarretam variações volumétricas e de resistência mecânica em peças de madeira, sendo estes efeitos reversíveis, o surgimento de fendas e empenos geralmente não ocasiona problemas relacionados à resistência, uma vez que, a mesma é recuperada quando o teor em água na madeira retorna ao valor inicial. (CRUZ, 2001).

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 14),

As propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos componentes à compressão, bem como valores correspondentes à direção paralela às fibras dos correspondentes à direção normal às fibras. Devem também distinguir-se os valores correspondentes às diferentes classes de umidade.

Assim, para obter a resistência de determinada peça de madeira é imprescindível seguir as orientações da referida norma, que prescreve os parâmetros para classificação em função do teor de umidade, classe de carregamento e coeficiente de modificação (relacionado de acordo com o tipo e produto de madeira, bem como a categoria relacionada a quantidade de defeitos da peça). (ABNT, 1997).

2.5.2 Durabilidade e Categorias de Uso

De acordo com a NBR 15930-1 (ABNT, 2011b) a durabilidade da madeira está condicionada à característica de resistência a agentes de deterioração (como fungos, bactérias, e insetos xilófagos), seja em condições normais de uso ou com substâncias químicas. A proteção de peças de madeira contra agentes degradadores está ligada à higroscopicidade, característica que atribui as peças variação de volume eventual e teor em água, decorrentes da ação de contração e dilatação da madeira. (SILVA, 2008).

A fim de preservar os componentes de madeira, a NBR 16143 (ABNT, 2013b), define as medidas para aplicação das categorias de uso na concepção de projetos em madeira e tratamento.

- a) Definição do nível de desempenho necessário para o componente ou estrutura de madeira, como vida útil, responsabilidade estrutural e garantias comerciais e legais;
- b) Avaliação dos riscos biológicos aos quais as madeiras serão submetidas durante a sua vida útil, como ataque de fungos e insetos xilófagos e/ou perfuradores marinhos;
- c) Definição da espécie de madeira adequada ao uso e da necessidade do tratamento preservativo, considerando propriedades físicas e mecânicas, durabilidade natural da espécie, tratabilidade, processo de tratamento e produtos preservativos disponíveis. O tratamento preservativo é necessário se a espécie escolhida não for naturalmente durável para a categoria de uso considerada e/ou se a madeira contiver alburno, porção naturalmente suscetível ao ataque de organismos xilófagos;
- d) Escolha do processo de tratamento da madeira e do produto preservativo adequados.

Segundo a NBR 16143 (ABNT, 2013b), os produtos utilizados na prevenção, devem possuir o menor impacto possível ao meio ambiente e à higiene e segurança dos usuários, bem como, estar disponíveis no mercado brasileiro.

Já para proteção satisfatória da madeira, a NBR 16143 (ABNT, 2013b), descreve a utilização dos seguintes processos: sem pressão ou superficial, sob

pressão (célula cheia ou vazia), duplo vácuo, adição à cola (painéis) e por difusão. Assim, a escolha do produto e do processo preservativo está condicionada à espécie da madeira e de suas condições de utilização.

2.5.3 Resistência da Madeira ao Fogo

Nas questões relacionadas com materiais em situação de incêndio, Caldas (2008) propõe a divisão em três grupos: a) materiais resistentes: aço e concreto; b) isolantes: tijolo, concreto, gesso e outros com proteção contra incêndio; c) combustíveis: revestimentos, madeira e foros. Destaca que alguns materiais podem ser enquadrados em mais de um grupo, como é o caso da madeira que é combustível e resistente, enquanto que o concreto é resistente e isolante.

Por conter elevada taxa de carbono, a madeira é um material suscetível à degradação por fogo, uma vez que a combustão proveniente de reações químicas diminui gradativamente a seção das peças, podendo leva-las ao colapso de acordo com o período de exposição às chamas. (SILVA, 2008).

Devido à característica de material combustível, pressupõe-se que seu desempenho em relação ao fogo não seja satisfatório, contudo nada impede que algumas estruturas manifestem resultados favoráveis submetidas ao fogo. (CRUZ; NUNES, 2005). Apesar de sua inflamabilidade, os elementos de madeira têm comportamento superior a altas temperaturas se comparados ao aço, uma vez que sua resistência não se modifica. Logo, em situação de incêndio a madeira poderá funcionar como meio propagador, porém, suportará por mais tempo a ação do fogo. (GESUALDO, 2003).

De acordo com Cruz e Nunes (2005), em consequência da alta temperatura a madeira seca inicia sua carbonização quando atinge em torno de 280°, contudo, a ação do fogo não consome a madeira de imediato, pois, há formação de uma camada externa de carvão que atua como isolante que protege o substrato. Logo, a resistência ao fogo de um elemento de madeira está condicionada diretamente com sua superfície.

Na impossibilidade de proteger a madeira ao fogo apenas com o dimensionamento de sua seção transversal, ou em situações aonde a estrutura já é existente, podem ser admitidos revestimentos ou ainda acoplar à estrutura outros

materiais de menor reação ao fogo, como gesso, fibrocimento ou pintura utilizando material ignífero. (CRUZ; NUNES, 2005).

2.6 PORTAS DE MADEIRA

Segundo a NBR 15930-1 (ABNT, 2011b), porta é um componente construtivo cuja função principal é permitir ou impedir a passagem de pessoas, animais e objetos entre espaços ou ambientes. De acordo com a NBR 15930-2 (ABNT, 2011c) as dimensões das portas são padronizadas conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Medidas padronizadas para folhas de portas internas (segundo sua massa)

Dimensões das folhas das portas internas para padrões (mm)			
Descrição	Leve De 6 a 10 kg/m ²	Médio Acima de 10 a 20 kg/m ²	Pesado Acima de 20 a 30 kg/m ²
Altura	2100	2100	2100
			2400
Largura	600	600	600
	700	700	700
	800	800	800
	900	900	900
Espessura	35	35	40
		40	45

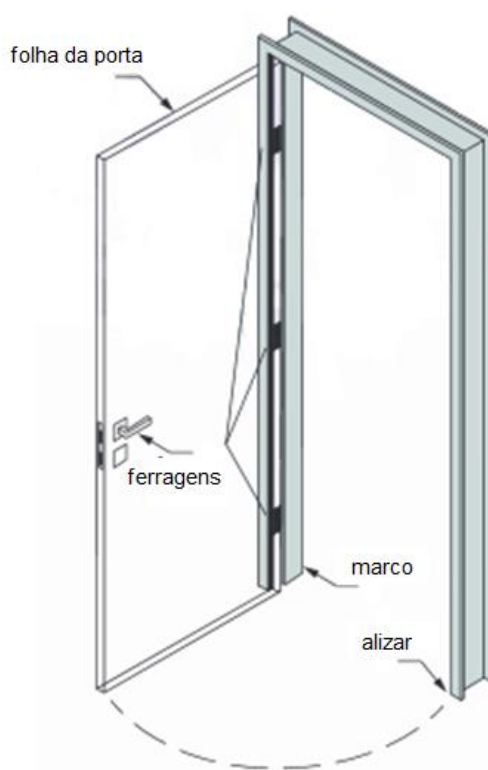
Fonte: Adaptada pela autora com base em ABNT (2011c).

2.6.1 Componentes de uma Porta

De acordo com a NBR 15930-1 (ABNT, 2011b), os principais componentes da porta são: folha da porta, marco, alizar e ferragens, conforme Figura 5.

- a) Folha da porta: Pannel ou parte móvel principal de uma porta;
- b) Marco: Componente ou parte fixa da porta designada a guarnecer o vão e sustentar a(s) folha(s) da porta. Também conhecido como caixa, caixão, aduela, batente, forra, forração, forramento ou portal;
- c) Alizar: Peça utilizada para cobrir a junta presente entre a parede e o marco, emoldurando o vão. Também conhecida como guarnição, vista, moldura ou cobre-junta.

Figura 5 - Componentes de uma porta



Fonte: Adaptada de ABNT (2011b).

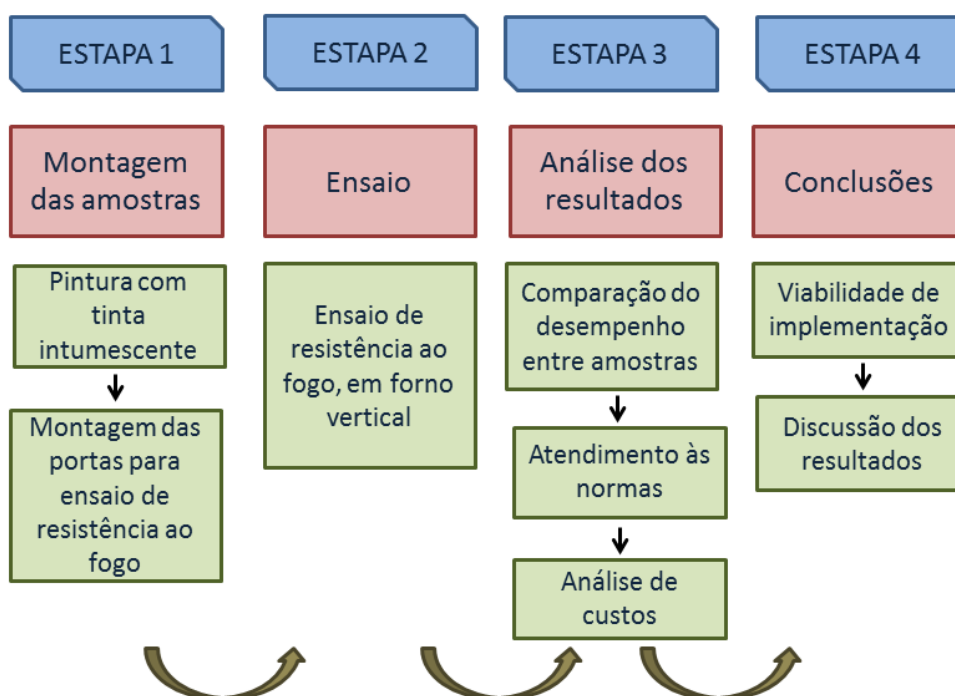
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi desenvolvido com intento de executar os objetivos, principal e específicos, estipulados.

3.1 ETAPAS DO EXPERIMENTO

O programa experimental foi elaborado em 4 etapas distintas de acordo com a necessidade de execução de cada etapa, conforme Figura 6.

Figura 6 - Programa experimental



Fonte: Elaborada pela autora.

Na etapa 1, foram preparadas as amostras para ensaio de resistência ao fogo, respeitando as orientações dos fabricantes dos materiais aplicados, bem como, as prescrições normativas. Na etapa 2, foi realizado ensaio de resistência ao fogo para as 4 portas. Na etapa 3, foi feito comparativo do desempenho entre as 4 portas; verificação do atendimento às normas para portas corta-fogo e análise de custos entre as amostras construídas e portas corta-fogo existentes no mercado. Por fim, na etapa 4 foi realizada discussão dos resultados e sobre a viabilidade de implementação no mercado.

3.2 MATERIAIS

Os materiais foram escolhidos e obtidos pela equipe envolvida no estudo e patrocinadores.

3.2.1 Portas de Madeira

Após reunião com o fornecedor, optou-se pela utilização de 4 portas de madeira do tipo semioca. As mesmas são idênticas para viabilizar a comparação dos resultados mediante acréscimo de diferentes materiais a um substrato comum, conforme Figura 7.

As portas são de madeira de Pinus, com acabamento liso e sem pintura, para oportunizar a aplicação dos materiais. As dimensões das folhas das portas são de (90 x 210) cm e 3,5 cm de espessura. Cabe salientar que os componentes de madeira que constituem cada porta (folha e marco) são da mesma espécie.

Figura 7 - Porta de madeira



Fonte: Registrada pela autora.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) descreve valores médios de caracterização sobre madeiras coníferas e de reflorestamento como pinus, aonde a massa específica aparente com 12% de umidade pode diferir entre 535 a 645 kg/m³ de acordo com a espécie de pinus. Já a NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) aborda alguns valores para madeira de pinus em relação à condutividade térmica (λ), calor específico (c) e densidade de massa aparente (ρ), conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Propriedades térmicas de alguns tipos de madeiras

Madeira	Densidade de massa aparente, ρ (kg/m ³)	Condutividade térmica, λ (W/(m.K))	Calor específico, c (kJ/(kg.K))
Carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34

Fonte: Adaptada pela autora com base em ABNT (2005a).

3.2.2 Placa de Gesso Resistente ao Fogo

A placa de gesso resistente ao fogo utilizada é da marca Knauf, possui coloração rosa, com dimensão de (120 x 240) cm e espessura de 1,25 cm, conforme Figura 8.

Figura 8 - Placas de gesso resistente ao fogo



Fonte: Registrada pela autora.

A Tabela 14 apresenta alguns dados técnicos com relação a características físicas da placa, segundo informações do fabricante.

Tabela 14 - Características físicas da placa de gesso resistente ao fogo

Propriedade	Valor
Densidade (kg/m ³)	640 - 960
Calor específico (J/kg.°K)	1000
Condutividade térmica λ (W/(m.V)) (UNE ENISO 10456)	0,21
Índice de propagação superficial da chama (IP)	Classe II A (IT 10/2011 CB)
Densidade ótica (Dm)	

Fonte: Adaptada pela autora com base em Kanauf (2018).

A placa de gesso resistente ao fogo foi utilizada como alizar na porta P3 e na proteção à folha da porta P2 em apenas um lado, sendo a junção feita por meio de parafusos. As amostras foram construídas para o ensaio de resistência ao fogo em forno vertical.

3.2.3 Lã de Politereftalato de Etileno (PET)

Optou-se pelo teste com placas de lã de politereftalato de etileno por conta de seu desempenho acústico e por tratar-se de material sustentável, fabricado a partir de garrafas recicladas. Segundo Nakamura (2014), além do apelo ecológico e facilidade de manuseios, a lã de politereftalato de etileno costuma não causar irritações ao entrar em contato com a pele, o que ocorre com as lãs de vidro e rocha.

Foram utilizadas 2 placas de lã (Figura 9), fabricadas pela empresa Planalto Têxtil, modelo soft therm, com coloração branca, dimensão de (90 x 210) cm e 5 cm de espessura e densidade média de 1500 g/m².

De acordo com o fabricante as placas são classificadas segundo a Instrução Técnica nº 11 (CBPMESP, 2018e) quanto à reação ao fogo em classe II-A.

Figura 9 - Placa de lã de politereftalato de etileno



Fonte: Registrada pela autora.

3.2.4 Chapa Metálica

A chapa metálica de aço utilizada para compor a estrutura final no teste com lã de politereftalato de etileno no ensaio de resistência ao fogo possui espessura de 1,3 mm. As dimensões foram ajustadas em (90 x 210) cm em virtude da folha da porta, conforme Figura 10.

Figura 10 - Chapa metálica



Fonte: Registrada pela autora.

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) os valores de condutividade térmica (λ), calor específico (c) e densidade de massa aparente (ρ), para metais como aço e ferro fundido, são de 55 W/m.K, 0,46 kJ/kg.K e 7800 kg/m³ respectivamente.

3.2.5 Parede de Alvenaria

Para execução do ensaio de resistência ao fogo em forno vertical definiu-se que a construção de paredes de alvenaria para instalação das portas seria a opção mais adequada, uma vez que, esse tipo de estrutura é modelo típico no fechamento e compartimentação de áreas em uma edificação. Paredes semelhantes a esta já foram testadas no instituto em que o ensaio foi realizado, sendo conhecido, portanto, que as paredes possuem uma resistência ao fogo superior à amostra ensaiada, não interferindo nos resultados obtidos.

3.2.6 Placas Cimentícias Brasilit

Para o ensaio de resistência ao fogo, foram utilizadas duas placas cimentícias da marca Brasilit, ambas com dimensões de (120 x 240) cm e espessuras de 10 e 12 mm, conforme Figura 11. A motivação pelo uso de placas com espessuras diferentes

ocorreu por conta da disponibilidade de material no instituto tecnológico itt Performance/UNISINOS.

Figura 11 - Placa cimentícia



Fonte: Registrada pela autora.

A Tabela 15 apresenta alguns dados técnicos com relação a características físicas da placa, segundo informações do fabricante.

Tabela 15 - Características físicas das placas cimentícias

Propriedade	Valores
Densidade ambiente	1,70 g/cm ³
Absorção máxima de água	30%
Resistência à flexão na condição ambiente (classe ISO A3)	8 MPa transversal 17 MPa longitudinal
Resistência à flexão na condição saturada (classe ISO B3)	5 MPa transversal 11 MPa longitudinal
Variação dimensional máxima (saturado/seco em estufa)	2,5 ± 0,2 mm/m
Condutibilidade térmica	0,35 W/mK
Reação ao fogo	Incombustível

Fonte: Adaptada pela autora com base em Brasilit [2018?].

3.2.7 Tinta Intumescente Industintas

Para o ensaio de resistência ao fogo das portas (P3) e (P4), foi utilizada tinta intumescente da marca Industintas, linha alta temperatura, antichamas brilhante branco (3305), conforme Figura 12.

No total foram utilizados dois galões de 3,6 L e diluente próprio para tinta. Segundo informações do fabricante a proteção pode ser aplicada em situação de uso interno ou externo, em substratos de madeira, concreto, alvenaria e chapas metálicas.

Figura 12 - Tinta intumescente e diluente



Fonte: Registrada pela autora.

A Tabela 16 apresenta algumas especificações técnicas em relação a características da tinta, segundo informações do fabricante.

Tabela 16 - Características da tinta

Propriedade	Valor
Rendimento teórico por demão	36,00 m ² /galão
Sólidos por volume	55%
Espessura recomendada por demão	úmida: 160 µm; seca: 100 µm
Espessura recomendada final (3 demão)	úmida: 480 µm; seca: 300 µm
Tipo de veículo	Resina alquídica modificada
Tipo de solvente	Hidrocarbonetos aromáticos
Tipo de pigmento	-
Ponto de fulgor	39° C
Cor	Branca
Aspecto do filme	Acetinado e Brilhante
Redutor	AL-1007
Limpeza do equipamento de pintura	AL-1007
Massa específica teórica	1,01 g/ml
Índice de propagação de chamas (Ip)	Classe C (NBR 9442)
Estocagem	12 meses
Indicações	Para revestimentos de porta, madeiras em geral, estruturas metálicas entre outros, que necessitem proteção passiva contra o fogo.

Fonte: Adaptada pela autora com base em Industintas [2018?].

3.2.8 Tiras Intumescentes

No ensaio de resistência ao fogo das portas P3 e P4 foram instaladas tiras intumescentes no interior do marco, contornando as bordas laterais e superior da folha. A tira utilizada foi a CKC-B1512-25S para vedação de portas e vãos, conforme Figura 13.

Figura 13 - Tira intumescente



Fonte: Registrada pela autora.

A tira intumescente foi utilizada com o intuito de evitar a passagem de fumaça pelas frestas da porta. As características da tira estão descritas na Tabela 17.

Tabela 17 - Características tira intumescente

Descrição do produto	Ref.	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comp. (m)	Adesivo dupla face	Resiste a 1000°C	Cor
Tira intumescente para portas	CKC-B1512-25S	1,5	12	25 (rolo)	Sim	Sim	Cinza Escuro (grafite)

Fonte: Adaptada pela autora com base em CKC (2018).

3.3 MÉTODO

3.3.1 Construção das Paredes de Alvenaria

Foram construídos segmentos de parede sobre o pórtico de ensaio, nas dimensões mínimas de (3,00 x 3,15) m e 0,20 m de espessura, pois, estimou-se que o ensaio de resistência ao fogo perdurasse por volta de 1 hora.

3.3.2 Instalação das Portas de Madeira na Alvenaria

De acordo com a NBR 6479 (ABNT, 1992) antes da instalação das amostras (portas de madeira), as mesmas foram condicionadas à temperatura dentro dos limites de (25 ± 10) °C e à umidade relativa dentro dos limites de 50% ($\pm 10\%$).

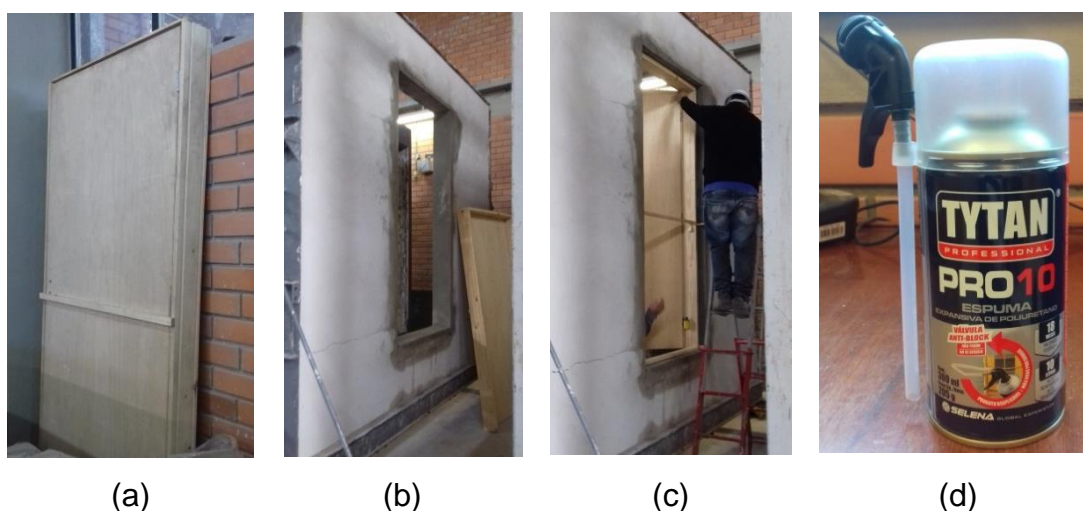
A instalação das portas foi feita de acordo com as instruções e limites para folga estipulados conforme a NBR 15930-2 (ABNT, 2011c), com o marco da porta faceando a superfície não exposta da parede de ensaio conforme descreve a NBR 6479 (ABNT, 1992).

