

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE AVANÇO NAS
METODOLOGIAS DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE
DESEMPENHO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013) PARA
EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL
TÉRREAS**

Luciani Somensi Lorenzi

Porto Alegre
2013

LUCIANI SOMENSI LORENZI

**ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE AVANÇO NAS
METODOLOGIAS DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE
DESEMPENHO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013) PARA
EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL
TÉRREAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia.
Orientação Prof. PhD Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

Porto Alegre
2013

L869a Lorenzi, Luciani Somensi

Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse sociais térreas / Luciani Somensi Lorenzi. – 2013.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2013.

xiv, 222 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

1. Ensaios experimentais de desempenho. 2. Avaliação de desempenho. 3. Edificações habitacionais de interesse social térreas. I. Silva Filho, Luiz Carlos Pinto da, orient. II. Título.

CDU-69(043)

LUCIANI SOMENSI LORENZI

**ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE AVANÇO NAS
METODOLOGIAS DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE
DESEMPENHO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013) PARA
EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS DE INTERESSE
SOCIAL TÉRREAS**

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA, Área Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 16 de outubro de 2013

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Ph.D. University of Leeds
orientador

Prof. Armando Miguel Awruch
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Acir Mercio Loredo Souza (UFRGS)
PhD. University of Western Ontario, Canadá

Prof. Hélio Adão Greven (UFRGS)
PhD pela Universität Hannover, Alemanha

Prof. Jean Marie Desir (UFRGS)
Dr. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ

Prof. Rogério Cattelan Antochaves de Lima (UFSM)
Dr., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS

Dedico este trabalho ao meu filho Eduardo pela
compreensão durante o período de seu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Durante o desenvolvimento de minha tese conheci muitas pessoas que ensinaram-me a ciência e a engenharia, auxiliaram-me no desenvolvimento desta tese e na aplicação dos ensaios experimentais; outras foram amigos nas horas necessárias. A essas pessoas quero expressar meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador e amigo, Professor Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, muito obrigado por fazer do meu aprendizado um contentamento, pela confiança depositada, por suas orientações, as vezes, incisivas e necessárias, para tirar-me da zona de conforto.

A minha formação como doutora não poderia ter sido concretizada sem a ajuda dos Professores Dario Lauro Klein e João Luiz Campagnolo, que, no decorrer destes anos, proporcionaram-me, além dos momentos agradáveis de convívio, compartilharam suas extensas experiências em ensaios experimentais.

Obrigada aos técnicos Eurípedes Martins Fontes e Edgar Wallace Lucas por resolverem o que eu achava complicado... Por serem pessoas dignas e que adoram desafios!

A minha colega, Mestre Luciane Fonseca Caetano, parceira de todos ou quase todos os ensaios realizados, desenvolvidos e idealizados nesta tese, meu muito obrigado pela ajuda incalculável e, sem dúvida, pela companhia agradável em muitas e muitas horas de trabalho.

Aos Professores Helio Adão Greven, Rogério Cattelan Antochaves de Lima, Jean Mari Desir e Francisco de Paula Simões Lopes Gastal, pelas valiosas contribuições prestadas no exame de qualificação.

A todos os bolsistas de Iniciação Científica do LEME. Agradecimento especial ao colega Mestre Eduardo Estevam pelas suas contribuições a esta tese e ao companheirismo.

A CAPES e CNPq ao apoio financeiro recebido para o desenvolvimento desta tese.

Aos meus pais Modesto e Gilda, por me apoiarem nesta nova etapa da minha vida, sempre com muito entusiasmo e vibração e aos meus sogros pelo apoio e disposição. E ao meu esposo Alexandre, companheiro e amigo de todas as horas, e ao meu filho Eduardo, por entender o tempo que fiquei separada, muito obrigado por fazerem parte da minha vida. Obrigada também pelo auxílio e paciência e nos últimos meses...

O sucesso não é final, a falha não é fatal: é a coragem de continuar que importa.