3.3.2.1 Etapas de Instalação

A primeira etapa para instalação de cada porta (Figura 14a) consistiu-se na conferência das dimensões do vão na parede (Figuras 14b e 14c), em conformidade com as dimensões previstas, seguiu-se para etapa posterior.

Com auxílio de prumo e cunhas de madeira, as portas foram posicionadas no vão e receberam aplicação de espuma expansiva (Figura 14d) para fixação e preenchimento entre o marco e a parede.

Figura 14 - Instalação das portas nas paredes de alvenaria



Fonte: Registrada pela autora.

3.3.3 Montagem das Amostras junto às Portas de Madeira

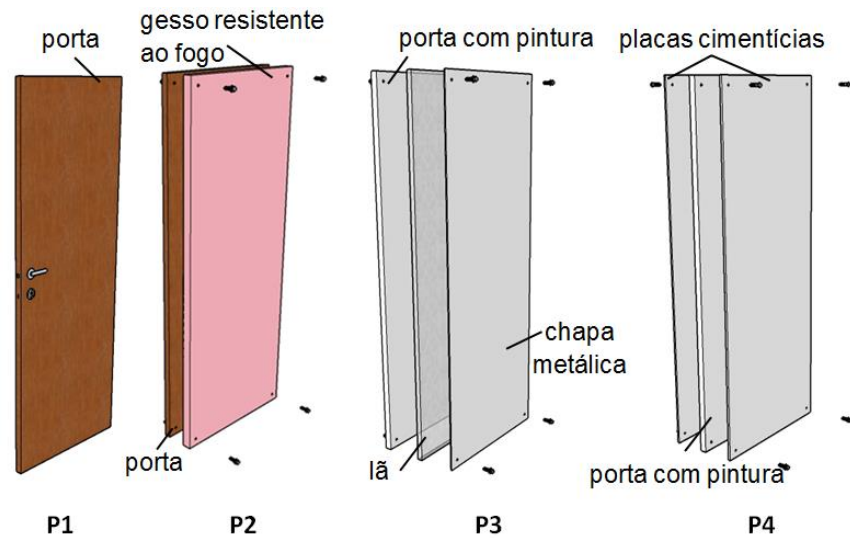
Após a instalação das portas de madeira na parede de alvenaria foi realizado procedimento de montagem das amostras com os demais materiais. Para identificação foi utilizada nomenclatura conforme Tabela 18 e Figura 15.

Tabela 18 - Identificação corpos de prova

Identificação	Composição/montagem
P1	- Porta de madeira.
P2	- Porta de madeira. - Placa de gesso resistente ao fogo em um lado da folha da porta.
P3	- Porta de madeira com pintura intumescente em todos os elementos; - Placa de lã de politereftalato de etileno em um lado da folha da porta; - Chapa metálica com pintura intumescente em um lado da folha da porta; - Tira intumescente posicionada no interior do marco, próxima ao lado da folha que é exposto diretamente às chamas.
P4	- Porta de madeira com pintura intumescente em todos os elementos; - Placa cimentícia de 12 mm com pintura intumescente, posicionada no lado da folha que é exposto diretamente as chamas; - Placa cimentícia de 10 mm com pintura intumescente, posicionada no lado da folha contrário à exposição das chamas; - Tira intumescente posicionada no interior do marco, próxima ao lado da folha que é exposto diretamente às chamas.

Fonte: Elaborada pela autora

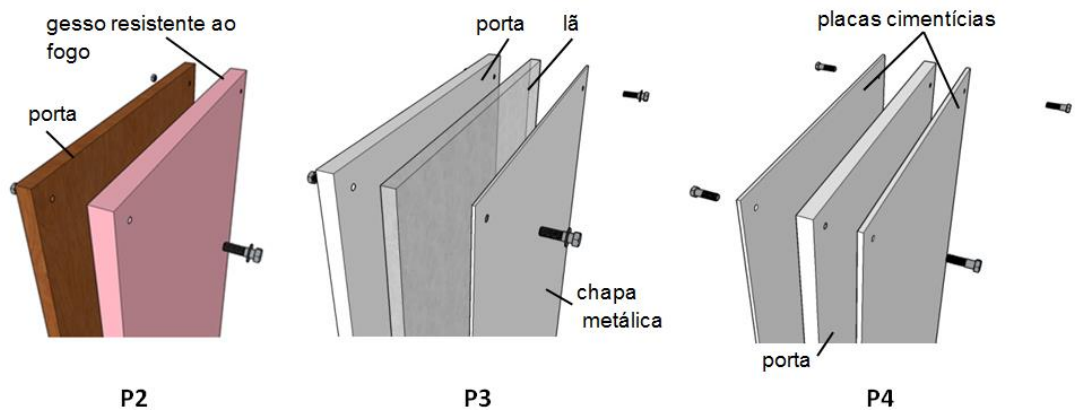
Figura 15 - Identificação amostras



Fonte: Elaborada pela autora.

A união dos materiais às portas de madeira foi feita com parafusos, arruelas e porcas, conforme Figura 16.

Figura 16 - Detalhe montagem amostras

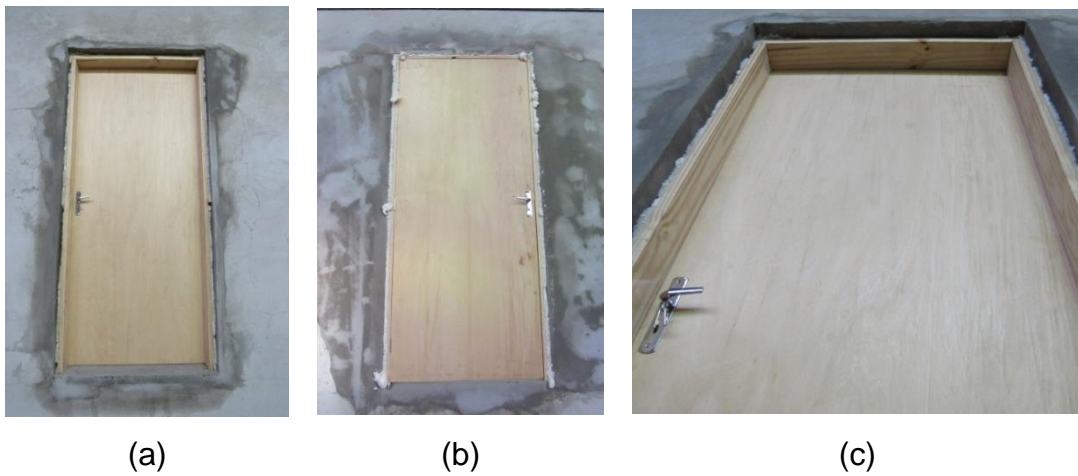


Fonte: Elaborada pela autora.

3.3.3.1 Montagem da Porta P1

Após a etapa de instalação da porta P1 na parede (Figuras 17a e 17b), aguardou-se um dia para secagem da espuma expansiva e posteriormente foi feita retirada dos excessos, conforme Figura 17c.

Figura 17 - Montagem da porta P1

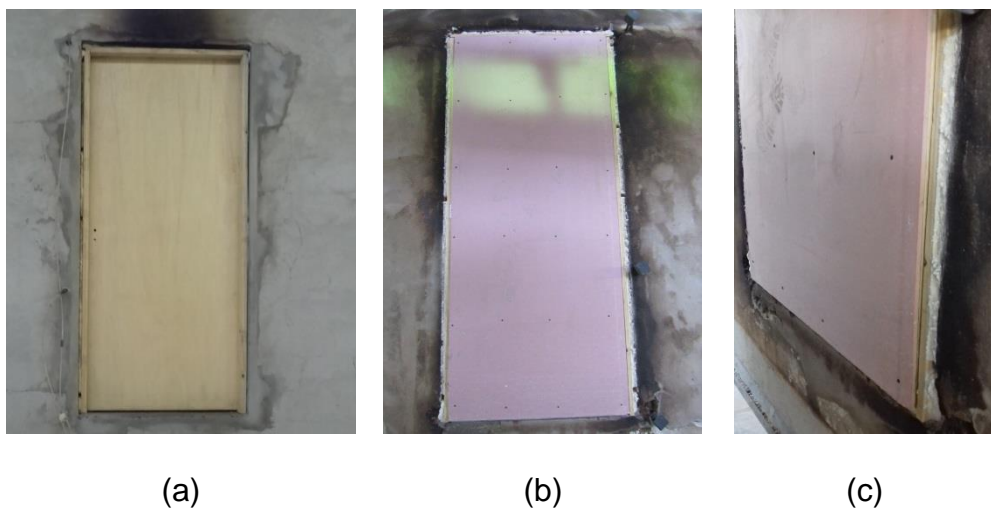


Fonte: Registrada pela autora.

3.3.3.2 Montagem da Porta P2

O processo de montagem da porta P2 seguiu os mesmos procedimentos descritos na porta P1 (Figura 18a), com acréscimo de uma placa de gesso resistente ao fogo no lado da folha com exposição direta às chamas (Figura 18b). A placa foi medida e cortada, nas dimensões de (90 x 210) cm, sendo parafusada junto à folha de madeira, conforme Figura 18c.

Figura 18 - Montagem da porta P2

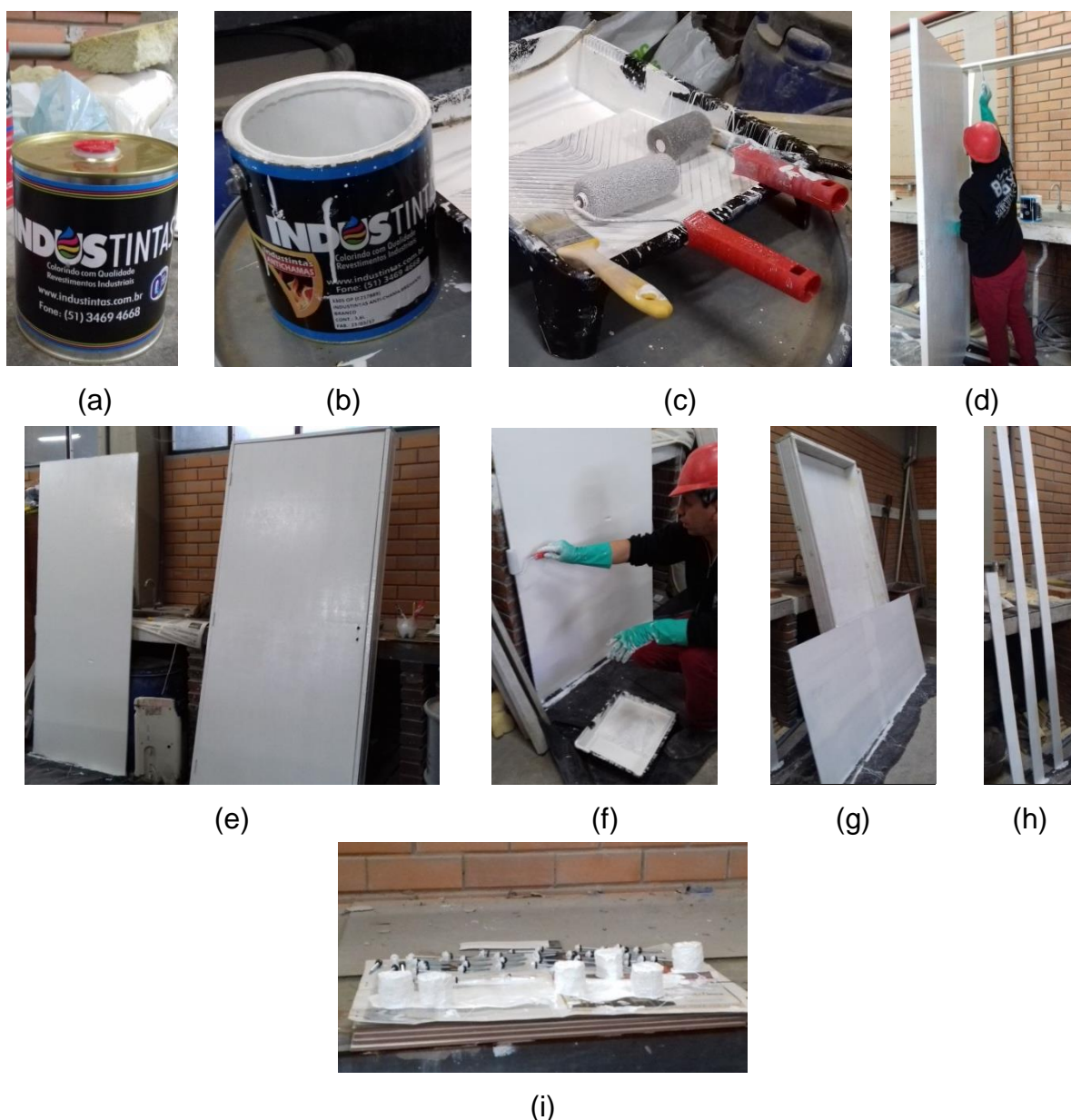


Fonte: Registrada pela autora.

3.3.3.3 Montagem da Porta P3

Antes de proceder com a montagem das portas P3 e P4 no segmento de parede, foi realizada pintura intumescente dos elementos, utilizando diluente (Figura 19a), tinta (Figura 19b), rolo e pincel (Figura 19c). Os elementos que receberam pintura foram: As duas portas (marco, folha e dobradiças), conforme (Figuras 19d e 19e), placas cimentícias (Figura 19f), chapa metálica (Figura 19g), alizares (Figura 19h) feitos com placa cimentícia para porta P4 e parafusos (Figura 19i).

Figura 19 - Pintura dos materiais que compõem as portas P3 e P4



Fonte: Registrada pela autora.

Todos os materiais receberam três demãos de tinta, com intervalo de 24 horas entre cada demão, por recomendação do fabricante, conforme Tabela 19.

Tabela 19 - Sequência de demãos de tinta intumescente

Demão	Data	Horário
1ª demão	08/08/2018	14h
2ª demão	09/08/2018	14h
3ª demão	10/08/2018	14h

Fonte: Elaborada pela autora.

A montagem da porta P3 iniciou com a instalação da mesma, já com pintura, no vão da parede de alvenaria e aplicação de espuma expansiva (Figura 20a) . Em seguida, após o tempo de secagem da espuma, foram feitos furos na chapa metálica para marcação e distribuição dos parafusos (Figuras 20b e 20c). A placa de lã de politereftalato de etileno foi parafusada junto a chapa metálica a fim de evitar o deslocamento entre ambas na etapa posterior (Figuras 20d e 20e).

A junção entre a chapa metálica, lã e folha de madeira, foi feita por meio de parafusos com cerca de 8 cm de comprimento, que transpassaram a folha e foram fixados com auxílio de arruelas e porcas (Figura 20f, 20g e 20h). Para proteger as bordas da lã, foram parafusados perfis metálicos de canto em todo perímetro da porta (Figuras 20i e 20j).

Na proteção do marco, foram cortadas tiras de gesso resistente ao fogo e instaladas como alizares (Figura 20k). Por fim, foi fixada a tira intumescente no interior do marco (Figura 20l), próximo ao lado da folha exposta diretamente às chamas, em virtude da largura da tira, optou-se por sua colocação dupla (lado a lado).

Figura 20 - Montagem da porta P3



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

Fonte: Registrada pela autora.

3.3.3.4 Montagem da Porta P4

A montagem da porta P4 assim como as demais iniciou com instalação da porta (com pintura) no vão da parede de alvenaria e preenchimento das bordas com espuma expansiva. Transcorrido o tempo de secagem da espuma, os excessos foram removidos (Figura 21a) e iniciou-se a etapa de fixação das placas cimentícias junto à folha da porta (Figuras 21b e 21c). Por conta das dobradiças da porta, foram realizados ajustes na placa cimentícia conforme Figura 21d.

Para promover a proteção do marco, foram parafusadas tiras de placa cimentícia em forma de alizar, com adição de pintura intumescente (Figuras 21e, 21f, 21g e 21h). Por fim, foi fixada tira intumescente no interior do marco (Figura 21i), próximo ao lado da folha exposta diretamente às chamas, em virtude da largura da tira, optou-se por sua colocação dupla (lado a lado).

As placas possuem espessuras distintas de 10 mm e 12 mm. Optou-se pela instalação da placa mais espessa no lado da folha em contato direto com as chamas, pois, estima-se que desta forma o tempo para que o fogo entre em contato com a folha da porta seja maior do que utilizando a placa de 10 mm.

Figura 21 - Montagem porta P4



Fonte: Registrada pela autora.

3.3.4 Ensaio de Resistência ao Fogo em Portas e Vedadores

O ensaio de resistência ao fogo para portas e vedadores foi realizado de acordo com a NBR 6479 (ABNT, 1992).

3.3.4.1 Equipamentos

Para realização do ensaio foram utilizados os equipamentos definidos pela NBR 6479 (ABNT, 1992):

- a) Forno;
- b) Termopares: utilizados para medir a temperatura interna do forno e a da superfície não exposta ao fogo do corpo de prova. Os fios dos termopares localizados no interior do forno devem ter diâmetros entre (0,7 e 3,2) mm, enquanto os da face não exposta até 0,7 mm;
- c) Pirômetros: dispositivos utilizados junto aos termopares para medir a temperatura interna do forno e a superfície não exposta ao fogo do corpo de prova, sendo que, o interno deve operar na faixa de 400 °C a 1200 °C e o de superfície de 0 °C a 300 °C;
- d) Dispositivos de tomada de pressão: tubos de aço com diâmetro interno igual a 13 mm;
- e) Manômetro Diferencial: responsável pela leitura de pressão, que deve variar entre - 10 Pa e + 20 Pa, com resolução mínima de 2 Pa. Acoplado aos dispositivos responsáveis pela tomada de pressão;
- f) Anemômetro: dispositivo para medir a velocidade do ar, de 0 m/s a 2 m/s.
- g)

O forno vertical utilizado para execução do ensaio é retratado conforme Figura 22a e o painel de comando na Figura 22b.

Figura 22 - Forno vertical e painel de comando



(a)

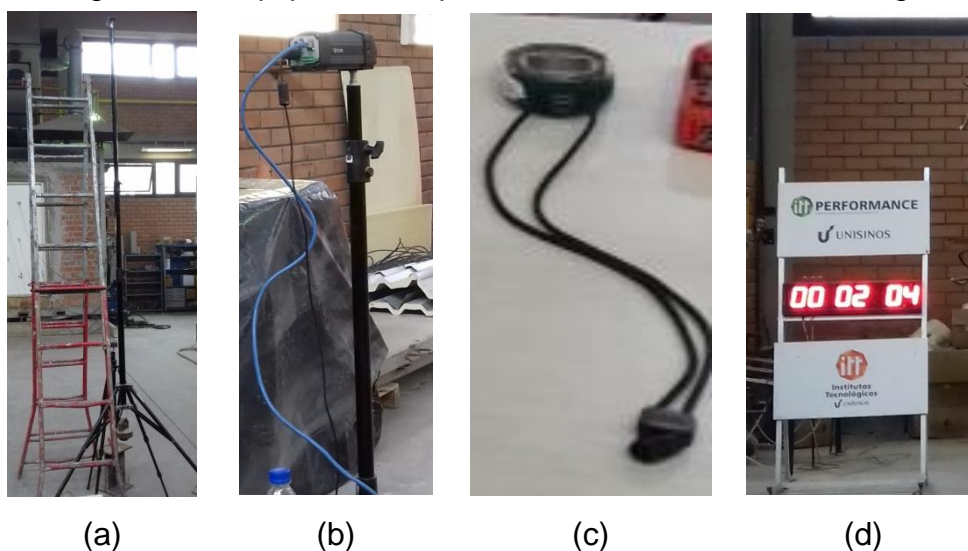


(b)

Fonte: Registrada pela autora.

Além dos equipamentos prescritos pela norma, outros complementares foram utilizados a fim de auxiliar no registro de dados durante a execução do ensaio, como: Trena laser (Figura 23a), câmera termográfica (Figura 23b), cronômetro (Figura 23c) e painel digital para acompanhar o tempo de ensaio (Figura 23d).

Figura 23 - Equipamentos para ensaio de resistência ao fogo



Fonte: Registrada pela autora.

A temperatura para execução do ensaio respeitou a curva padrão conforme ISSO 834.

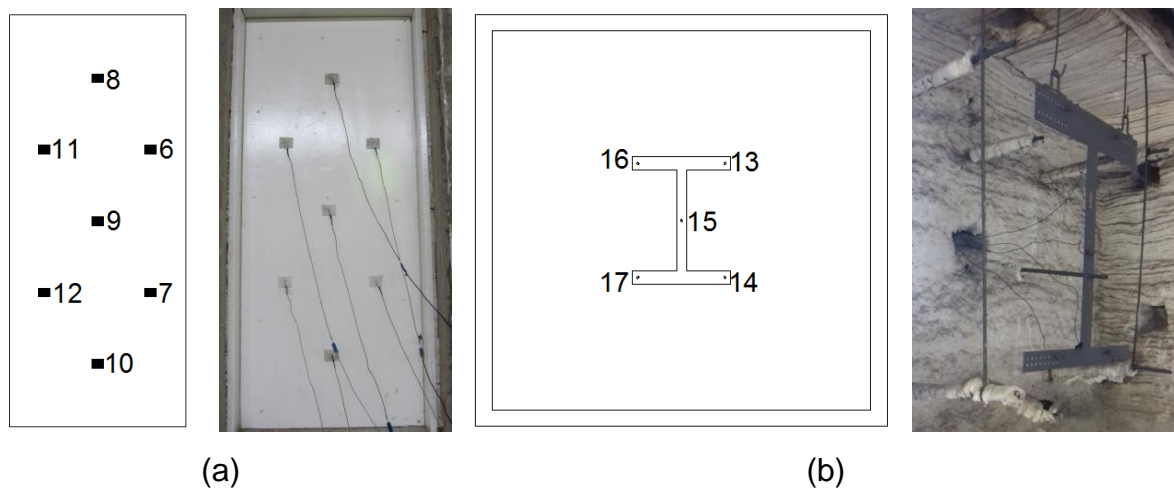
3.3.4.2 Procedimento de Ensaio

A temperatura ambiente no início do ensaio foi verificada, devendo estar entre (10 e 40) °C, no transcorrer do mesmo, se prosseguiu registrando-a com exatidão de ao menos $\pm 1,5\%$ em intervalos que não excederam 5 min. A velocidade do ar, antes do início e durante o ensaio, também foi verificada a uma distância de 5 cm do corpo de prova, devendo a mesma ser inferior a 1,3 m/s, conforme NBR 6479 (ABNT, 1992).

Ainda de acordo com a NBR 6479 (ABNT, 1992), o número mínimo de termopares que devem ser instalados é de 5, sendo um posicionado em frente ao centro geométrico do corpo de prova e os demais em frente aos vértices do corpo de prova. Os termopares não devem ser posicionados onde se localizam as ferragens, sequer, a distâncias de 30 cm e 15 cm, respectivamente, das bordas horizontais e verticais das portas. No ensaio de cada porta, foram instalados 7 termopares externos

(sem contato com as chamas) e 5 internos, numerados conforme Figuras 24a e 24b, respectivamente.

Figura 24 - Instalação dos termopares externos e internos



Fonte: Registrada pela autora.

No decorrer do ensaio foram realizadas as verificações a seguir:

- O isolamento térmico por meio do aumento de temperatura na face não exposta do corpo de prova;
- A estanqueidade por meio de um chumaço de algodão posicionado a uma distância entre 2 e 3 cm do corpo de prova, durante intervalos regulares de 20 s;
- A resistência mecânica foi registrada no instante em que ocorreu a destruição total ou parcial do corpo de prova, para tal, as deformações foram medidas durante o ensaio;
- Quaisquer mudanças ou eventos observados no transcorrer do ensaio que pudessem causar riscos, como a emissão de fumaça, foram registrados.

3.3.5 Avaliação de Custos

Para realizar a comparação de custos, entre as amostras construídas e as portas corta-fogo existentes no mercado, foram solicitados orçamentos para três empresas distintas.

Neste trabalho as portas foram executadas sem a instalação de fechadura e dobradiças especiais para situação de incêndio, contudo em pesquisa realizada em sites de compra, constatou-se que as mesmas acarretariam um custo adicional em cerca de R\$ 149,90 e R\$ 81,00, respectivamente.

3.3.6 Análise da Proposição de Medida Compensatória

Conforme a Instrução Técnica nº 43 (CBPMESP, 2018f) e a Norma Técnica nº 41 (CBMGO, 2017), é aceita a instalação de portas corta-fogo nas unidades autônomas, para adaptação de escadas não enclausuradas, desde que classificadas como portas corta-fogo P30, ou seja, resistam no mínimo há 30 minutos ao fogo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão discutidos os resultados dos ensaios propostos no programa experimental.

4.1 RESISTÊNCIA AO FOGO EM PORTAS E VEDADORES

O ensaio de resistência ao fogo foi realizado para as 4 portas, atendendo as instruções de execução definidas pela NBR 6479 (ABNT, 1992). As tabelas com os valores registrados quanto a temperatura interna do forno, e temperatura dos termopares internos e externos estão acreditados, respectivamente, nos apêndices A, B e C.

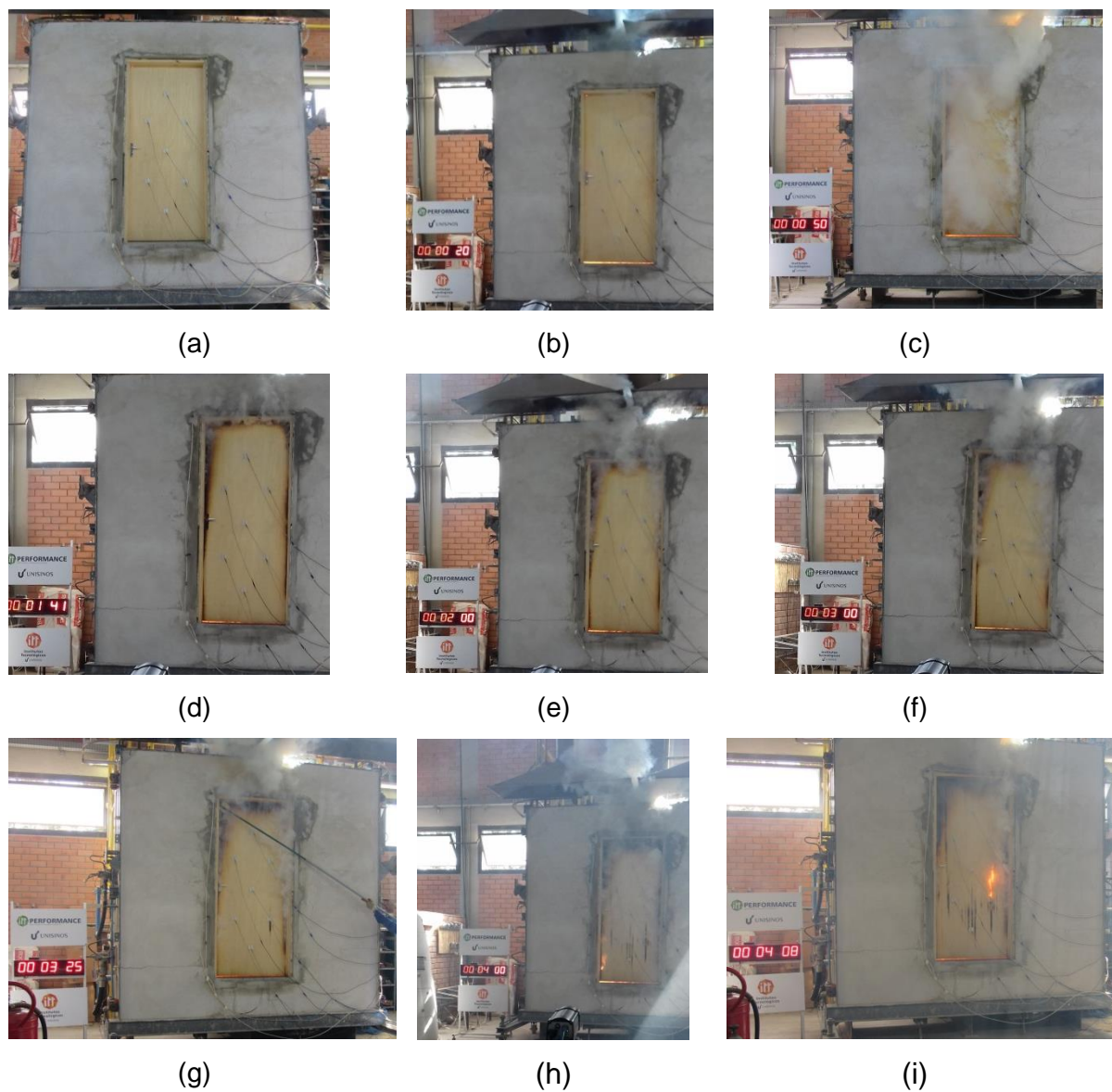
4.1.1 Porta P1

Na primeira etapa do ensaio a parede de alvenaria, já com a porta P1 instalada, foi acoplada junto ao forno (Figura 25a). Em seguida, os sensores de temperatura internos e externos foram dispostos de acordo com a numeração apresentada no procedimento de ensaio.

A temperatura do ambiente registrada no início do ensaio foi de 16,4°C, atendendo ao intervalo previsto pela NBR 6479 (ABNT, 1992) entre (10 e 40)°C.

Aos 20 segundos decorridos do início do ensaio (Figura 25b), foi verificada a incidência de fumaça que progrediu de forma intensa nos segundos subsequentes, (Figura 25c). Com 1 minuto e 41 segundos as bordas da folha começaram a apresentar coloração escura, estalos de madeira queimando (Figura 25d). Em 2 minutos os estalos se intensificaram (Figura 25e) e em 3 minutos houve chamejamento na parte inferior com duração menor a 10 segundos (Figura 25f). Com 3 minutos e 25 segundos de ensaio, foi realizado teste de estanqueidade sem inflamação do chumaço de algodão (Figura 25g). Aos 4 minutos o ensaio foi encerrado em virtude da inflamação da porta (Figura 25h). Em 4 minutos e 8 segundos (Figura 25i), foram registradas labaredas partindo da porta e formação de fissuras verticais.

Figura 25 - Sequência de ensaio da porta P1



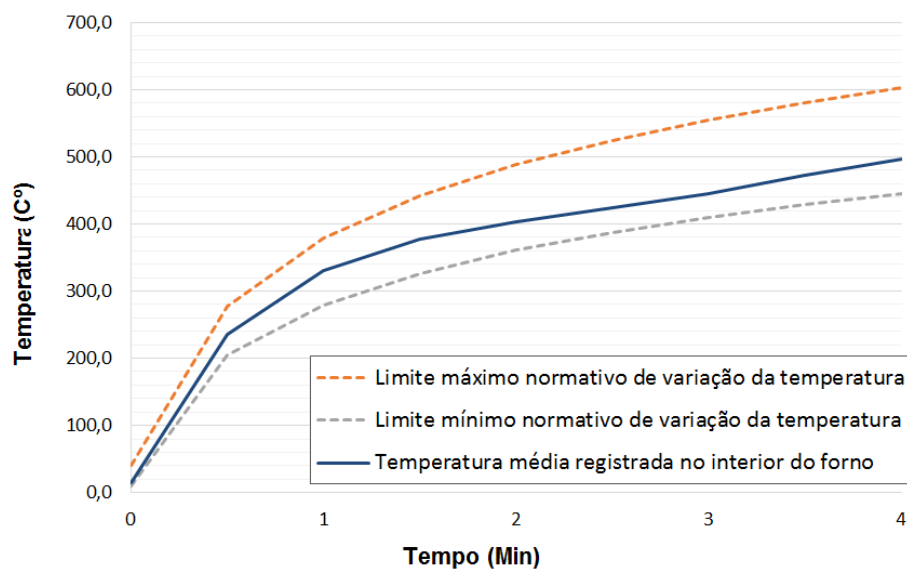
Fonte: Registrada pela autora.

O cálculo da curva padrão foi realizado conforme padrão ISO 834. De posse destes valores e considerando que o ensaio teve duração inferior a 10 minutos, foi utilizado o desvio padrão de 15% e temperaturas iniciais de 10°C e 40°C, mínima e máxima respectivamente, conforme a NBR 6479 (ABNT, 1992).

A temperatura média registrada no interior do forno foi medida pelo sistema operacional do mesmo.

A Figura 26 ilustra a curva realizada em função da temperatura média registrada no interior do forno e limites de variação, durante o período de ensaio, atendendo aos limites máximo e mínimo normativos.

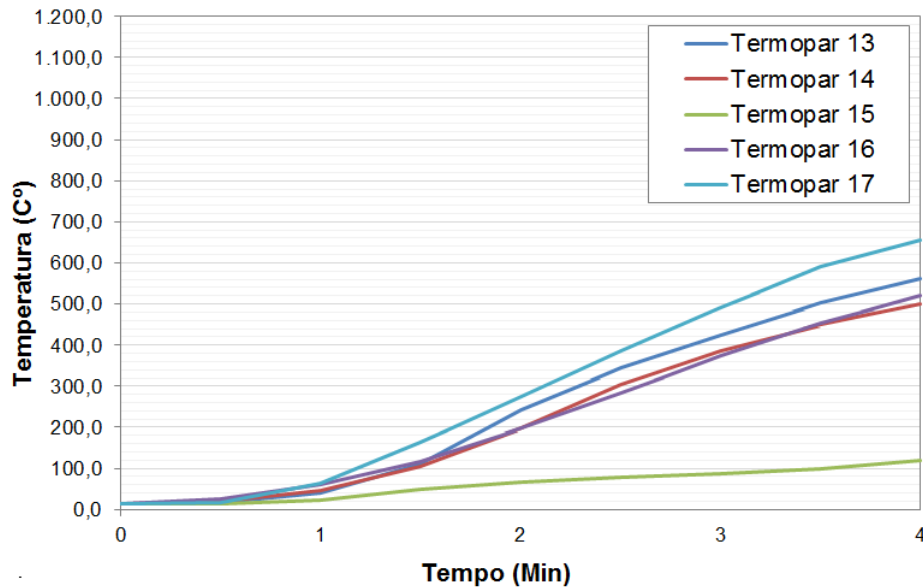
Figura 26 - Temperatura média no interior do forno da porta P1



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 27 ilustra os valores de temperatura dos termopares internos, onde se verifica que, com exceção do termopar 15 os demais apresentaram comportamento crescente semelhante, sendo que o termopar 17 atingiu maiores temperaturas chegando a 694,7°C aos 4 minutos. O termopar 15 (localizado ao centro da amostra) era o termopar mais afastado das bordas da amostra, conseqüentemente, a incidência de oxigênio sobre o mesmo por meios das frestas foi menor.

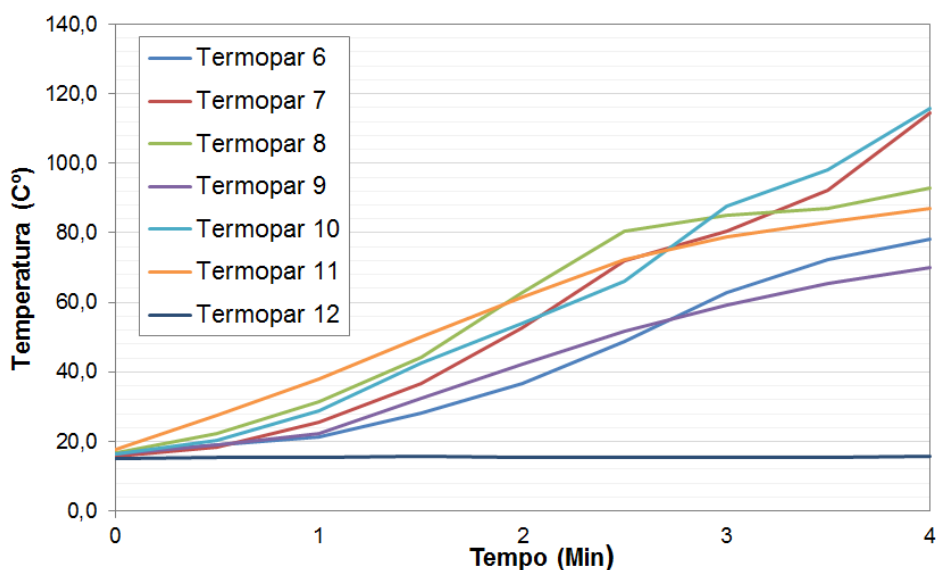
Figura 27 - Temperatura dos termopares internos da porta P1



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 28 ilustra os valores de temperatura dos termopares externos, aonde se verifica que a temperatura dos termopares até por volta de 2 minutos evoluiu de forma constante, com exceção do termopar 12 que não apresentou variações de temperatura consideráveis. Enquanto os termopares 7 e 10 (localizados na parte direita e central inferior da amostra, respectivamente) atingiram temperaturas mais elevadas de 114,48°C e 115,91°C aos 4 minutos.

Figura 28 - Temperatura dos termopares externos da porta P1



Fonte: Elaborada pela autora.

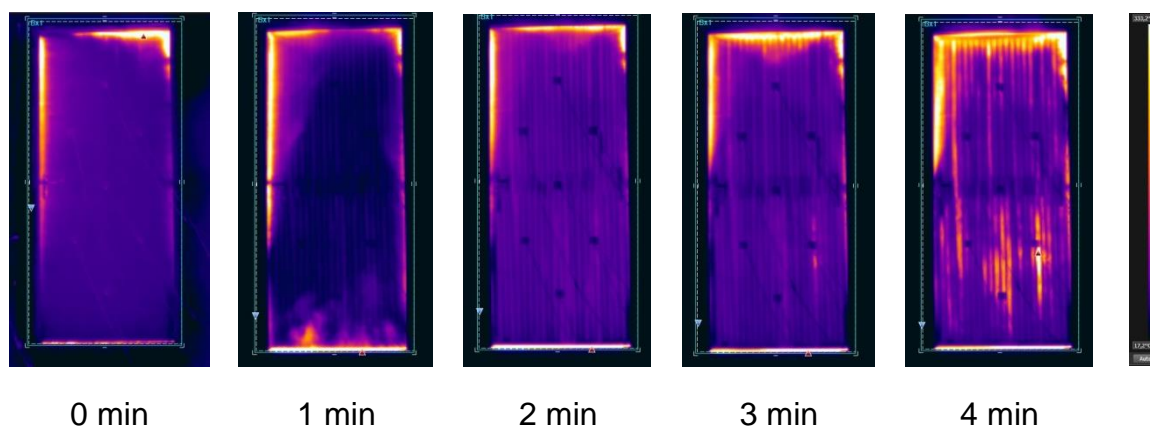
4.1.1.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P1

Durante a realização do ensaio, por recomendação da NBR 6479 (ABNT, 1992), foram registrados critérios de resistência ao fogo, como isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica.

Para avaliar os quesitos relacionados ao isolamento térmico, verificado pelo aumento de temperatura na face não exposta, foi realizada média das temperaturas dos termopares externos. Conforme Figura 29, é possível verificar que a temperatura atingiu valores mais elevados na parte superior da amostra, mais precisamente na borda superior e laterais.

Por tratar-se de porta semioca, ou seja, com existência de material de enchimento dentro da folha, pode ter ocorrido influência destes materiais na dissipação de calor da amostra.

Figura 29 - Registro câmera termográfica da porta P1



Fonte: Registrada pela autora.

A estanqueidade em relação a chamas e gases quentes foi verificada por meio da inflamação de um chumaço de algodão, o mesmo foi posicionado junto a face não exposta em intervalos regulares. Na porta P1 o teste de estanqueidade foi realizado com 3 minutos e 25 segundos de ensaio, sem a inflamação do chumaço. Já aos 4 minutos foi registrada inflamação da porta, o que indicou a reprovação no quesito de estanqueidade.

Para avaliar a resistência mecânica, foi observada destruição total ou parcial das amostras, bem como deformações que comprometessem os mecanismos de sustentação e fechamento. Os deslocamentos foram registrados com trena laser,

contudo, a forte incidência de fumaça não possibilitou algumas leituras na parte superior da amostra, conforme Tabela 20. O maior deslocamento de 47mm foi registrado na parte superior da amostra.

Tabela 20 - Deslocamentos da porta P1

Tempo (min)	Deslocamento ponto inferior (mm)	Deslocamento ponto superior (mm)
0	0,00	0,00
1	12,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
2	- 1,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
3	- 3,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
4	- 12,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
Pós ensaio	- 47,00	- 46,00

Fonte: Elaborada pela autora.

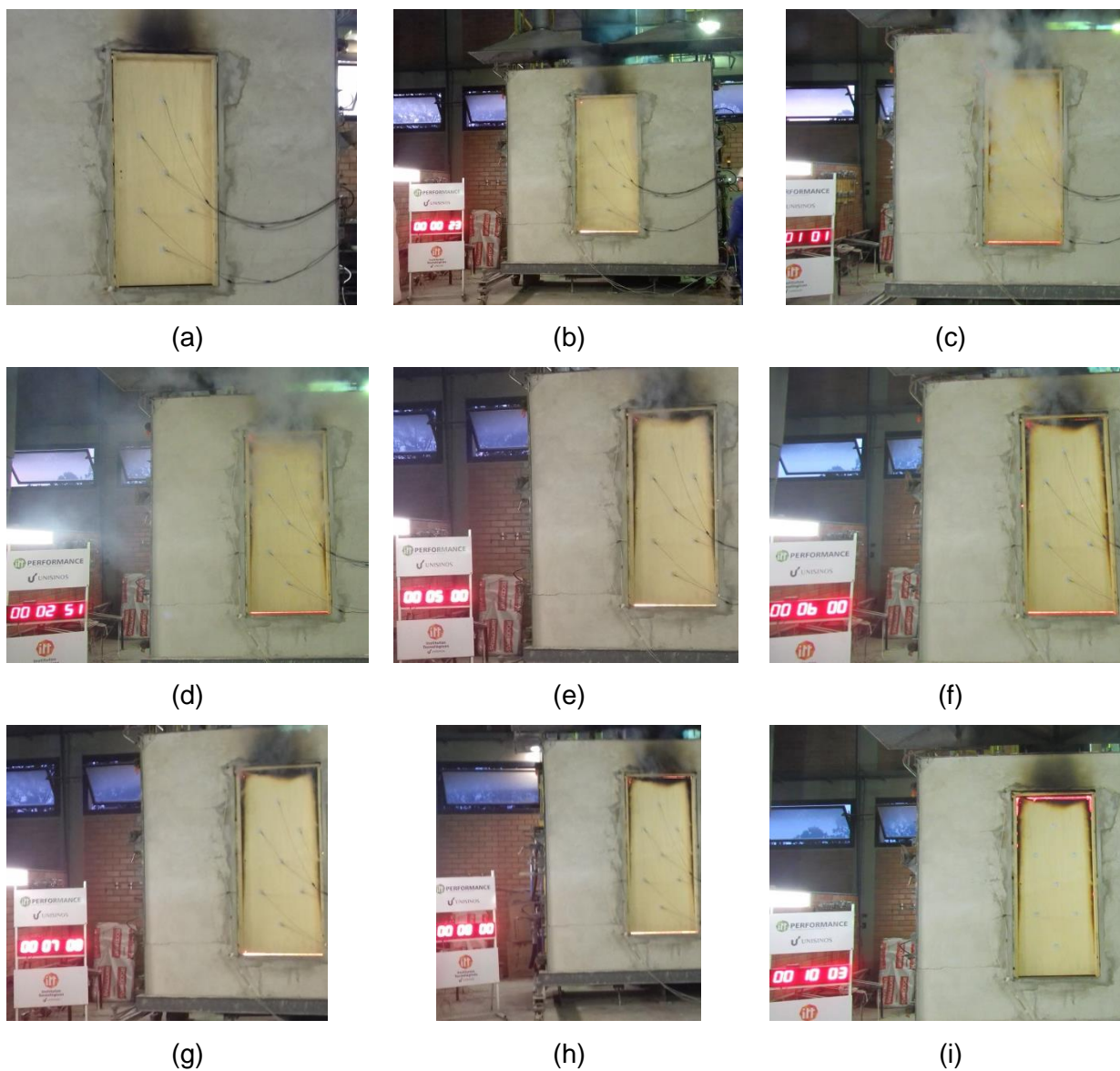
4.1.2 Porta P2

O ensaio de resistência ao fogo da porta P2 seguiu os mesmos procedimentos de instalação que a porta P1. A parede foi acoplada ao forno e os termopares e equipamentos de registro posicionados (Figura 30a).