Winston Churchill

SUMÁRIO.....	i
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos.....	xi
Resumo.....	xiii
Abstract.....	xiv
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.4 LIMITAÇÕES.....	7
1.5 ESTRUTURA DA TESE.....	10
Capítulo 2 – O DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES.....	12
2.1 HISTÓRICO.....	12
2.2 ABORDAGEM DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES.....	17
2.2.1 Conceito de desempenho de edificações.....	17
2.2.2 Aplicação do conceito de desempenho de edificações.....	19
2.3 IMPLANTAÇÃO DA NBR 15575 (2013).....	22
2.3.1Desafios à implantação da NBR 15575 (2013).....	23
Capítulo 3 – CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE CRÍTICA DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS DA NBR 15575 (2013) PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	26
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	26
3.1.1 O Papel dos Ensaios Experimentais de Desempenho – EED.....	28

3.2 ANÁLISE CRÍTICA DOS EED RECOMENDADOS PELA ABNT NBR 15575 (2013).....	29
3.2.1 Análise Crítica Inicial dos Ensaio Experimentais Recomendados ns NBR 15575 (2013).....	29
3.2.2 Aplicação dos EED para Avaliação de Edificações HIS Têrreas	43
Capítulo 4 – METODOLOGIA.....	50
4.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	50
4.2 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL.....	52
4.2.1 Fase “A”: Ações Constantes.....	53
4.2.2 Fase “B”: Ações.....	54
Capítulo 5 – DISCUSSÃO E PROPOSIÇÕES DE MELHORIA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS PARA INCORPORAÇÃO À NBR 15575.....	60
5.1 ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO EM SVVE.....	60
5.1.1 Descrição Básica do Procedimento de Ensaio como Estabelecido ns NBR 15575 (2013).....	60
5.1.2 Resultado da Análise Crítica do Ensaio de Ação Calor e Choque Térmico para HIS Têrreas	63
5.1.3 Análise de Resultados de Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico em Modelos de Edificações Têrreas.....	67
5.1.4 Proposições de Inovações ao Ensaio Ação de Calor e Choque Térmico estabelecido ns NBR 15575 (2013).....	70
5.2 ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIO DE IMPACTO DE CORPO MOLE EM SVVE.....	77
5.2.1 Descrição Básica do Procedimento de Ensaio como estabelecido ns NBR 15575 (2013).....	77
5.2.2 Resultado da Análise Crítica do Ensaio de Impacto de Corpo Mole para HIS Têrreas.....	77

5.2.3	Análise de Resultados de Ensaios de Impacto de Corpo Mole aplicados em Modelos HIS Térreos.....	81
5.2.4	Proposições de Inovação ao Ensaio de impacto de corpo mole estabelecido ns NBR 15575 (2013).....	85
5.3	ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIO DE DESEMPENHO TÉRMICO POR MEDIÇÃO EM CAMPO NO PROTÓTIPO EM ESCALA REAL (1:1).....	88
5.3.1	Descrição Básica do Procedimento de Ensaio como estabelecido na NBR 15575 (2013).....	88
5.3.2	Resultado da Análise Crítica do Ensaio de desempenho térmico por medição em campo para HIS Térreas.....	94
5.3.3	Análise de Resultados de Ensaios de Desempenho Térmico por Medição em Campo em Modelos HIS Térreas.....	94
5.3.4	Proposições de Inovação ao Ensaio de desempenho térmico por medição em campo e aos Procedimentos de Avaliação estabelecidos ns NBR 15575 (2013).....	99
5.3.4	Procedimento e Análise de Resultados de um Novo Ensaio Experimental Laboratorial de Desempenho Térmico em SVVE, em escala reduzida, nos Modelos de Edificações HIS Térreas Isoladas.....	103
5.4	ANÁLISE CRÍTICA DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO QUANTO À SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO PARA EDIFICAÇÕES TÉRREAS à LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013).....	107
5.4.1	Descrição da Evolução da Avaliação de Desempenho Contra Incêndio para Edificações Isoladas Térreas estabelecida ns NBR 15575.....	107
5.4.2	Resultado da Análise Crítica da Avaliação de Desempenho quanto à Segurança Contra Incêndio para Edificações Isoladas até Dois Pavimentos estabelecida na NBR 15575 – Parte 4 (2013).....	109
5.4.3	Análise do Ensaio Experimental Laboratorial em SVVIE requerido na NBR 15575 – Parte 4 (2013), para Edificações Isoladas até Dois Pavimentos.....	110
5.4.4	Discussão da Possibilidade de Aplicação de Ensaio Experimental de Simulação de Incêndio em Campo na escala real (1:1) para HIS térreas	113