A temperatura ambiente registrada no início do ensaio foi de 25,2 °C, atendendo ao intervalo previsto pela NBR 6479 (ABNT, 1992) entre (10 e 40) °C.

Aos 11 segundos decorridos do início do ensaio observou-se a incidência de fumaça, a Figura 30b ilustra esta ocorrência aos 23 segundos, já por volta de 1 minuto a fumaça se intensificou (Figura 30c). Em 2 minutos houve princípios de chamuscamento nas bordas da porta (Figura 30d), já aos 5 minutos foi registrado chamejamento superior direito menor do que 10 segundos (Figura 30e). Aos 6 minutos foi realizado teste de estanqueidade, não apresentando inflamação do chumaço de algodão (Figura 30f). Por volta de 7 minutos, ocorreu chamejamento superior direito e esquerdo menor do que 10 segundos (Figura 30g). Por fim, transcorridos 8 minutos do início do ensaio o chamejamento detectado foi acima de 10 segundos, o que determinou o fim do ensaio (Figura 30h). A Figura 30i, ilustra a amostra decorridos 10 minutos e 3 segundos.

Figura 30 - Sequência de ensaio da porta P2



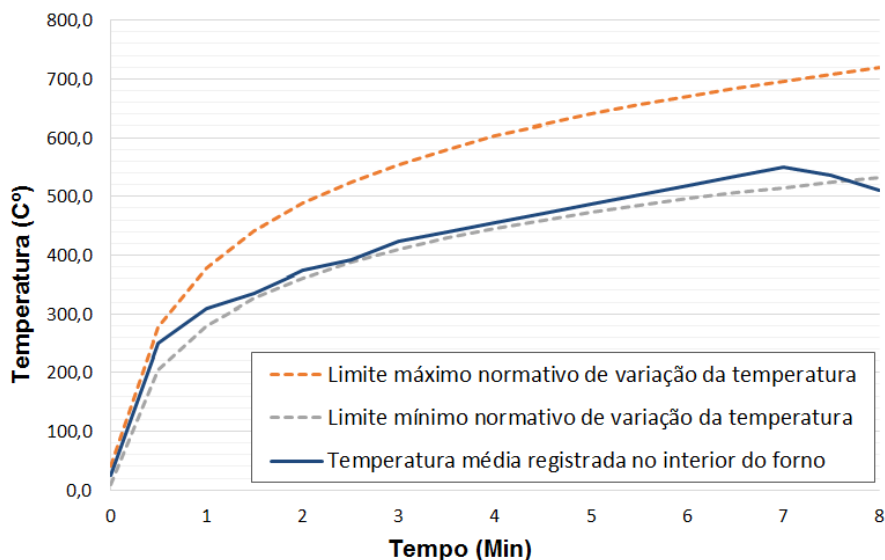
Fonte: Registrada pela autora.

O cálculo da curva padrão para porta P2 respeitou os mesmos critérios adotados para porta P1, considerando a duração do ensaio inferior a 10 minutos, desvio padrão de 15% e temperaturas iniciais de 10 °C e 40 °C, mínima e máxima respectivamente, conforme a NBR 6479 (ABNT, 1992).

A temperatura média registrada no interior do forno foi medida pelo sistema operacional do mesmo.

A Figura 31 ilustra a curva realizada em função da temperatura média registrada no interior do forno e limites de variação, durante o período de ensaio da porta P2.

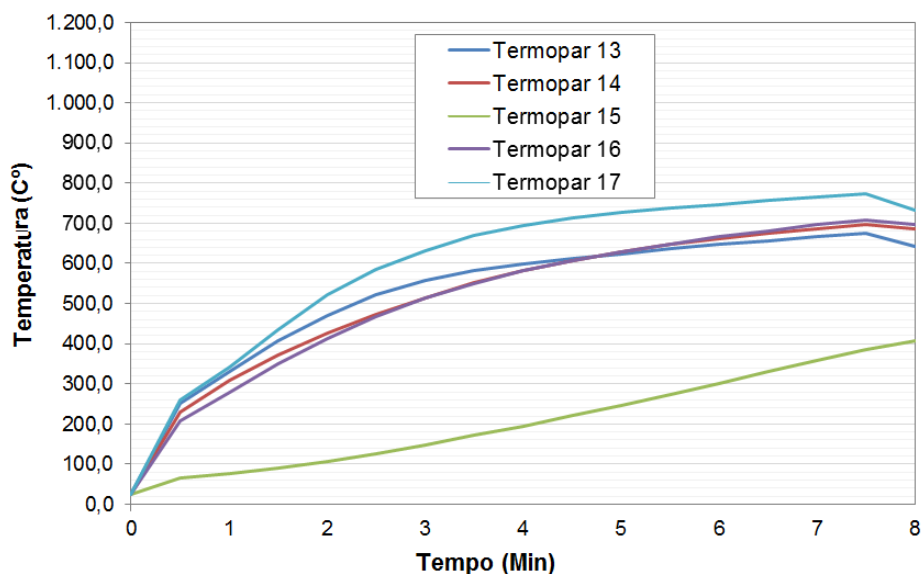
Figura 31 - Temperatura média no interior do forno da porta P2



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 32 ilustra os valores de temperatura dos termopares internos da porta P2. Verifica-se que os termopares apresentaram comportamento similar de crescimento de temperatura com exceção do termopar 15. A maior temperatura registrada em 8 minutos decorrido do ensaio foi a do termopar 17 de 731,96 °C.

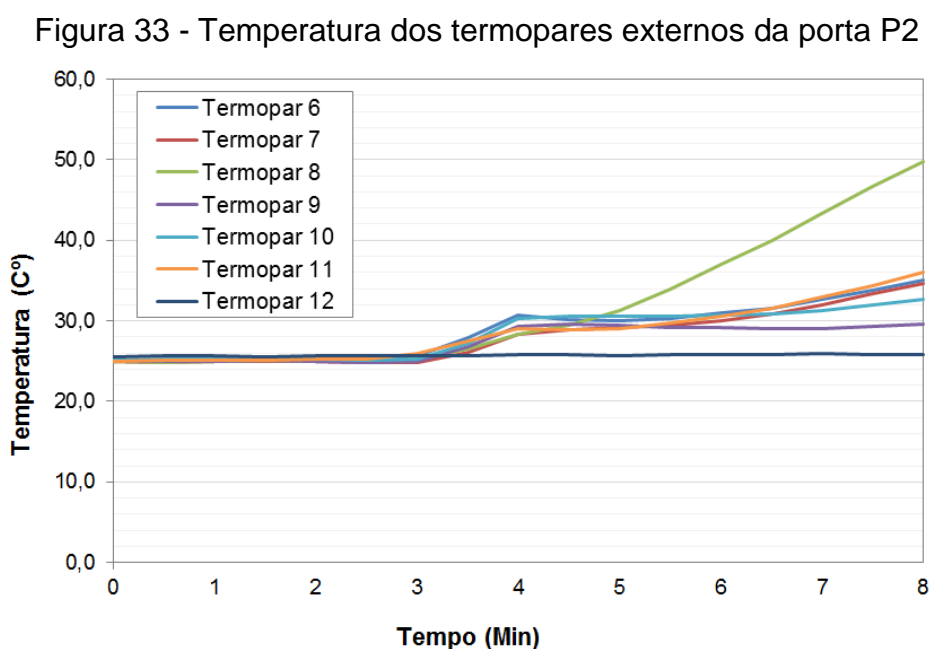
Figura 32 - Temperatura dos termopares internos da porta P2



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 33 ilustra os valores de temperatura dos termopares externos da porta P2. Verifica-se que até por volta dos 3 minutos as temperaturas dos termopares não sofreram variações significativas, ficando entre 24°C e 25°C, semelhante a temperatura ambiente registrada no início do ensaio de 25,2°C. Tal fato pode ter ocorrido em decorrência do material gesso que constitui a placa, uma vez que, conforme abordagem na revisão bibliográfica, 20% do peso é composto por água.

A maior temperatura registrada no período de ocorrência do ensaio foi a do termopar 8, 49,81°C.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.2.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P2

Da mesma forma que a porta P1, por recomendação da NBR 6479 (ABNT, 1992), foram registrados critérios de resistência ao fogo, como isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica.

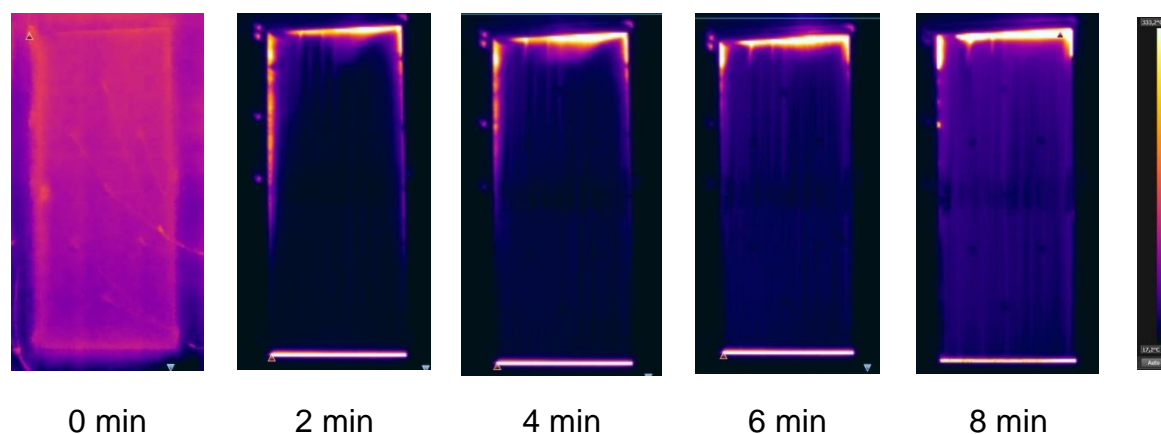
O isolamento térmico, verificado pelo aumento de temperatura na face não exposta, foi registrado por meio de média das temperaturas dos termopares externos. Além disso, para ilustrar a ação da temperatura na amostra foi utilizada câmera termográfica conforme Figura 34.

Pode-se observar que a temperatura atuou de forma mais intensa na parte superior da amostra. A ausência de alizares, uma vez que a placa de gesso foi

utilizada somente para proteger a folha, pode ter contribuído para que as chamas atingissem o marco na borda superior da porta, mais rapidamente.

Nota-se que em relação a amostra anterior o tempo de resistência ao fogo dobrou.

Figura 34 - Registro câmera termográfica porta P2



Fonte: Registrada pela autora.

Assim como na porta P1, a estanqueidade em relação a chamas e gases quentes foi verificada por meio da inflamação de um chumaço de algodão, o mesmo foi posicionado junto à face não exposta em intervalos regulares. Na porta P2 foi detectado chamejamento superior com 5 e 7 minutos de ensaio, o teste de estanqueidade foi realizado aos 6 minutos, sem a inflamação do chumaço. Já aos 8 minutos foi registrado chamejamento acima de 10 segundos, o que indicou a reprovação no quesito de estanqueidade.

Para avaliar a resistência mecânica, os deslocamentos foram registrados com trena laser conforme Tabela 21. Em alguns minutos não foi possível medir o deslocamento no ponto mais alto da porta, em virtude da alta concentração de fumaça. O maior deslocamento foi registrado na parte superior da amostra onde foram registrados os maiores valores de temperatura.

Tabela 21 - Deslocamentos porta P2

Tempo (min)	Deslocamento ponto inferior (mm)	Deslocamento ponto superior (mm)
0	0,00	0,00
1	- 4,00	11,00
2	- 3,00	15,00
3	- 3,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
4	- 3,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
5	- 3,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
6	- 3,00	Não foi possível registrar devido a fumaça
7	- 2,00	12,00
8	- 2,00	17,00

Fonte: Elaborada pela autora.

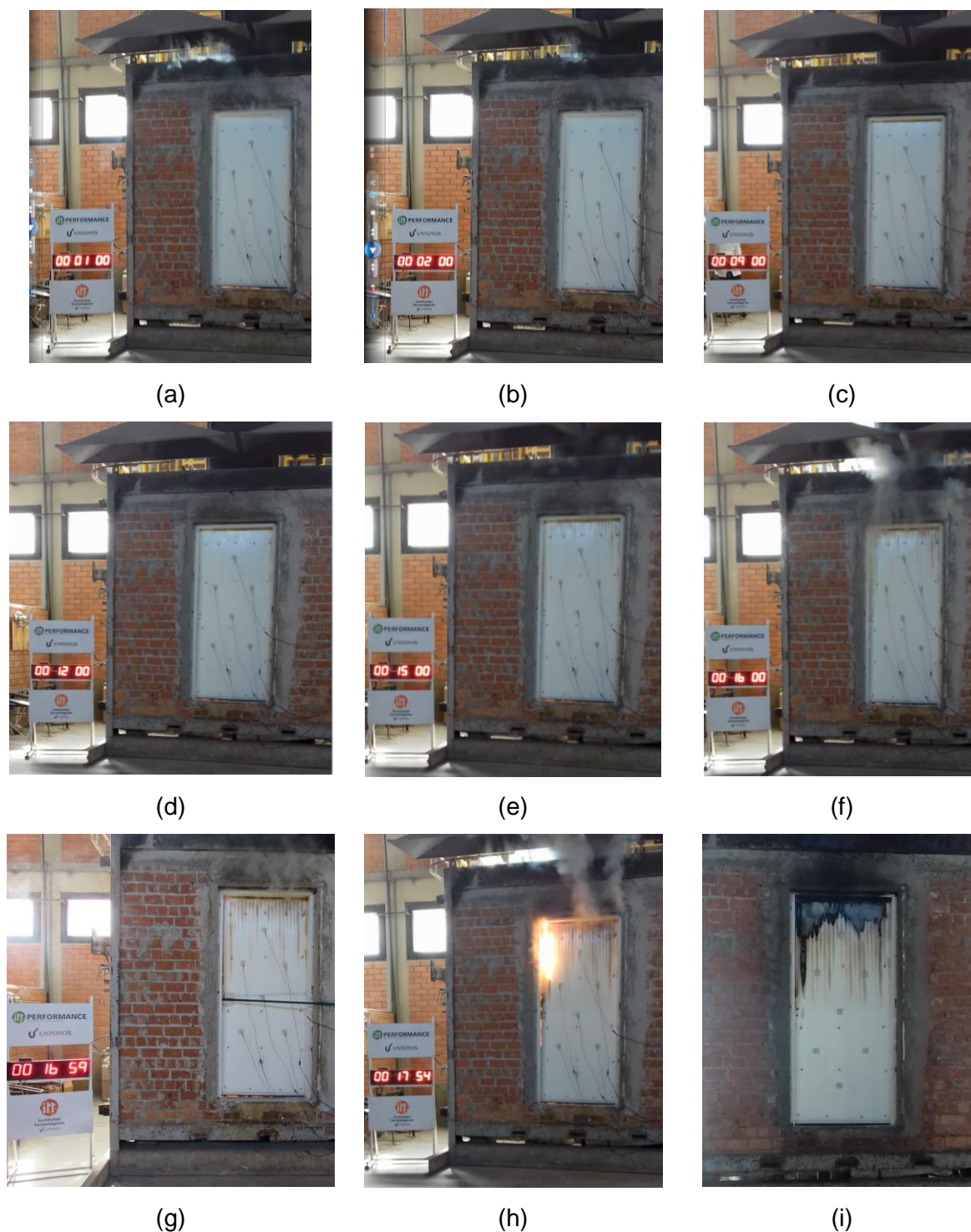
4.1.3 Porta P3

O ensaio de resistência ao fogo da porta P3 seguiu os mesmos procedimentos de instalação citados para as portas P1 e P2. A parede foi acoplada ao forno e os termopares e equipamentos de registro posicionados.

A temperatura ambiental registrada no início do ensaio foi de 21,1 °C, atendendo ao intervalo previsto pela NBR 6479 (ABNT, 1992) entre (10 e 40) °C.

Transcorrido 1 minuto do início do ensaio foi registrada incidência de fumaça por meio da borda superior da amostra (Figura 35a), em 2 minutos pelas laterais (Figura 35b). Aos 9 minutos (Figura 35c), ocorreram estalos e aos 12 minutos emissão de fumaça (Figura 35d). Com 15 e 16 minutos foram realizados testes de estanqueidade, ambos sem inflamação do chumaço de algodão (Figuras 35e e 35f). Por fim, aos 17 minutos se verificou abertura de uma fenda na lateral esquerda da amostra, com chamejamento, o que determinou o fim do ensaio (Figura 35g). As Figuras 35h e 35i, correspondem aos 17 minutos e 54 segundos decorridos do ensaio e após o ensaio, respectivamente.

Figura 35 - Sequência de ensaio porta P3



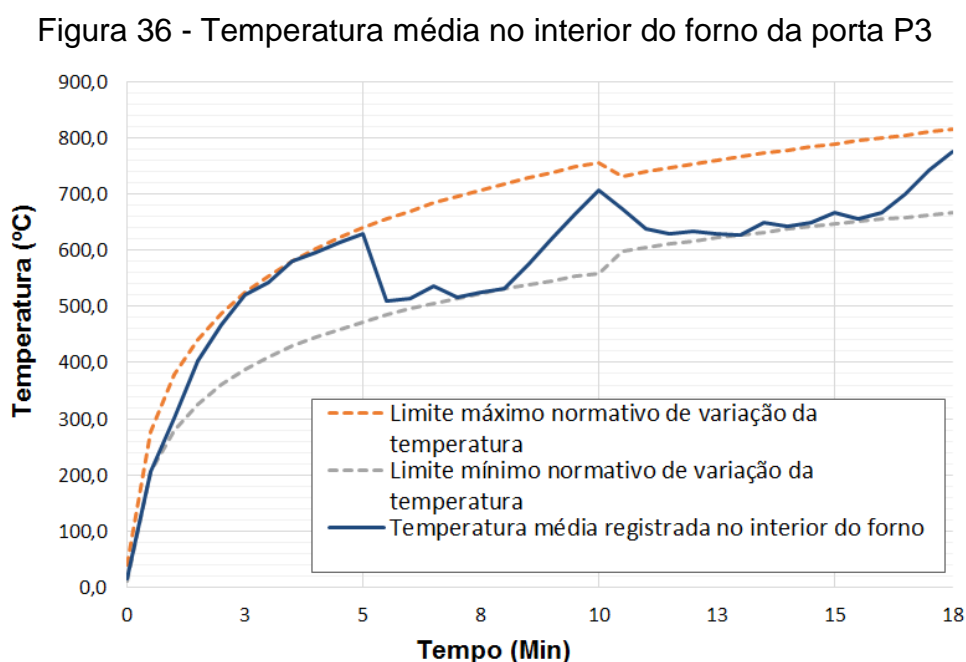
Fonte: Registrada pela autora.

Os valores para curva padrão referente ao ensaio da porta P3 respeitaram os mesmos critérios adotados para as porta P1 e P2. Para calcular os limites mínimo e máximo, utilizou-se o desvio padrão de 15% até 10 min de ensaio. Para os minutos

subsequentes e inferiores a 30 min o desvio padrão foi de 10%, conforme NBR 6479 (ABNT, 1992).

A temperatura média registrada no interior do forno foi medida pelo sistema operacional do mesmo.

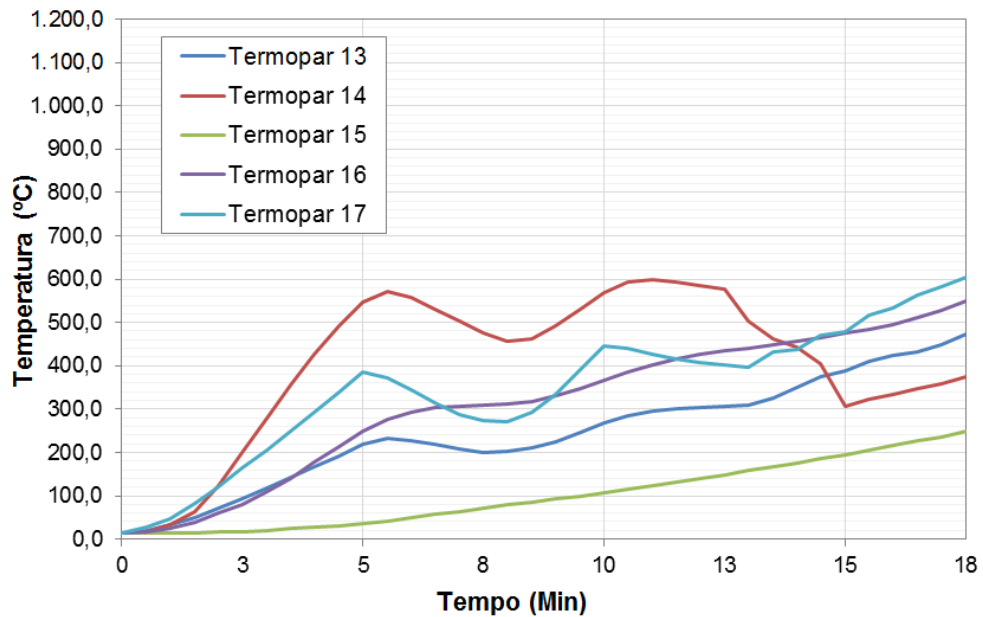
A Figura 36 ilustra a curva realizada em função da temperatura média registrada no interior do forno e limites de variação, durante o período de ensaio da porta P3. É possível verificar que a curva sofreu diversas variações durante a execução do ensaio.



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 37 ilustra os valores de temperatura dos termopares internos da porta P3. Verifica-se que o termopar 15 manteve crescimento constante. Após os 13 minutos de ensaio o termopar 14, que até então registrava os valores de temperatura mais elevados, decaiu 196,51 °C aos 15 minutos de ensaio. A maior temperatura registrada ao fim do ensaio foi de 616,4 °C, no termopar 17.

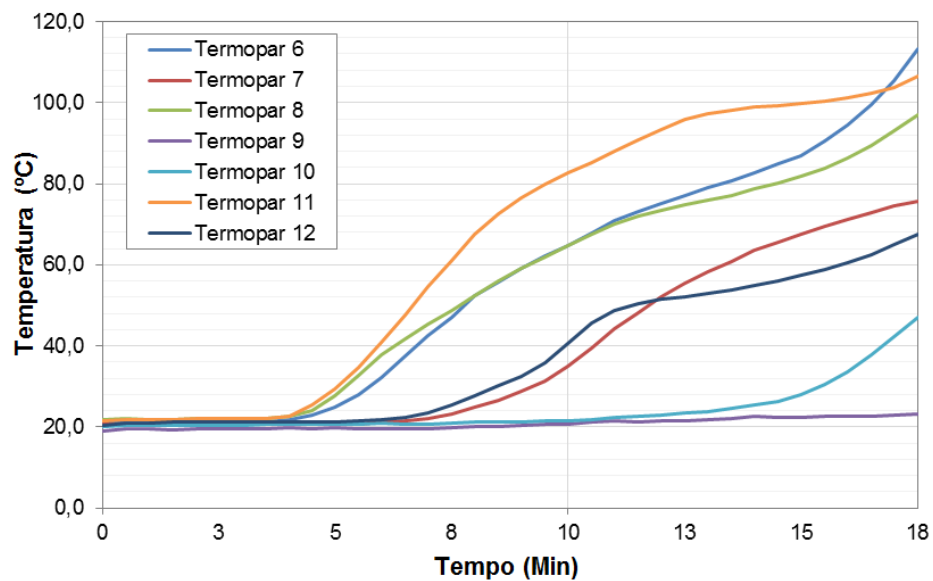
Figura 37 - Temperatura dos termopares internos da porta P3



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 38 ilustra os valores de temperatura dos termopares externos da porta P3. Verifica-se que até por volta de 4 minutos decorridos de ensaio, todos os termopares registraram pouca variação na temperatura ficando entre 19,8 °C e 22,6 °C, enquanto a temperatura ambiente inicial registrada foi de 21,1°C.

Figura 38 - Temperatura dos termopares externos da porta P3



Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.3.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P3

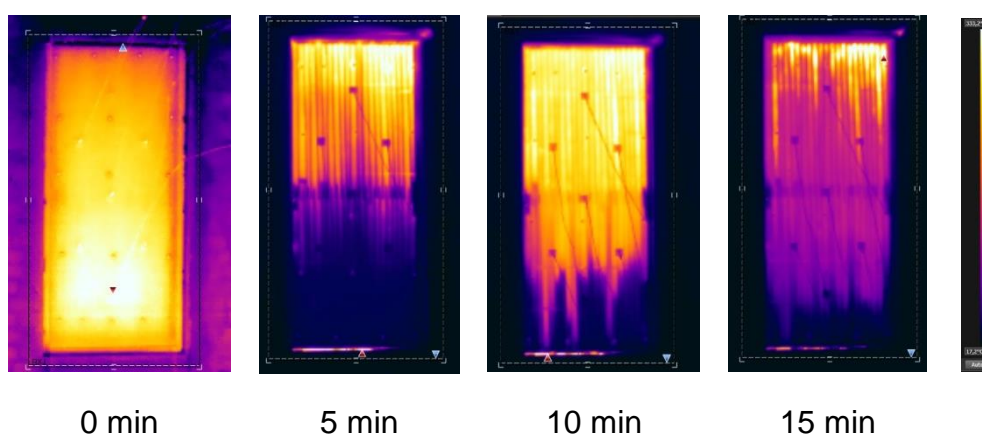
Assim como as portas P1 e P2, por recomendação da NBR 6479 (ABNT, 1992), foram registrados critérios de resistência ao fogo, como isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica.

O isolamento térmico, verificado pelo aumento de temperatura na face não exposta, foi registrado por meio da média das temperaturas dos termopares externos. Além disso, para ilustrar a ação da temperatura na amostra foi utilizada câmera termográfica, conforme Figura 39. Nota-se semelhança com as amostras anteriores, pois as temperaturas mais altas foram registradas na parte superior da porta, alastrando-se para o restante.

Cabe ressaltar que nesta amostra em específico há interação entre 4 materiais de propriedades térmicas distintas (tinta intumescente, chapa metálica, lã de politereftalato de etileno e madeira), o que pode explicar as variações abruptas no comportamento verificado nas Figuras 37 e 38.

Por tratar-se de material combustível, a lã possivelmente corroborou para expansão das chamas e queima do substrato de madeira. Neste caso, o marco foi protegido da exposição direta ao fogo por alizares constituídos de gesso resistente ao fogo.

Figura 39 - Registro câmera termográfica da porta P3



Fonte: Registrada pela autora.

A estanqueidade em relação a chamas e gases quentes foi verificada por meio da inflamação de um chumaço de algodão, o mesmo foi posicionado junto à face não exposta em intervalos regulares. Na porta P3, mesmo com a presença de tira

intumescente, foi detectada incidência de fumaça com 1 minuto de ensaio. Aos 15 e 16 minutos foram realizados testes de estanqueidade, ambos sem inflamação do chumaço de algodão. Com 17 minutos, o chamejamento em uma fenda lateral determinou o fim do ensaio.

Para avaliar a resistência mecânica, os deslocamentos foram registrados com trena laser, conforme Tabela 22. Sendo o maior registrado de 13mm aos 18 minutos de ensaio.

Tabela 22 - Deslocamentos da porta P3

Tempo (min)	Deslocamento ponto Inferior (mm)	Deslocamento ponto superior (mm)
0	0	0
5	-1	7
10	2	3
15	5	Não foi possível registrar devido a fumaça
18	13	7

Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.4 Porta P4

O ensaio de resistência ao fogo da porta P4 seguiu os mesmos procedimentos de instalação adotados para as portas anteriores. A parede foi acoplada ao forno e os termopares e equipamentos de registro posicionados (Figura 40a).

A temperatura registrada no início do ensaio foi de 15,7 °C, atendendo ao intervalo previsto pela NBR 6479 (ABNT, 1992) entre (10 e 40) °C.

Em 3 minutos decorridos do início do ensaio (Figura 40b), ocorreram estalos e incidência de fumaça na borda superior da amostra, no minuto seguinte, os estalos prosseguiram com a incidência de fumaça pelas laterais. Aos 7 minutos a fumaça nas laterais e borda superior persistiu (Figura 40c), estalos foram registrados em 22 minutos. Com 12 (Figura 40d), 20 (Figura 40e), 25 (Figura 40f), 26, 27 (Figura 40g), 29 e 30 minutos foi realizado teste de estanqueidade (Figura 40h), sem presença de inflamação do chumaço de algodão. Aos 32 minutos ocorreu a retirada dos termopares da face externa, sem contato direto com o fogo, em virtude da provável perda de estabilidade (Figura 40i). Com 33 minutos houve inflamação acima de 10 segundos, o que caracterizou a perda de estanqueidade do sistema e o fim do ensaio (Figura 40j). As Figuras 40k e 40l, registram o ensaio aos 34 minutos e 24 segundos e colapso da amostra, respectivamente.

Figura 40 - Sequência de ensaio da porta P4



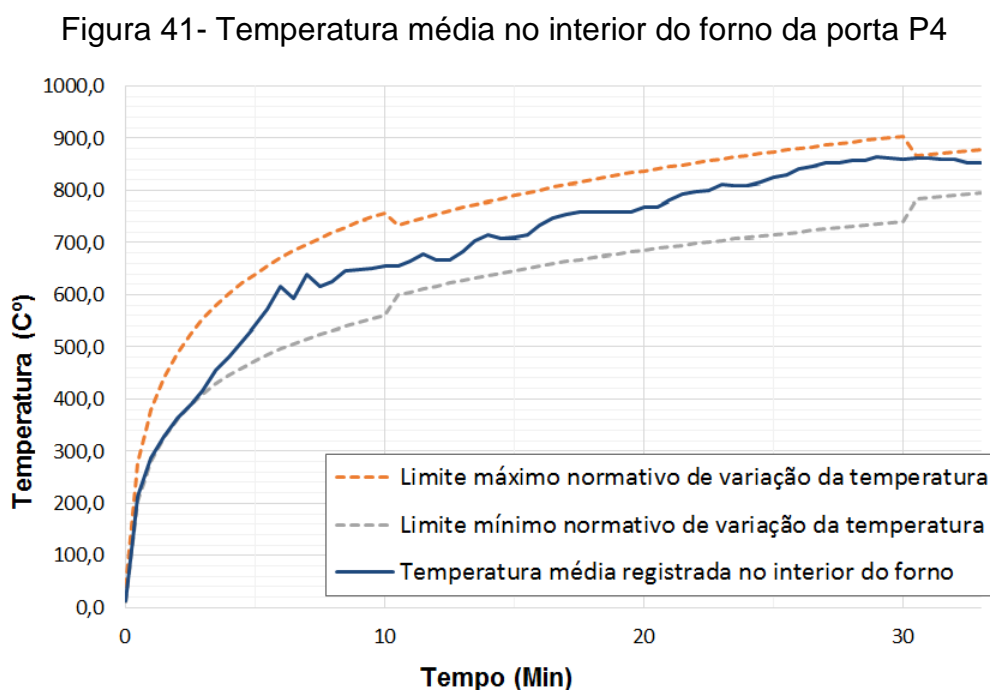
Fonte: Registrada pela autora.

Os valores para curva padrão referente ao ensaio da porta P4 respeitou os mesmos critérios adotados para as portas P1, P2 e P3.

Para calcular os limites mínimo e máximo, utilizou-se o desvio padrão de 15% até 10 min de ensaio. Para os minutos subsequentes e inferiores a 30 min o desvio padrão foi de 10%, para os superiores a 30 min 5%, conforme NBR 6479 (ABNT, 1992).

A temperatura média registrada no interior do forno foi medida pelo sistema operacional do mesmo.

A Figura 41 ilustra a curva realizada em função da temperatura média registrada no interior do forno e limites de variação, durante o período de ensaio da porta P4. É possível verificar que a curva se manteve dentro dos limites normativos com poucas variações.

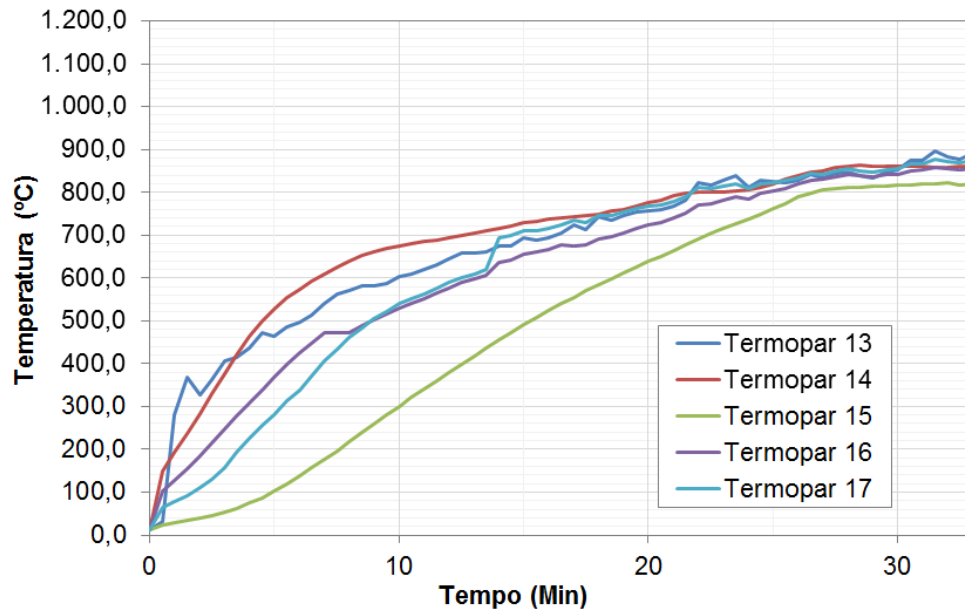


Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 42 ilustra os valores de temperatura dos termopares internos da porta P4. Verifica-se que a temperatura aumentou progressivamente nos 10 minutos iniciais em todos os termopares, com exceção do termopar 15.

A maior temperatura registrada foi de 890,4 °C no termopar 13, aos 33 minutos.

Figura 42 - Temperatura dos termopares internos da porta P4

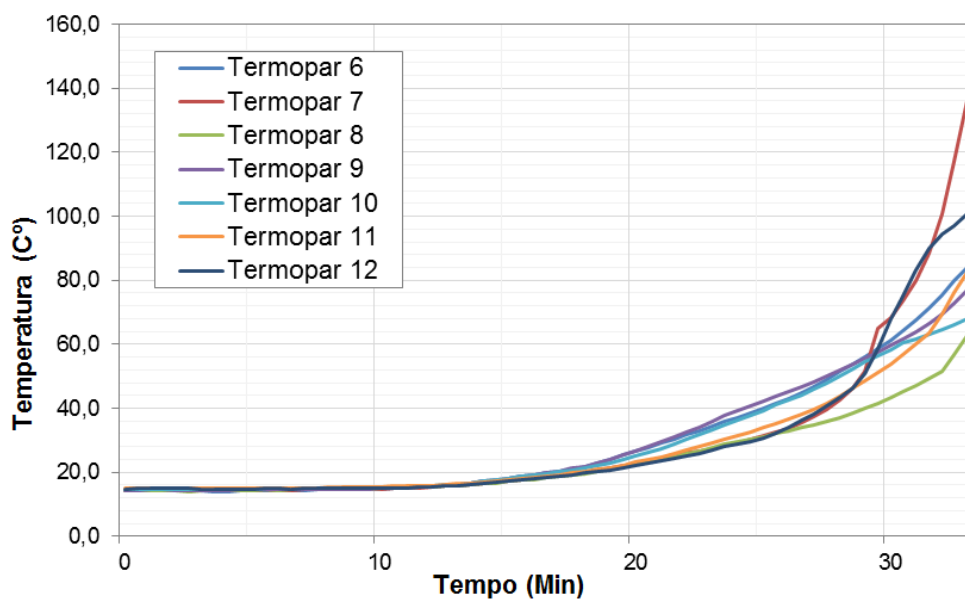


Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 43 ilustra os valores de temperatura dos termopares externos da porta P4. Verifica-se que até por volta de 17 minutos decorridos de ensaio, todos os termopares apresentaram temperatura similar, variando entre 18,6 °C e 21,2 °C.

A maior temperatura registra aos 33 minutos de ensaio foi de 136,3 °C no termopar 7, enquanto a menor foi de 62,9 °C no termopar 8.

Figura 43 - Temperatura dos termopares externos porta P4



Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.4.1 Critério de Resistência ao Fogo Porta P4

Do mesmo modo que as amostras anteriores, por recomendação da NBR 6479 (ABNT, 1992), foram registrados critérios de resistência ao fogo, como isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica.

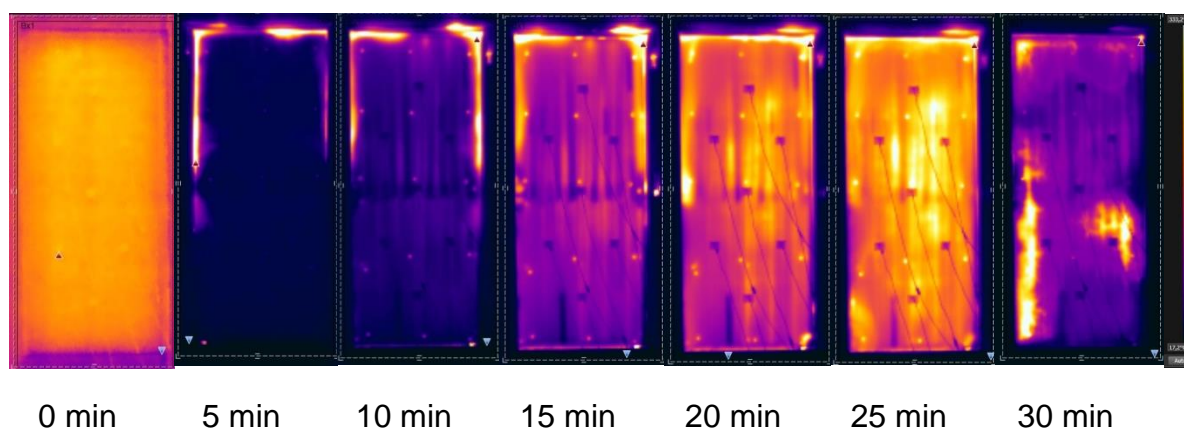
Quanto ao isolamento térmico, verificado pelo aumento de temperatura na face não exposta, foi registrado por meio de média das temperaturas dos termopares externos. Ademais, para ilustrar a ação da temperatura na amostra foi utilizada câmera termográfica, conforme Figura 44. É perceptível que a temperatura se intensificou na parte superior da amostra e posteriormente alastrou-se para o restante, semelhante ao ocorrido nas demais amostras.

Cabe salientar, que antes do início do ensaio foi constatada fissura na lateral esquerda da placa cimentícia instalada na face externa na porta, sem contato direto com as chamas, o que explica a alta temperatura na parte inferior esquerda da porta em 30 minutos.

Nesta amostra, foram instalados alizares do mesmo material que as placas cimentícias com intuito de proteger o marco de madeira. Além do que, todos os materiais receberam pintura intumescente.

Intuiu-se que o melhor tempo de resistência ao fogo seria da amostra 4 em virtude dos materiais que constituem as placas cimentícias e proteção adicional dos alizares e pintura.

Figura 44 - Registro câmera termográfica porta P4



Fonte: Registrada pela autora.

Da mesma forma que as demais amostras, a estanqueidade em relação a chamas e gases quentes foi verificada por meio da inflamação de um chumaço de algodão, o mesmo foi posicionado junto a face não exposta em intervalos regulares. Na porta P4, mesmo com a presença de tira intumescente, foi detectada incidência de fumaça a partir de 3 minutos de ensaio. Aos 12, 20, 25, 26, 27, 29 e 30 minutos, foi realizado teste de estanqueidade, ambos sem inflamação do chumaço de algodão. Com 33 minutos, uma inflamação acima de 10 segundos determinou o fim do ensaio.

Para avaliar a resistência mecânica, os deslocamentos foram registrados com trena laser conforme Tabela 23. Sendo o maior deslocamento de 10mm no ponto de análise inferior, aos 25 minutos.

Tabela 23 - Deslocamentos porta P4

Tempo (min)	Deslocamento ponto inferior (mm)	Deslocamento ponto superior (mm)
0	0	0
5	2	0
10	2	1
15	4	3
20	8	2
25	10	2
30	6	4

Fonte: Elaborada pela autora

4.2 ANÁLISE E CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS

O ensaio de resistência ao fogo para as quatro amostras construídas, foi executado para aferir o atendimento aos três critérios de resistência estabelecidos pela NBR 6479 (ABNT, 1992), em relação a uma porta corta-fogo com resistência mínima de 30 minutos. Assim, as amostras foram submetidas a testes de isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica.