5.4.5 Proposições de Inovação ao Item de Desempenho Contra Incêndio estabelecido na NBR 15575 (2013).....	127
Capítulo 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	138
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	138
6.1.1 Considerações sobre o escopo do trabalho.....	138
6.2 RESULTADOS E APRENDIZADOS PRINCIPAIS.....	140
6.2.1 Considerações sobre o uso de Ensaio Experimentais para Avaliação de Desempenho.....	141
6.2.2 Considerações sobre a Análise Crítica dos Ensaio Experimentais de Desempenho (EED) Recomendados ns NBR 1557 (2013)	141
6.2.3 Considerações sobre Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho (EED) para Avaliação de Desempenho em Edificações HIS térreas	142
Capítulo 7 – CONCLUSÕES.....	151
7.1 CONCLUSÕES.....	151
7.2 SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS.....	152
APÊNDICE A – Mapeamento dos Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013).....	199
APÊNDICE B – Evolução dos Métodos de Avaliação entre as versões 2008 e 2013 da ABNT NBR 15575 (2013).....	180
APÊNDICE C – Análise Interpretativa dos EED realizados no LEME/UFRGS para Avaliação de Desempenho de Edificações HIS Térreas.....	188
APÊNDICE D – Proposta de procedimento de ensaio experimental em campo de simulação de incêndio na escala real (1:1).....	191
ANEXO A – Estrutura da ABNT NBR 15575 (2013).....	199
ANEXO B – Modelos de Edificações Térreas com SVVE inovadores...	209

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

Figura 1.1: Estrutura dos capítulos da tese.....	10
--	----

Capítulo 4 METODOLOGIA

Figura 4. 1: Estrutura da estratégia de pesquisa.....	52
---	----

Figura 4. 2: Estrutura do delineamento da estratégia experimental.....	53
--	----

Capítulo 5 DISCUSSÃO E PROPOSIÇÕES DE MELHORIA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS PARA INCORPORAÇÃO À NBR 15575

Figura 5.1: Posicionamento dos (a) termopares na superfície do corpo de prova e (b) do defletômetro.....	62
--	----

Figura 5.2: Representação das incertezas relativas às especificações para aplicação do ensaio de choque térmico quanto a geometria do corpo de prova.....	63
---	----

Figura 5.3: Dúvida para aplicação do ensaio referente a área de exposição de ação de calor de choque térmico no corpo de prova.....	64
---	----

Figura 5.4: Representação das incertezas relativas às especificações para aplicação do ensaio de choque térmico quanto a distância do painel radiante em relação ao corpo de prova	64
--	----

Figura 5.5: Dúvidas para execução do ensaio quanto ao equipamento de ação de calor e choque térmico: (a) mesmo tamanho do corpo de prova, (b) maior que o corpo de prova, mais alto e mais largo e (c) equipamento posicionado na horizontal	65
--	----

Figura 5.6: Dúvidas para execução do ensaio quanto a aspensão dos jatos d' água: (a) jatos constantes e uniformes, (b) jatos simulando ação de chuva sem vento e (c) lâmina d' água	65
---	----

Figura 5.7: Resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico em relação aos deslocamentos horizontais instantâneos (dh) para os modelos D, E, F e G de Edificações Térreas.....	68
---	----

Figura 5.8: Aspecto final do Painel 1 do SVVE do Modelo D após o ensaio de ação de calor e choque térmico	69
---	----