De acordo com a NBR 6479 (ABNT, 1992) para o resultado positivo quando ao isolamento térmico, a média dos termopares externos (sem exposição direta ao fogo), não poderia ser superior a 140 °C mais a temperatura ambiente verificada no início do ensaio. Ou, a temperatura em qualquer um dos termopares externos não poderia ser superior a 180 °C mais a temperatura ambiente do início do ensaio. No decorrer dos quatro ensaios, todas as amostras cumpriram positivamente este critério, conforme dados da Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados para análise do critério de isolamento térmico

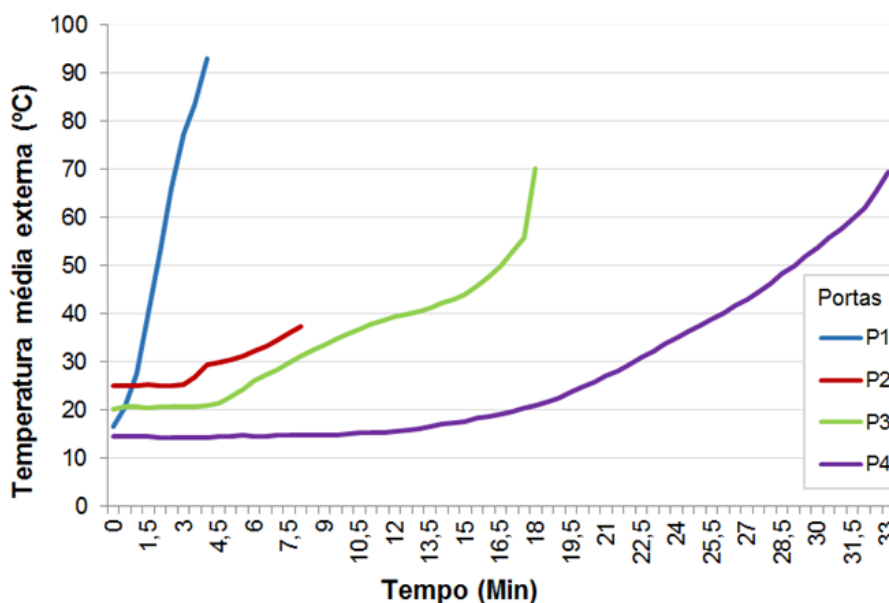
Porta	Tempo (Min)	Média dos termopares externos (°C)	Maior temperatura registrada pelos termopares externos (°C)
P1	4	92,9	115,91 (termopar 10)
P2	8	37,4	49,81 (termopar 8)
P3	18	70,1	122,6 (termopar 6)
P4	33	69,3	136,3 (termopar 7)

Fonte: Elaborada pela autora.

Verifica-se que mesmo com tempos de ensaio diferentes, as portas P2, P3 e P4 apresentaram, valores de temperatura média dos termopares externos, inferiores que a porta parâmetro P1. Quanto as temperaturas dos termopares externos, a única porta que registrou temperatura inferior à porta parâmetro (P1) foi P2.

A Figura 45 representa os valores médios dos termopares externos durante o tempo de ensaio de cada porta. Verifica-se que a P1 teve aumento de temperatura acelerado em comparação com as demais, enquanto a P4 se manteve com temperatura uniforme até por volta dos 13 minutos de ensaio.

Figura 45 - Comparativo entre as temperaturas médias dos termopares externos



Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação a temperatura registrada pelos termopares internos, verificou-se que em todas as amostras o termopar 15 registrou os menores valores de temperatura. De acordo com a Instrução Técnica nº 02 (CBPMESP, 2018a) durante um incêndio o oxigênio é o comburente que alimenta a reação química. Assim, pode-

se concluir que tal ocorrência deve-se a localização ao centro da amostra e longe das frestas, aonde a incidência de oxigênio foi menor.

Verificou-se por meio das imagens termográficas que em todas as amostras os valores mais elevados de temperatura ocorreram nas laterais e parte superior da amostra. De acordo com a Instrução Técnica nº 02 (CBPMESP, 2018a) quando ocorrem incêndios em ambientes fechados, os gases quentes, assim como a fumaça, produzidos por uma fonte de calor em combustão, se dissipam em movimento ascensional espalhando-se por toda camada superior.

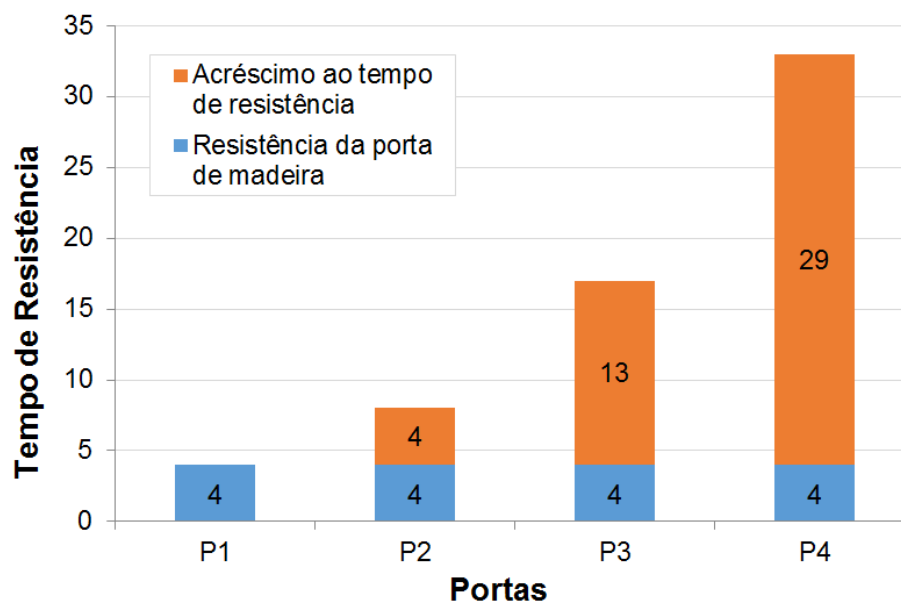
Quanto ao critério de estanqueidade, a reprovação da amostra seria conferida pela presença de trincas ou aberturas, por onde chamas ou gases quentes transpusessem a face interna para a externa, por meio de inflamação de um chumaço de algodão ou chamejamento superior a 10 segundos, conforme NBR 6479 (ABNT, 1992). Este critério foi o que determinou o final de todos os ensaios de resistência, sendo para P1 aos 4 minutos, P2 aos 8 minutos, P3 aos 17 minutos e P4 aos 33 minutos.

Segundo a NBR 6479 (ABNT, 1992), para ser considerada resistente mecanicamente, a amostra não poderia ser destruída parcial ou totalmente, nem mesmo apresentar abertura em função de deficiência mecânica ou pelos dispositivos de fechamento e sustentação. As quatro amostras foram reprovadas no critério de estanqueidade antes de sua destruição total ou parcial, contudo, o colapso da porta P4 ocorreu após os 30 minutos de ensaio requeridos. Decorridos 4 minutos de ensaio a porta P1 apresentou várias fissuras com exposição de chamas, P2 e P3 apesar da reprovação se mantiveram com poucas deformações, enquanto P4 entrou em colapso aos 34 minutos de ensaio.

Comparando os deslocamentos de todas as amostras, constata-se que a porta que obteve menor deformação inferior após o término de ensaio foi a porta P2 com 2mm, enquanto a menor deformação superior foi a da porta P4. Contudo, a fissura na placa cimentícia da porta P4 pode ter corroborado no aumento das deformações, que foram de 10 mm aos 25 minutos e 6 mm aos 30 minutos.

Enfatiza-se que a porta P1 foi submetida a ensaio sem aplicação de material, com intuito de estimar sua resistência como parâmetro para as demais. Uma vez que a porta P1 resistiu a 4 minutos, o tempo de acréscimo na resistência da porta P2 em razão da utilização de materiais, foi de 4 minutos, na P3 de 13 minutos e na P4 de 29 minutos, conforme Figura 46.

Figura 46 - Acréscimo no tempo de resistência por aplicação de materiais



Fonte: Elaborada pela autora.

Atendendo aos três critérios de resistência, P1 resistiu 4 minutos, P2 8 minutos, P3 17 minutos e P4 33 minutos. Assim, de acordo com a NBR 6479 (ABNT, 1992), a única amostra que pode ser classificada na categoria corta-fogo com grau de resistência mínimo ao fogo de 30 minutos, é a porta P4.

O comportamento das amostras está intimamente ligado aos materiais utilizados e suas propriedades térmicas. De acordo com Vargas e Silva (2003) os materiais de proteção térmica, devem apresentar características como: baixa massa específica aparente, elevado calor específico, baixa condutividade térmica, resistência mecânica adequada na exposição a impactos, integridade no decorrer do incêndio e custo condizente.

A Tabela 25 apresenta um resumo das propriedades de massa específica, condutividade térmica e calor específico dos materiais utilizados neste trabalho, com as informações fornecidas pelos fabricantes e referências adicionais.

Tabela 25 - Resumo de propriedades térmicas dos materiais

Referência	Material	Massa específica (kg/m ³)	Condutividade de Térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)	Reação ao fogo
NBR 15220-2 (ABNT, 2005)	Madeira de pinus	300 - 750	0,12 – 0,23	1340	-
NBR 7190 (ABNT, 1997)		535 - 645	-	-	-
KANAUF (2018)	Placa de gesso resistente ao fogo	640 - 960	0,21	1000	Classe II A (IT 10/2011 CB)
GYPSUM (2017)	Lã de politereftalato de etileno	7	≤ 0,068 (para 24°C)	-	Classe II-A
BRASILIT [2018?]	Placa cimentícia	1700	0,35	-	Incombustível
NBR 15220-2 (ABNT, 2005)	Chapa metálica	7800	55	460	-

Fonte: Elaborada pela autora com base em ABNT (2005); ABNT (1997); Kanauf (2018); Gypsum (2017); Brasilit [2018?].

Verifica-se que apesar de conter valores de massa específica e condutividade térmica maiores que as placas de gesso e lã, as placas cimentícias possuem a propriedade de incombustibilidade, que acrescida de pintura intumescente e proteção do marco de madeira resultaram no melhor desempenho em relação a resistência ao fogo da amostra P4.

A amostra P3 apesar da proteção ao marco e pintura com tinta intumescente não apresentou resultado satisfatório, o que possivelmente foi promovido pela lã de politereftalato de etileno, mesmo com a classe II-A de reação ao fogo, conforme o fabricante.

A decisão de proteger o marco para as portas P3 e P4 foi baseada no ensaio da porta P2, aonde se constatou que a reprovação da amostra sofreu influência deste elemento que estava desprotegido. Caso houvesse proteção do marco e pintura intumescente, similar a amostra P4, o tempo de resistência ao fogo poderia ser superior.

Segundo Cruz e Nunes (2005) as estruturas de madeira lamelada-colada ou maciça possuem maior resistência ao fogo, uma vez que, apresentam seções transversais maiores. Com isso pode-se explicar o pouco tempo de resistência ao fogo da porta P1 que era semioca.

Quanto ao uso das tiras intumescentes, instaladas com o objetivo de impedir a passagem de fumaça pelas frestas das portas P3 e P4, não houve isolamento satisfatório, contudo, foi possível verificar que parte considerável de fumaça emanou por entre a parte superior do marco em contato com a parede de alvenaria onde não havia aplicação de tira intumescente.

4.2.1 Custo de Adaptação da Porta P4

A única amostra que resistiu ao fogo pelo tempo mínimo proposto inicialmente de 30 minutos foi a P4. Assim, para avaliar o custo de adaptação de uma porta convencional de madeira semioca, em relação a uma porta corta-fogo P30, existente no mercado, são descritos os valores dos materiais utilizados, conforme Tabela 26.

Tabela 26 - Custos de adaptação da porta P4

Descrição do produto	Valor (R\$)
Placa cimentícia Brasilit (120x240)cm e espessura 12 mm	146,50
Placa cimentícia Brasilit (120x240)cm e espessura 10 mm	121,90
Tinta Antichamas brilhante branco (3305) – 3,6 L	209,00
Diluyente para tinta Antichamas	24,00
Tira Intumescente (rolo com 25 m)	159,50
Parafusos	30,00
TOTAL	690,00

Fonte: Elaborada pela autora.

O custo total da tira intumescente foi de R\$ 265,00 mais o valor do frete de R\$ 54,00, contudo, o rolo do produto possui 25 m, sendo que para uma unidade de (90 x 210) cm, mesmo com aplicação dupla são gastos cerca de 10,4 m, o que resulta no custo de R\$ 159,50 por porta.

Nos anexos A, B e C, constam 3 orçamentos de portas com resistência de 30 minutos.

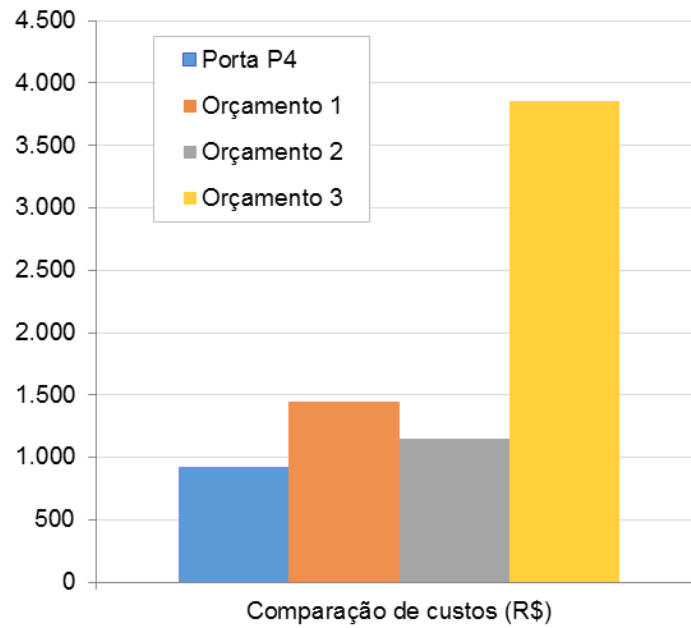
- a) Orçamento 1 (Empresa A) - R\$ 1.450,00
- b) Orçamento 2 (Empresa B) - R\$ 1.150,00
- c) Orçamento 3 (Empresa C) - R\$ 3.860,00

Conforme procura realizada em sites de compras e lojas comerciais, a instalação de fechadura e dobradiças especiais para situação de incêndio acarretaria um custo adicional em cerca de R\$ 149,90 e R\$ 81,00, respectivamente. Mesmo com

a adição destes equipamentos, a adaptação da porta mostra-se mais vantajosa do que a troca por uma porta existente no mercado, totalizando R\$ 921,80.

A Figura 47 ilustra a comparação de custo para adaptação da porta P4 em relação aos orçamentos de portas existentes no mercado.

Figura 47 - Comparação de custos



Fonte: Elaborada pela autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi desenvolvido com intento de avaliar a adaptação de portas convencionais de madeira semioca, para portas corta-fogo P30 existentes no mercado, utilizando materiais como lã de politereftalato de etileno, placa de gesso resistente ao fogo, placa cimentícia, tira e tinta intumescentes. Foram realizados ensaios experimentais em escala real para aferir a viabilidade de tal adaptação conforme a normatização vigente, além de levantamento de custos.

Com relação ao comportamento dos materiais em contato com o substrato da porta e expostos ao fogo, foi possível verificar, que apesar de sua classificação como II-A (CBPMESP, 2018e) e proteção com chapa metálica e tinta intumescente, a lã de politereftalato de etileno é consumida pelas chamas, o que pode influenciar de modo negativo, no tempo de resistência da amostra no geral e contribuir para temperaturas mais elevadas. Neste aspecto, as placas cimentícias e de gesso resistente ao fogo se apresentaram mais eficientes, possivelmente por conta de propriedades térmicas.

O aumento do tempo de resistência ao fogo para as portas de madeira semiocas, foi adquirido por meio de aplicação de materiais distintos, sendo que a composição da amostra P2 acresceu 4 minutos de resistência em relação a amostra referência (P1), enquanto P3 e P4, 13 e 29 minutos, respectivamente.

Dentre as amostras adaptadas a fim de obter a equivalência à porta corta-fogo P30, a única que atendeu aos critérios da NBR 6479 (ABNT, 1992) quanto ao isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica para ser classificada como porta corta-fogo P30, foi a amostra P4, que resistiu ao fogo durante 33 minutos. Contudo, não foram realizados os ensaios mecânicos complementares para portas de unidades autônomas, previstos pela NBR 15281 (ABNT, 2005), logo, a porta P4 não poderia ser comercializada corta-fogo P30, sem os ensaios adicionais.

Quanto à avaliação de custos para adaptação da porta P4 em relação aos orçamentos anexos, fica comprovado, que mesmo com a aquisição de fechadura e dobradiças especiais para situação de incêndio, há economia de R\$ 228,20 por unidade, em comparação com o orçamento de menor valor.

Assim, como a amostra P4 atingiu aos 30 minutos de resistência requeridos, conforme NBR 6479 (ABNT, 1992), é possível aferir que há possibilidade de propor medidas compensatórias de baixo custo para portas de madeira semioca convencionais.

5.1 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS ESTUDOS

Para um próximo estudo, sugere-se avaliar as amostras quanto aos ensaios mecânicos descritos pela NBR 15281 (ABNT, 2005b) para comprovar a efetividade de adaptação. Outra sugestão é produzir amostras com espessuras de placas cimentícias diferentes, aplicar produto retardante a chama específico para proteção da lã de politereftalato de etileno, instalar placas de gesso resistentes ao fogo em ambos os lados da folha da porta, com adição de tinta intumescente a proteção ao marco.

REFERÊNCIAS

AIELLO, Maurizio et al. Fire safety measures in historic buildings for university use. **Fire technology Magazine**, v. 38, n. 4, p. 345-362, United States, 2002.

Disponível em:

<<https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1020118432721.pdf>.>

Acesso em: 08 Nov. 2017.

ANASTÁCIO, Ricardo Samuel Alberto. **Especificação de protecção fogo para estruturas de madeira**. 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil-20079/2010) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61343/1/000149125.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2017.

ASIMAKOPOULOU, Eleni K.; KOLAITIS, Dionysios I.; FOUNTI, Maria A. Fire safety aspects of PCM-enhanced gypsum plasterboards: An experimental and numerical investigation. **Fire Safety Journal**, v. 72, p. 50-58, [S.I], Feb. 2015. Disponível em:

<[https://ac.els-cdn.com/S0379711215000144/1-s2.0-S0379711215000144-main.pdf?_tid=355aa32e-c428-11e7-a8e6-](https://ac.els-cdn.com/S0379711215000144/1-s2.0-S0379711215000144-main.pdf?_tid=355aa32e-c428-11e7-a8e6-00000aacb35d&acdnat=1510106443_913c6006a8f6576bc2098c5dd75ba1d8)

[00000aacb35d&acdnat=1510106443_913c6006a8f6576bc2098c5dd75ba1d8](https://ac.els-cdn.com/S0379711215000144/1-s2.0-S0379711215000144-main.pdf?_tid=355aa32e-c428-11e7-a8e6-00000aacb35d&acdnat=1510106443_913c6006a8f6576bc2098c5dd75ba1d8).>

Acesso em: 29 Oct. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6479**: Portas e vedadores: Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11711**: Portas e vedadores corta-fogo com núcleo de madeira para isolamento de risco em ambientes comerciais e industriais. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11742**: Porta corta-fogo para saída de emergência. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 2011a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15281**: Porta corta-fogo para entrada de unidades autônomas e de compartimentos específicos de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15930-1**: Portas de madeira para edificações: Parte 1: Terminologia e simbologia. Rio de Janeiro, 2011b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15930-2**: portas de madeira para edificações: Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2011c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16143**: Preservação de madeiras: Sistema de categorias de uso. Rio de Janeiro, 2013b.

BARRA, Cecília P.; RODRIGUES, João P.; FERREIRA, Maria F. Risco e propagação de incêndio em centros urbanos antigos. In: CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO SOBRE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO (CILASCI), 1., 2011. Natal. **Anais eletrônicos...** [S.l.], p. 409-418. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joao_Paulo_Rodrigues3/publication/261508637_RISCO_E_PROPAGACAO_DE_INCENDIO_EM_CENTROS_URBANOS_ANTIGOS/links/0c9605346b04cb0b0c000000.pdf>. Acesso em: 28 out. 2017.

BRASIL. **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. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20152018/2017/Lei/L13425.htm>. Acesso em: 18 de out. 2017.

BRASILIT. **Catálogo**. São Paulo. 2012. Disponível em: <<http://www.cemear.com.br/wp-content/uploads/2012/09/Cat%C3%A1logo-Placas-Ciment%C3%ADcias-Brasiplac-Plus.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

BRENTANO, Telmo. **A proteção contra incêndios no projeto de edificações**. 3. ed. Porto Alegre: Edição do autor, 2015.

CALDAS, Rodrigo Barreto. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio**. 2008. 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://pct.capes.gov.br/teses/2008/32001010038P8/TES.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

CARLO, Ualfrido Del. A segurança contra incêndio no Brasil. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Coord./Ed.). **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. 2, p. 9-17. Disponível em: http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf. Acesso em: 29 out. 2017.

CARNEIRO, Paulo Luiz. Incêndio no Edifício Andorinha parou o Centro do Rio e deixou 23 mortos. **G1**: Rio de Janeiro, 29 jun. 2017. Disponível em: <https://acervo.oglobo.globo.com/em-destaque/incendio-no-edificio-andorinha-parou-centro-do-rio-deixou-23-mortos-18686962>. Acesso em: 29 set. 2018.

CHAPLIN, Charles. **[Frases]**. [S.l.]. [2018?]. Disponível em: https://www.pensador.com/a_persistencia_e_o_caminho_do_exito/. Acesso em: 04 nov. 2018.

CICHINELL, Gisele. Parede ou vedação com características que permitem serem usadas tanto em paredes com steel frame como em acabamento de fachadas, as chapas de cimento e fibras apresentam grande resistência e durabilidade. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 128, nov. 2007. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/128/artigo285413-6.aspx>. Acesso em: 09 nov. 2018.

KKC. Tiras Intumescentes para portas. **Catálogo**. São Paulo. [2018?]. Disponível em: <https://www.ckc.com.br/index.php/produtos-principal/173-ckc-tira-intumescente.html>. Acesso em: 09 de set. 2018.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Instrução Técnica Nº 02**: Conceitos básicos de segurança contra incêndio. São Paulo, 2018a.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Instrução Técnica Nº 08**: Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2018b.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Instrução Técnica Nº 09**: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo, 2018c.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Instrução Técnica Nº 10**: Controle de materiais de acabamento e de revestimento. São Paulo, 2018d.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Instrução Técnica Nº 11**: Saídas de emergência. São Paulo, 2018e.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Instrução Técnica Nº 43**: Adaptação às normas de segurança contra incêndio: Edificações existentes. São Paulo, 2018f.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS (CBMMG). **Instrução Técnica Nº 40**: Adequação de medidas de segurança para edificações existentes e edificações construídas. Minas Gerais, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA (CBMSC). **Instrução Normativa Nº05**: Edificações Existentes. Santa Catarina, 2015.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIAS (CBMGO). **Norma Técnica 41**: Edificações existentes: Adaptação às normas de segurança contra incêndio e pânico. Goiás, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (CBMRS). **Resolução Técnica Nº 02**: Terminologia aplicada a segurança contra incêndio. Rio Grande do Sul, 2014.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (CBMRS). **Resolução Técnica Nº 05**: Parte 07: Processo de segurança contra incêndio: Edificações e áreas de risco de incêndio existentes. Rio Grande do Sul, 2016a.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (CBMRS). **Resolução Técnica Nº 11**: Parte 01: Saídas de Emergência. Rio Grande do Sul, 2016b.

COSTA, Carla Neves; ONO, Rosaria; SILVA, Valdir Pignatta. A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO-C3C2005, 47., 2005, Recife. **Anais eletrônicos...**São Paulo: Universidade de São Paulo (USP), 2005. v. III, p. III1-26. Disponível em: < http://www.lmc.ep.usp.br/grupos/gsi/wp-content/artigos1/47CBC0539_compart.pdf>. Acesso em: 23 out. 2018.

CRUZ, Helena; NUNES, Lina. **A madeira como material de construção**. Núcleo de Estruturas de Madeira, LNEC, Lisboa, 2005. Disponível em: < https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/8453916/hcruzmadeiramaterial1.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1542219633&Signature=0x5iJvtOhZZLFvb%2FWqdKTMWHbkQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_madeira_como_material_de_construcao.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2017.

CRUZ, Helena. Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira. In: CURSO LIVRE INTERNACIONAL DE PATRIMÔNIO, 2., Fev./Mar, 2001, Santarem. **Anais eletrônicos...** [S. l.]: Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico; Forum UNESCO Portugal, 2001. Disponível em: <<http://mkmouse.com.br/livros/patologiaavaliacaoeconservacaodeestruturasdemadeiras-HelenaCruz.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

CUNHA, Leonardo Jorge Brasil de Freitas. **O desempenho da compartimentação horizontal seletiva na promoção da segurança contra incêndio em edificações**. 2016. 238f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21137>>. Acesso em: 30 out. 2018.

EUROPEAN COMMITTEE STANDARDIZATION (EN). **EN 13823**: Reaction to fire tests for building products: Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item (SBI). Bruxelas, 2010.

EUROPEAN STANDARD AND INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (EN ISO). **EN ISO 11925-2**: Reaction to fire tests: Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame: Part 2: Single-flame source test. [S.I.], 2010.

FACCIO, Henrique Bandeira; SILVA, Anderson Nobre da. As características de reação ao fogo dos materiais de acabamento e de revestimento diante da ABNT NBR 15.575:2013. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 232, jul. 2016. Disponível em: <<https://techne.pini.com.br/2016/07/as-caracteristicas-de-reacao-ao-fogo-dos-materiais-de-acabamento-e-de-revestimento-diante-da-abnt-nbr-15-5752013/>>. Acesso em: 24 out. 2018.

FAGUNDES, Fábio. **Plano de Prevenção e combate a incêndios: estudo de caso em edificação residencial multipavimentada**. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Pós Graduação Lato Sensu em Engenharia de Segurança do Trabalho (Engenheiro de Segurança do Trabalho) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2014. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/2168>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

FREIRE, Carlos Darci da Rocha. **Projeto de proteção contra incêndio (PPCI) de um prédio residencial no centro de Porto Alegre**. 2009. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/27114>>. Acesso em: 19 set. 2018.

GESUALDO, Francisco A. Romero. **Estruturas de madeira**. Universidade Federal de Uberlândia: Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia, 2003. notas de aula. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39588842/Notas_de_Aula_Madeiras.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1542174925&Signature=qa1Vspqt9sbmVLIdU%2Bz9pbGxQCk%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DNotas_de_Aula_Madeiras.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2017.

MIYADA, Fabiana Hiromi, et al. **Tratamento Anti-chama em Materiais Têxteis**. p. 11. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://texcontrol.com.br/wp-content/uploads/2016/02/Tratamento-anti-chama-em-materiais-texteis-eq.-protecao.pdf>. Acesso: 08 nov. 2018.

MORO, Luciano et al. Innovative Design of Fire Doors: Computational Modeling and Experimental Validation. **Fire Technology Magazine**, v. 53, n. 5, p. 1833-1846, United States, 2017. Disponível em: <<https://link-springer.com.ez101.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007%2Fs10694-017-0658-y>>. Acesso em: 29 Oct. 2017.

NAKAMURA, Juliana. Capacidade de isolamento do sistema de cobertura está diretamente ligado ao tipo, espessura e densidade do material isolante utilizado no miolo das telhas. Conheça as soluções mais utilizadas. **Revista Construção Mercado**, [S.l], ed. 157, ago. 2014. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/157/artigo319753-2.aspx>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

OECHSLER, K. “Lei Kiss” entra em vigência em Santa Catarina. **Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC)**, Florianópolis, 9 de outubro 2017. Disponível em: <https://portal.cbm.sc.gov.br/ws_portal/index.php/sala-de-imprensa/noticias/institucionais/2282-lei-federal-reforca-fiscalizacao-em-seguranca-contra-incendios-em-santa-catarina>. Acesso em: 18 de out. 2017.

OLIVEIRA, R. B. R. S.; MORENO JÚNIOR, A. L.; VIEIRA, L.C.M. Intumescent Paint as Fire Protection Coating. **IBRACON structures and materials jornal**. Campinas, v. 10, n.1, p. 220-243, Feb. 2017. Disponível em: <<http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/324867/2/S1983-41952017000100220eng.pdf>>. Acesso: 28 ago. 2017.

ONO, Rosaria. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. In: AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...**Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, jan./mar. 2007. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3731/2083>>. Acesso em: 28 out. 2018.

ONO, Rosaria. Reabilitação sustentável de edifícios na região central da cidade de São Paulo com ênfase na segurança contra incêndio. In: NUTAU: SUSTENTABILIDADE, ARQUITETURA, DESENHO URBANO, 4., 2002, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: USP, 2002. p. 200-210. Disponível em: <<http://antigo.infohab.org.br/acervos/advanced-search?advancedSearch=Reabilita%C3%A7%C3%A3o+sustent%C3%A1vel+de+edif%C3%ADcios+na+regi%C3%A3o+central+da+cidade+de+S%C3%A3o+Paulo+com+%C3%AAnfase+na+seguran%C3%A7a+contra+inc%C3%AAndio&opcoes= TODOS &tipoDocumento=0&tipoOrdenacao=&Buscar=Buscar>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

ORDENES, Martin; LAMBERTS, Roberto; GÜTHS, Saulo. **Transferência de calor na envolvente da edificação**. 2008. 41 f. (Apostila) - Departamento de Engenharia Civil – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila_08.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

PANNONI, Fábio Domingos; SANTOS, Vladimir Alves dos Santos. Pintura intumescente de estruturas metálicas. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 181, p. 1-3, dez. 2011. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/181/pintura-intumescente-de-estruturas-metalicas-287938-1.aspx>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

PINTO, Edna Moura; CALIL JÚNIOR, Carlito. Ensaio para avaliação do comportamento de materiais expostos ao fogo: Resistência e Reação. **Revista Madeira Arquitetura e Engenharia**, v.9. ISSN 1516-2850. São Carlos, 2002. Disponível em: < <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/398/pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.

POLLUM, Jessica. **A segurança contra incêndio em edificações históricas**. 2016. 332 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/175302>>. Acesso em: 23 out. 2018.

RIBAS, Rovadávia Aline de Jesus. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. 2013. 222 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em:

<<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4383>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Complementar nº 14.376, de 26 de Dezembro de 2013**. 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. Disponível em:

<http://www.al.rs.gov.br/FileRepository/repLegisComp/Lec%20n%C2%BA%2014.376.pdf>. Acesso em: 18 de out. 2017.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Complementar nº 14.924, de 22 de Setembro de 2016a**. 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. Disponível em:

<http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXTO&Hid_TodasNormas=63331&hTexto=&Hid_IDNorma=63331>. Acesso em: 02 de nov. 2017.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 53.280, de 1º de novembro de 2016b**.

Estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em:<http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXTO&Hid_TodasNormas=63438&hTexto=&Hid_IDNorma=63438>. Acesso em: 04 nov. 2017.

SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA E ADMINISTRAÇÃO PENITENCIÁRIA DO ESTADO DE GOIÁS (SSPGO): CORPO DE BOMBEIROS MILITAR. **História da Corporação**. Goiás, 2016. Disponível em: <<http://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2017/06/Hlst%C3%B3rico.pdf>>. Acesso em: 14 de out. 2017.

SILVA, Carlos Miguel Oliveira Costa. **Avaliação da resistência ao fogo de produtos de construção**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010. Disponível em: <<https://ria.ua.pt/bitstream/10773/4383/1/TeseCompleta.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

SILVA, João Paulo Aves Gonçalves. **Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira**. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil-2007/2008) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008. Disponível em: <<https://web.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/EspecificTrataPreserMadeira.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

TROITZSCH, J. H. **Methods for the Fire Protection of Plastics and Coatings by Flame Retardant and Intumescent Systems**. v. 11, ed. 1, p. 41-69, [S.l.], Jan., 1983. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/003306558380003X/1-s2.0-003306558380003X-main.pdf?_tid=cd42be2f-8aea-4278-9907-b6833c66d85d&acdnat=1542215145_17c34aa6f3f2e4f2cecb11030d5dc1ed>. Acesso em: 30 out. 2017.

VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta e. Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço. **Bibliografia Técnica para o Desenvolvimento da Construção em Aço**. Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS: Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), p. 76, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://www.lmc.ep.usp.br/grupos/gsi/wp-content/artigos1/resistencia_ao_fogo_aco.pdf>. Acesso em: 30 out. 2018.

VENEZIA, Adriana P. P. Galhano. **Parâmetros para o projeto arquitetônico sob o aspecto da segurança contra incêndio**. 2004. 254 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2004_HAB_ADRIANA_GALHANO_VENEZIA.pdf>. Acesso em: 05 out. 2017.

ZENID, José Geraldo. **Madeira na construção civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/02/MADEIRA-NA-CONSTRU%C3%87%C3%83O-CIVI.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2017.

APÊNDICE A - TEMPERATURA MÉDIA NO INTERIOR DO FORNO

Tabela A 1 - Temperatura média no interior do forno porta P1

Tempo (min)	Curva Padrão (°C)	Limite mínimo normativo (°C)	Limite máximo normativo (°C)	Temperatura média registrada no interior do forno (°C)
0,0	0,0	10,0	40,0	14,9
0,5	241,1	205,0	277,3	235,0
1,0	329,2	279,8	378,6	330,9
1,5	384,3	326,7	442,0	376,9
2,0	424,5	360,8	488,2	402,8
2,5	456,2	387,7	524,6	424,2
3,0	482,3	409,9	554,6	445,1
3,5	504,5	428,8	580,2	473,1
4,0	523,9	445,3	602,5	497,2

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela A 2 - Temperatura média no interior do forno porta P2

Tempo (min)	Curva Padrão (°C)	Limite mínimo normativo (°C)	Limite máximo normativo (°C)	Temperatura média registrada no interior do forno (°C)
0,0	0,0	10,0	40,0	24,8
0,5	241,1	205,0	277,3	249,7
1,0	329,2	279,8	378,6	309,4
1,5	384,3	326,7	442,0	334,6
2,0	424,5	360,8	488,2	373,7
2,5	456,2	387,7	524,6	391,1
3,0	482,3	409,9	554,6	424,0
3,5	504,5	428,8	580,2	439,1
4,0	523,9	445,3	602,5	455,2
4,5	541,0	459,9	622,2	470,7
5,0	556,4	472,9	639,9	486,4
5,5	570,4	484,8	655,9	502,2
6,0	583,1	495,7	670,6	517,4
6,5	594,9	505,6	684,1	533,9
7,0	605,8	514,9	696,6	548,9
7,5	615,9	523,5	708,3	535,9
8,0	625,5	531,6	719,3	510,3

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela A 3 - Temperatura média no interior do forno porta P3

Tempo (min)	Curva Padrão (°C)	Limite mínimo normativo (°C)	Limite máximo normativo (°C)	Temperatura média registrada no interior do forno (°C)
0,0	0,0	10,0	40,0	14,5
0,5	241,1	205,0	277,3	205,6
1,0	329,2	279,8	378,6	301,4
1,5	384,3	326,7	442,0	404,2
2,0	424,5	360,8	488,2	467,2
2,5	456,2	387,7	524,6	521,3
3,0	482,3	409,9	554,6	544,1
3,5	504,5	428,8	580,2	579,9
4,0	523,9	445,3	602,5	597,0
4,5	541,0	459,9	622,2	613,8
5,0	556,4	472,9	639,9	630,0
5,5	570,4	484,8	655,9	509,7
6,0	583,1	495,7	670,6	514,3
6,5	594,9	505,6	684,1	535,6
7,0	605,8	514,9	696,6	516,6
7,5	615,9	523,5	708,3	525,8
8,0	625,5	531,6	719,3	532,2
8,5	634,4	539,2	729,6	574,4
9,0	642,8	546,4	739,3	621,4
9,5	650,8	553,2	748,5	664,3
10,0	658,4	559,7	757,2	707,5
10,5	665,6	599,1	732,2	674,3
11,0	672,5	605,3	739,8	637,5
11,5	679,1	611,2	747,0	629,5
12,0	685,4	616,9	754,0	634,3
12,5	691,5	622,3	760,6	629,5
13,0	697,3	627,6	767,0	628,5
13,5	702,9	632,6	773,2	649,8
14,0	708,3	637,5	779,1	642,5
14,5	713,5	642,2	784,9	650,6
15,0	718,6	646,7	790,4	666,5
15,5	723,4	651,1	795,8	656,8
16,0	728,2	655,3	801,0	667,1
16,5	732,7	659,5	806,0	701,8
17,0	737,2	663,5	810,9	743,1
17,5	741,5	667,3	815,6	776,3

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela A 4 - Temperatura média no interior do forno porta P4

Tempo (min)	Curva Padrão (°C)	Limite mínimo normativo (°C)	Limite máximo normativo (°C)	Temperatura média registrada no interior do forno (°C)
0,0	0,0	10,0	40,0	12,5
0,5	241,1	205,0	277,3	212,8
1,0	329,2	279,8	378,6	287,5
1,5	384,3	326,7	442,0	328,9
2,0	424,5	360,8	488,2	363,1
2,5	456,2	387,7	524,6	388,6
3,0	482,3	409,9	554,6	415,7
3,5	504,5	428,8	580,2	455,2
4,0	523,9	445,3	602,5	480,8
4,5	541,0	459,9	622,2	509,1
5,0	556,4	472,9	639,9	541,9
5,5	570,4	484,8	655,9	572,7
6,0	583,1	495,7	670,6	615,3
6,5	594,9	505,6	684,1	594,0
7,0	605,8	514,9	696,6	639,7
7,5	615,9	523,5	708,3	615,6
8,0	625,5	531,6	719,3	624,6
8,5	634,4	539,2	729,6	646,6
9,0	642,8	546,4	739,3	647,6
9,5	650,8	553,2	748,5	649,6
10,0	658,4	559,7	757,2	655,6
10,5	665,6	599,1	732,2	656,0
11,0	672,5	605,3	739,8	665,2
11,5	679,1	611,2	747,0	678,3
12,0	685,4	616,9	754,0	666,7
12,5	691,5	622,3	760,6	667,3
13,0	697,3	627,6	767,0	683,4
13,5	702,9	632,6	773,2	703,5
14,0	708,3	637,5	779,1	715,4
14,5	713,5	642,2	784,9	707,3
15,0	718,6	646,7	790,4	709,8
15,5	723,4	651,1	795,8	714,3
16,0	728,2	655,3	801,0	733,2
16,5	732,7	659,5	806,0	747,3
17,0	737,2	663,5	810,9	754,8
17,5	741,5	667,3	815,6	757,6
18,0	745,7	671,1	820,2	758,7
18,5	749,7	674,8	824,7	758,4
19,0	753,7	678,3	829,1	759,5
19,5	757,6	681,8	833,3	759,7
20,0	761,4	685,2	837,5	766,9
20,5	765,0	688,5	841,5	768,5

21,0	768,6	691,8	845,5	781,2
21,5	772,1	694,9	849,3	792,9
22,0	775,6	698,0	853,1	796,8
22,5	778,9	701,0	856,8	800,8
23,0	782,2	704,0	860,4	812,3
23,5	785,4	706,8	863,9	808,1
24,0	788,5	709,7	867,4	808,3
24,5	791,6	712,4	870,7	815,9
25,0	794,6	715,1	874,1	824,3
25,5	797,6	717,8	877,3	829,6
26,0	800,5	720,4	880,5	840,6
26,5	803,3	723,0	883,6	845,1
27,0	806,1	725,5	886,7	852,4
27,5	808,8	727,9	889,7	853,4
28,0	811,5	730,4	892,7	856,7
28,5	814,1	732,7	895,6	857,9
29,0	816,7	735,1	898,4	863,5
29,5	819,3	737,4	901,2	861,0
30,0	821,8	739,6	904,0	859,0
30,5	824,3	783,0	865,5	861,4
31,0	826,7	785,4	868,0	861,7
31,5	829,1	787,6	870,5	859,4
32,0	831,4	789,9	873,0	859,0
32,5	833,7	792,1	875,4	851,7
33,0	836,0	794,2	877,8	851,8

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE B - TEMPERATURA DOS TERMOPARES INTERNOS

Tabela B 1 - Termopares Internos porta P1

Tempo (min)	Termopar 13 (°C)	Termopar 14 (°C)	Termopar 15 (°C)	Termopar 16 (°C)	Termopar 17 (°C)
0,0	13,27	13,48	12,88	13,89	14,18
0,5	16,44	20,63	13,32	25,53	17,31
1,0	41,46	46,02	22,82	62,05	63,27
1,5	110,73	104,62	48,29	116,83	162,15
2,0	243,82	197,65	66,98	197,5	273,98
2,5	344,31	303,92	77,82	284,9	386,2
3,0	424,76	386,45	86,85	373,78	492,3
3,5	502,88	450,46	100,08	453,44	590,93
4,0	563,03	501,62	118,33	519,84	656,2

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela B 2 - Termopares Internos porta P2

Tempo (min)	Termopar 13 (°C)	Termopar 14 (°C)	Termopar 15 (°C)	Termopar 16 (°C)	Termopar 17 (°C)
0,0	24,35	24,64	24,08	24,52	24,93
0,5	250,31	230,67	65,86	208,01	259,19
1,0	331,26	308,97	76,4	278,77	341,23
1,5	406,82	372,77	90,98	348,84	435,35
2,0	471,25	427,18	107,28	412,13	521,71
2,5	522,11	473,89	126,7	467,51	583,71
3,0	558,36	514,82	148,13	513,07	632,42
3,5	581,82	552,33	171,75	550,33	669,26
4,0	598,72	582,4	195,16	581,85	694,7
4,5	612,8	607,99	220,57	606,8	712,71
5,0	624,3	628,53	246,55	628,02	725,98
5,5	636,06	646,44	273,43	648,17	737,75
6,0	646,7	660,95	301,79	665,97	746,86
6,5	657,05	674,23	330,09	681,68	756,01
7,0	666,45	686,83	358,04	696,07	765,69
7,5	675,04	697,67	385,24	708,88	773,12
8,0	640,96	686,6	406,05	696,61	731,96

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela B 3 - Termopares Internos porta P3

Tempo (min)	Termopar 13 (°C)	Termopar 14 (°C)	Termopar 15 (°C)	Termopar 16 (°C)	Termopar 17 (°C)
0,0	14,1	14,3	13,9	14,2	14,3
0,5	19,3	17,7	14,6	17,3	27,8
1,0	31,9	32,2	14,8	24	47,5
1,5	49,4	64,4	15,1	39,8	82,3
2,0	70,2	124,4	16,2	59,3	121,1
2,5	92,9	200,2	17,9	80,6	163
3,0	117,8	278,3	20,3	108,9	204,6
3,5	142,5	356,7	23,6	140,9	250,3
4,0	167,2	427,9	27,3	176,9	293,6
4,5	192,1	491,8	31,3	212,3	339,2
5,0	219,9	545,6	36,5	249,1	384,5
5,5	231,6	572,2	42,4	277,3	371,2
6,0	227,2	557,2	48,7	294	343,3
6,5	219,4	530,9	56,4	302,9	313,2
7,0	207,8	501,9	63,8	307,1	286,3
7,5	200,5	474,6	71,4	309,4	274,2
8,0	201,6	457,8	78,4	311,7	271
8,5	210,1	461,4	85,3	318,4	293,4
9,0	225,7	491	92,3	330,1	334,4
9,5	246	530,2	99,1	347	389,8
10,0	268,9	569,1	106,3	365,6	445,4
10,5	284,8	592,4	113,9	384,3	439,1
11,0	294,3	598	122,4	402,4	426,9
11,5	300,1	594,1	130,9	416	415,7
12,0	304,3	586	139,8	426,7	407,2
12,5	307,4	576,95	149,1	434,8	400,8
13,0	309,4	503,71	158	441,5	395,4
13,5	324,2	462,3	166,9	448,7	431,3
14,0	349,4	443,23	175,8	456,3	438,2
14,5	373,4	404,41	185,1	466	470,6
15,0	387,6	307,2	194,7	475,1	478,6
15,5	411,5	323,72	204,3	485	517,8
16,0	423,9	333,36	215	495,8	532,1
16,5	431,3	346	225,9	510,3	562,5
17,0	449,4	359,44	236,6	528,2	583
17,5	472,8	375,18	247,7	550,1	605,3
18,0	490,5	367,31	260,6	573,2	616,4

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela B 4 - Termopares Internos porta P4

Tempo (min)	Termopar 13 (°C)	Termopar 14 (°C)	Termopar 15 (°C)	Termopar 16 (°C)	Termopar 17 (°C)
0,0	12,4	12	11,7	11,7	12,3
0,5	32,3	150,3	24,2	101,7	64,6
1,0	281,1	192,8	28,3	126,6	76,9
1,5	369	236,2	33	154,6	91,3
2,0	328,1	283	38,5	183,7	110,4
2,5	363,5	330	44,7	214,5	130,7
3,0	405,5	377	52,5	247,3	158,3
3,5	415,6	420,2	61,7	277,5	192,6
4,0	436,2	462,6	73,9	308,1	225,7
4,5	472,3	499	87,4	338,8	256,1
5,0	463,3	528,1	103,4	368,5	281,1
5,5	486,6	552,8	119,6	398,8	313,2
6,0	496,5	573,9	137,7	424,5	338,9
6,5	514,4	593,4	157	448	370,6
7,0	541,4	610,1	176,3	470,8	405,9
7,5	561,8	626,4	196,7	471,2	435
8,0	569,7	640,1	217,1	471,7	460
8,5	582,7	651,5	238,2	489,1	483,8
9,0	581,3	661,3	258,8	501,5	504,7
9,5	587,7	668,7	279,5	514,5	522,2
10,0	602,8	675,4	300,3	529,5	539,3
10,5	608,4	680,1	320,5	540,0	550,8
11,0	620,6	684,3	340,5	552,0	562,5
11,5	630,5	688,7	359,6	563,9	576,6
12,0	645,8	693,2	379,2	577,1	590
12,5	656,8	698,6	398	588,7	601,2
13,0	657,8	703,5	417	596,8	608,8
13,5	659,5	709,5	436,7	606,2	618,9
14,0	674,1	715,7	455	634,9	694,9
14,5	674,5	722,3	473,3	642,1	698,4
15,0	693,2	729,3	491,4	656,3	711,25
15,5	688,3	733,3	508,4	660,2	710,8
16,0	693,8	736,7	524,3	667,5	715,25
16,5	706	741,1	539,6	677,6	723,55
17,0	724,5	744,3	554,9	674,6	734,4
17,5	713,8	745,9	569,4	676,4	729,85
18,0	743,4	748,9	583,5	691,9	746,15
18,5	734,7	755,4	597,7	695,9	745,05
19,0	745,6	760,6	611,4	705,9	753,1
19,5	753,7	768,6	624,3	715,5	761,15
20,0	757,7	775,9	637,7	723,8	766,8
20,5	760,6	780,8	650,4	730,6	770,7
21,0	766,7	792,5	663,1	740,8	779,6

21,5	781,9	797,8	677,1	752,3	789,85
22,0	821,2	799,9	691,6	770,9	810,55
22,5	816,7	800,8	704,8	774,1	808,75
23,0	828,5	800,3	715,8	781,5	814,4
23,5	839,7	802,1	726,4	789,4	820,9
24,0	812,4	805,6	737,7	785,2	809
24,5	827,9	812,2	749,1	796,4	820,05
25,0	825,4	820,2	761,3	802,3	822,8
25,5	822,9	830,7	774,4	809,3	826,8
26,0	828,4	839,8	788,1	818,8	834,1
26,5	841,6	845,7	798,1	828,5	843,65
27,0	834,1	850,9	805	830,0	842,5
27,5	844,3	857,2	809,4	837,0	850,75
28,0	848,1	861,4	811,8	840,4	854,75
28,5	839,1	862,5	812,7	838,1	850,8
29,0	833,6	861,3	813,6	836,2	847,45
29,5	846,7	860,5	814,8	840,7	853,6
30,0	851,2	860,5	816,1	842,6	855,85
30,5	873,5	860,4	817,4	850,4	866,95
31,0	874,3	860,1	818,9	851,1	867,2
31,5	895,3	858,6	820,4	858,1	876,95
32,0	883,1	857,4	821,1	853,9	870,25
32,5	876,7	860,4	817,4	851,5	868,55
33,0	890,4	860,1	818,9	856,5	875,25

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE C - TEMPERATURA DOS TERMOPARES EXTERNOS

Tabela C 1 - Termopares Externos porta P1

Tempo (min)	Termop. 6 (°C)	Termop. 7 (°C)	Termop. 8 (°C)	Termop. 9 (°C)	Termop. 10 (°C)	Termop. 11 (°C)	Termop. 12 (°C)	Média (°C)
0,0	16,68	15,8	16,72	16,42	16,45	17,64	15,2	16,5
0,5	19,01	18,52	22,14	18,87	20,23	27,59	15,36	20,4
1,0	21,16	25,59	31,38	22,41	28,87	38,03	15,45	27,6
1,5	28,05	36,75	44,27	32,44	42,43	50,1	15,61	39,7
2,0	36,56	52,74	62,89	42,27	54,04	61,56	15,58	53,1
2,5	48,7	71,88	80,37	51,63	66,25	72,4	15,55	66,1
3,0	62,96	80,64	85,19	59,35	87,55	78,91	15,5	77,4
3,5	72,3	92,41	86,88	65,46	98,01	83	15,55	83,5
4,0	78,34	114,48	92,86	69,96	115,91	86,95	15,69	92,9

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela C 2 - Termopares Externos porta P2

Tempo (min)	Termop. 6 (°C)	Termop. 7 (°C)	Termop. 8 (°C)	Termop. 9 (°C)	Termop. 10 (°C)	Termop. 11 (°C)	Termop. 12 (°C)	Média (°C)
0,0	25,12	24,92	24,92	24,94	25,18	25,02	25,59	25,0
0,5	25,11	24,88	24,9	24,93	25,19	25,09	25,61	25,0
1,0	25,20	24,92	24,94	24,95	25,21	25,11	25,63	25,0
1,5	25,36	25,02	25,06	25,09	25,3	25,12	25,6	25,2
2,0	25,2	25,01	24,96	24,94	25,23	25,25	25,68	25,0
2,5	25,07	24,84	24,94	24,84	25,15	25,32	25,68	25,0
3,0	25,63	24,89	25,22	25,01	25,3	25,97	25,69	25,2
3,5	27,98	26,04	26,53	26,82	27,22	27,49	25,7	26,9
4,0	30,73	28,39	28,32	29,25	30,25	29	25,78	29,3
4,5	30,16	28,92	29,39	29,6	30,51	28,95	25,8	29,8
5,0	30,04	29,11	31,29	29,48	30,6	29,1	25,73	30,5
5,5	30,36	29,41	33,9	29,22	30,57	29,75	25,79	31,2
6,0	30,96	29,99	36,97	29,11	30,67	30,56	25,83	32,3
6,5	31,59	30,79	40,03	28,99	30,82	31,58	25,87	33,3
7,0	32,67	31,99	43,3	29,07	31,27	32,9	25,9	34,5
7,5	33,81	33,32	46,65	29,3	31,93	34,32	25,76	36,0
8,0	35,02	34,58	49,81	29,56	32,72	36,01	25,83	37,4

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela C 3 - Termopares Externos porta P3

Tempo (min)	Termop. 6 (°C)	Termop. 7 (°C)	Termop. 8 (°C)	Termop. 9 (°C)	Termop. 10 (°C)	Termop. 11 (°C)	Termop. 12 (°C)	Média (°C)
0,0	21,3	20,6	21,7	19,1	20,1	21,4	20,5	20,3
0,5	21,4	20,8	22	19,5	20,4	21,8	20,9	20,6
1,0	21,2	20,6	21,9	19,4	20,4	21,8	21	20,6
1,5	21,1	20,6	21,9	19,3	20,4	21,9	21,1	20,5
2,0	21,3	20,7	22	19,4	20,5	22	21,1	20,6
2,5	21,1	20,6	21,9	19,4	20,4	22	21,2	20,6
3,0	21,1	20,6	21,9	19,5	20,5	22,1	21,2	20,6
3,5	21,3	20,7	22,1	19,6	20,6	22,2	21,3	20,8
4,0	21,7	20,9	22,5	19,8	20,7	22,6	21,3	21,0
4,5	22,9	20,9	23,9	19,5	20,7	25,3	21,2	21,4
5,0	25	20,8	27,8	19,7	20,8	29,4	21,3	22,8
5,5	27,9	20,8	32,6	19,6	20,7	34,8	21,5	24,3
6,0	32,3	21,1	37,8	19,6	20,9	40,8	21,9	26,1
6,5	37,4	21,5	41,8	19,5	20,8	47,6	22,4	27,4
7,0	42,5	22,1	45,3	19,4	20,8	54,5	23,6	28,5
7,5	47,1	23,1	48,7	19,7	20,9	61,2	25,4	29,8
8,0	52,3	24,8	52,5	20	21,1	67,5	27,6	31,2
8,5	55,8	26,6	55,9	20,2	21,2	72,5	30,2	32,4
9,0	59,2	28,7	59,1	20,5	21,3	76,4	32,5	33,6
9,5	62,1	31,4	62	20,8	21,5	79,8	35,8	34,8
10,0	64,6	35	64,7	20,8	21,6	82,6	40,7	35,7
10,5	67,7	39,6	67,4	21,2	21,9	85,3	45,5	36,8
11,0	70,8	44,1	70	21,5	22,3	87,9	48,6	37,9
11,5	73,1	48,1	71,9	21,3	22,6	90,7	50,3	38,6
12,0	75,1	52	73,4	21,6	22,9	93,4	51,4	39,3
12,5	77,2	55,4	74,7	21,6	23,4	95,8	52,2	39,9
13,0	78,9	58,2	75,8	21,8	23,8	97,2	52,9	40,5
13,5	80,6	60,8	77	22	24,5	98,2	53,8	41,2
14,0	82,8	63,5	78,7	22,5	25,4	98,9	54,9	42,2
14,5	84,8	65,6	80,1	22,4	26,4	99,3	56	43,0
15,0	87	67,6	81,8	22,3	28	99,7	57,3	44,0
15,5	90,6	69,6	83,9	22,6	30,5	100,4	58,8	45,7
16,0	94,5	71,2	86,4	22,6	33,5	101,1	60,6	47,5
16,5	99,4	72,9	89,5	22,7	37,7	102,2	62,6	50,0
17,0	105,5	74,4	93	23	42,4	103,8	64,9	52,8
17,5	113,3	75,7	96,9	23,3	47,1	106,4	67,6	55,8
18,0	122,6	76,8	102,2	23,3	51,6	110,1	77,6	70,1

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela C 4 - Termopares Externos porta P4

Tempo (min)	Termop. 6 (°C)	Termop. 7 (°C)	Termop. 8 (°C)	Termop. 9 (°C)	Termop. 10 (°C)	Termop. 11 (°C)	Termop. 12 (°C)	Média (°C)
0,0	14,2	14,3	14,2	14,4	14,8	15	14,7	14,5
0,5	14,2	14,3	14,2	14,4	14,8	15,1	14,9	14,5
1,0	14,4	14,4	14,3	14,6	14,6	15,1	14,9	14,5
1,5	14,4	14,4	14,3	14,6	14,7	15,1	14,9	14,5
2,0	14,2	14,2	14,2	14,4	14,6	15,1	14,9	14,4
2,5	14,2	14,2	14,1	14,4	14,7	15	14,9	14,4
3,0	14,2	14,2	14,2	14,4	14,7	15	14,8	14,4
3,5	14,1	14,2	14,2	14,4	14,7	15	14,8	14,4
4,0	14,1	14,2	14,2	14,4	14,7	15	14,8	14,4
4,5	14,3	14,4	14,3	14,5	14,8	15,1	14,8	14,5
5,0	14,3	14,4	14,4	14,5	14,8	15,1	14,8	14,6
5,5	14,4	14,5	14,5	14,6	14,9	15,2	14,9	14,7
6,0	14,4	14,4	14,4	14,5	14,9	15,2	14,9	14,6
6,5	14,4	14,4	14,5	14,5	14,9	15,2	14,8	14,6
7,0	14,4	14,5	14,6	14,6	14,9	15,2	14,9	14,7
7,5	14,5	14,5	14,6	14,6	14,9	15,2	14,9	14,7
8,0	14,5	14,5	14,7	14,6	14,9	15,3	14,9	14,7
8,5	14,6	14,6	14,7	14,7	14,9	15,3	14,9	14,8
9,0	14,6	14,6	14,8	14,7	15	15,3	15	14,8
9,5	14,7	14,7	14,8	14,8	15	15,4	15	14,9
10,0	14,8	14,8	14,9	14,9	15,1	15,4	15	15,0
10,5	15,1	15	15,1	15,1	15,3	15,6	15,2	15,2
11,0	15,2	15,1	15,2	15,2	15,4	15,6	15,2	15,3
11,5	15,3	15,2	15,3	15,4	15,5	15,8	15,4	15,4
12,0	15,6	15,4	15,4	15,6	15,8	15,9	15,5	15,6
12,5	15,9	15,6	15,6	15,9	16	16,2	15,7	15,8
13,0	16,1	15,9	15,8	16,2	16,3	16,4	15,9	16,1
13,5	16,6	16,2	16,1	16,6	16,7	16,6	16,2	16,5
14,0	17,1	16,6	16,5	17,2	17,2	17	16,5	17,0
14,5	17,4	16,8	16,7	17,5	17,6	17,3	16,8	17,3
15,0	18	17,2	17,1	18	18,1	17,7	17,2	17,7
15,5	18,6	17,7	17,6	18,6	18,6	18,1	17,6	18,3
16,0	19	18,1	17,8	19,1	19	18,5	18	18,6
16,5	19,7	19,2	18,3	19,7	19,6	18,9	18,4	19,2
17,0	20,2	18,9	18,6	20,3	20,1	19,3	18,8	19,7
17,5	21,1	19,6	19,2	21,2	20,8	19,8	19,3	20,4
18,0	21,9	19,8	19,6	21,9	21,4	20,3	19,7	21,0
18,5	23	20,8	20,3	23	22,1	20,9	20,3	21,8
19,0	24	21,4	21	24	22,9	21,5	20,8	22,6
19,5	25,3	22	21,8	25,3	23,9	22,3	21,4	23,7
20,0	26,5	22,5	22,5	26,5	25	23,1	22	24,7
20,5	27,8	23,4	23,3	28	26,1	24	22,7	25,8
21,0	29,1	24,1	24,1	29,4	27,5	24,9	23,5	27,0

21,5	30,3	24,7	24,9	30,9	28,8	26	24,3	28,2
22,0	31,7	26,3	25,8	32,5	30,2	27	25,1	29,5
22,5	33	26,7	26,7	34,2	31,7	28,2	26	30,9
23,0	34,4	27,3	27,6	35,8	33,2	29,3	26,9	32,2
23,5	36	28,5	28,8	37,7	34,9	30,5	27,9	33,8
24,0	37,2	29,3	29,5	39,2	36,3	31,6	28,8	35,0
24,5	38,6	30,4	30,3	40,8	37,8	32,7	29,7	36,3
25,0	40	31,5	31,2	42,3	39,4	33,9	30,8	37,6
25,5	41,5	32,5	32	43,7	41	35,1	32,2	38,9
26,0	43	33,8	32,9	45,2	42,5	36,5	34	40,2
26,5	44,9	35,5	33,9	46,8	44,2	38	36,1	41,6
27,0	46,7	37,4	34,8	48,3	45,9	39,5	38,3	43,0
27,5	49	39,8	36	50	47,9	41,5	40,7	44,6
28,0	51,5	42,8	37,2	52	50,1	43,8	43,3	46,4
28,5	53,9	46,2	38,6	53,9	52,4	46,3	46,2	48,3
29,0	56,2	51,7	40	55,7	54,4	48,7	50,8	50,0
29,5	58,7	64,8	41,6	57,7	56,5	51,1	58,5	51,9
30,0	61,4	68,3	43,4	59,6	58,4	53,9	67,9	53,8
30,5	64,4	73,4	45,3	61,7	60,4	56,8	75,1	55,8
31,0	67,6	79,8	47,2	64	61,8	60	83,2	57,7
31,5	71,4	88,4	49,4	66,6	63,2	63,5	89,8	59,7
32,0	75,5	100,7	51,5	69,5	64,7	69,5	94,3	61,9
32,5	79,9	117	56,7	72,8	66,2	76,3	96,9	65,2
33,0	83,9	136,3	62,9	77	68	82,5	100,8	69,3

Fonte: Elaborada pela autora.

ANEXO A - ORÇAMENTO 1

De: Empresa A

Para: CARINA PANNO

Produtos - Descritivo	QTYDADE	R\$/unid	R\$/total
Componentes			
190-Porta lisa ench.maciço PRF-30 0900x2100x0045 freijo linheiro 617-Batente laminado reg.0170 freijo linheiro c/fita intumescente e vedação 744-Guarnição laminada 0060x0015 freijo linheiro Dobradiça de ferro - olho magico - fechadura Hafele Envernizado	1	1.450,00	1.450,00
Valor total do orçamento			1.450,00

Condições Gerais:

Valores para pagamento: sinal no pedido e saldo no carregamento

Prazo de entrega 60 dias

Instalação na obra por conta do cliente

Frete por conta do cliente

ANEXO B - ORÇAMENTO 2

À

XXXXXXXXXXXX

COBRANÇA: XXXXXXX

CNPJ: XXXXXX

Repres.: XXXXXXX

CEP: XXXXXX

E-MAIL: XXXXXXX

ENTREGA: XXXXXXX

Fone: XXXXXXX

TIPO 01: Marco em madeira p/ pintura com porta de abrir estruturada em madeira revestida em HDf 6 mm, maciça, 45 mm espessura, PRF30 certificada com selo ABNT, com fita intumescente, guarnições de 7 x 1,2 cm retas, montadas na fabrica com dobradiças 4 x 3 cm cromadas, sem fechadura e puxadores, com fundo ignifugo:

. 01 – 095 x 213 x 15,0	R\$ 1.150,00	R\$ 1.150,00
-------------------------	--------------	--------------

PREÇO DE VENDA	R\$ 1.150,00
----------------	--------------

OBSERVAÇÕES:

- . Neste não inclui fechaduras, puxadores, pintura final e mão de obra de colocação na obra;
- . Validade: 10/11/2018.
- . Pagamento: Entrada de 50% no aceite do pedido por deposito bancário, saldo faturado 15 dias da entrega por boleto bancário;
- . Entrega: 30 dias após confirmação da medição em obra;
- . Se houver prorrogação será cobrado custo bancário nas parcelas devedoras;
- . Descarga da mercadoria na obra por conta do cliente.
- . Frete: posto obra;
- . É de inteira responsabilidade da Construtora, o armazenamento do material em obra, pois este produto é para uso em construção seca, não resistente ao contato com umidade ou água.
- . Qualquer alteração de medidas ou modelos será cobrada à parte.
- . **Gostaríamos de informar que a nossa empresa já detém a normatização das portas PIM e PEM conforme norma ABNT NBR 15930-2:2011 certificado pela Universidade do Vale dos Sinos.**
- . **Para acabamento final em tinta branca na fabrica acrescentar ao valor total acima a quantia de R\$ 180,00.**

xxxxxxx, 07 de novembro de 2018.

Empresa B.

ANEXO C - ORÇAMENTO 3

Empresa C

XX

Bairro XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Fone: XXXXXXXXXXX

CNPJ: XXXXXXXXXXX

ORÇAMENTO: **xxx****À XXX - XXXXXXXXXXX**

E-Mail: XXXXXXXXXXX

Fone: XXXXXXXXXXX

Conforme solicitado estamos enviando orçamento compreendendo os seguintes itens:

Produto	UN	Qtde	Unitário	Total
PORTA CORTA FOGO PRF-30 - 0.90 X 2.10	UNI	1,00	3.860,00	3.860,00
			Total Produtos:	R\$ 3.860,00
			Total Orçamento:	R\$ 3.860,00

Informações sobre a porta:

PRF completa P-30 Medindo 0,90 x 2,10m

Marco em madeira p/ pintura, c/ porta de abrir estruturada em madeira revestida em HDF 6 mm maciça, lisa, 45 mm espessura, PRF30 certificada com selo ABNT, com fita intumescente, c/ guarnições de 7 x 1,2cm, montada na fábrica com dobradiças 4 x 3cm, com fundo ignifíco e acabamento final em tinta branca, c/ fechadura cromada.

Atenciosamente,

XXXXXXXXXXXX

Empresa C

XXXXXX, 07 novembro 2018