Figura 5.9: Sugestão de dimensões mínimas do corpo de prova para o ensaio de ação de calor e choque térmico	71
Figura 5.10: Exemplos de radiação convecção do equipamento para ação de calor e choque térmico em SVVE	72
Figura 5.11: Desenho esquemático do reúso d'água	73
Figura 5.12: Desenho esquemático do confinamento do corpo de prova com auxílio de um quadro de apoio e da fixação do suporte do defletômetro para ensaio de ação de calor e choque térmico em SVVE.....	75
Figura 5.13: Posição do corpo mole antes e durante o ensaio de impacto de corpo mole.....	78
Figura 5.14: Resultados do d_h apresentados pelos SVVE dos modelos B, C e D quando submetidos ao ensaio de impacto de corpo mole e o d^h limite para a energia de 240J adotado ns NBR 15575 (2013).....	81
Figura 5.15: Resultados do d_{hr} apresentados pelos SVVE dos modelos B, C e D quando submetidos ao ensaio de impacto de corpo mole e o d_{hr} limite para a energia de 240J adotado ns NBR 15575 (2013).....	82
Figura 5.16: Posição dos sensores de medição das temperaturas internas e externas: (a) planta baixa e (b) corte esquemático	89
Figura 5.17: Mapa das zonas climáticas brasileiras, (LABEEE, 2004).....	92
Figura 5.18: Gráfico dos resultados do ensaio de desempenho térmico por medição em campo em relação a variação de temperatura interna e externa para os protótipos em escala real (1:1) dos modelos A, B e C.....	96
Figura 5.19: Posição dos termopares no corpo de prova representativo do SVVE (elemento)	104
Figura 5.20: Perfil de temperatura nos SVVE dos Modelos B e D e temperatura ambiente no laboratório durante o ensaio	105
Figura 5.21: Forno para ensaio experimental laboratorial de resistência ao fogo em SVVIE: (a) LEME/UFRGS, (b) IPT e (c) Laboratório de Furnas	111
Figura 5.22: Desenho esquemático da mobília do protótipo e o ponto de ignição.....	116
Figura 5.23: Instrumentação: distribuição e localização dos termopares no protótipo	117
Figura 5.24: Instrumentação: Distribuição e localização dos pontos de coleta dos gases no protótipo	117
Figura 5.25: Instrumentação: (a) árvore de termopares B e C no interior protótipo e (b) pontos de coleta dos gases C_4 e C_5 e barreira B_2	118

Figura 5.26: Instrumentação: Posição: (a) câmara de filmagem externa e (b) termógrafo fixo	118
Figura 5.27: Temperaturas nas Árvores de Termopares A, B e C durante o ensaios para os horários 9h37min, 9h44min4s, 9h59min4s e 10h8min45s	119
Figura 5.28: (a) Gráfico do comportamento das temperaturas do termopar T ₇ , durante o ensaio, das 09h37min até às 10h06min18s; (b) Temperatura na barreira B ₁ , face exposta, às 09:55h, decorridos 18 minutos do início do ensaio	120
Figura 5.29: 3ª coleta [O ₂ x CO x °C] após 4 minutos do início do ensaio	121
Figura 5.30: 4ª coleta [O ₂ x CO x °C] após 7 minutos do início do ensaio	121
Figura 5.31: Posição das coletas dos gases no ambiente externo e localização das três barreiras: B ₁ , B ₂ e B ₃	122
Figura 5.32: Coleta dos gases externos: (a) próximo a barreira B ₃ e (b) na barreira B ₂	123
Figura 5.33: Gráfico da concentração de oxigênio (O ₂) no ambiente externo localizado nas três barreiras: B ₁ , B ₂ e B ₃	123
Figura 5.34: Gráfico da concentração de monóxido de carbono (CO) no ambiente externo localizado nas três barreiras: B ₁ , B ₂ e B ₃	124
Figura 5.35: Vista logo após o colapso do protótipo: (a) vista natural e (b) vista do termógrafo	125
Figura 5.34 – Efeitos da radiação térmica em sólidos densos (madeira, plástico, tecido humano) em ar calmo – 20 °C	133
Figura 5.35 - Curva de liberação de calor para ensaio teste de fogo em compartimento (quarto) na escala real (1:1) realizado pelo BRE, Garston, U.K.....	135

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

Tabela 1.1: Resumo dos modelos das edificações HIS térreas estudadas.....	8
---	---

Capítulo 2 O DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

Tabela 2.1: Requisitos do usuário segundo a ISO 6241(1984).....	20
---	----

Tabela 2.2: Desafios para implantação da NBR 15575 no Brasil.....	24
---	----

Capítulo 3 CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE CRÍTICA DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS DA NBR 15575 (2013) PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Tabela 3.1: Ensaio Experimentais: Desempenho estrutural, ABNT NBR 15575 (2013).....	30
---	----

Tabela 3.2: Ensaio Experimentais: Desempenho Contra Incêndio, ABNT NBR 15575 (2013)	32
---	----

Tabela 3.3: Ensaio Experimentais: Desempenho de Uso e Operação, ABNT NBR 15575 (2013)	33
---	----

Tabela 3.4: Ensaio Experimentais: Desempenho de Estanqueidade à água, ABNT NBR 15575 (2013)	34
---	----

Tabela 3.5: Ensaio Experimentais: Desempenho Térmico, ABNT NBR 15575 (2013)	35
---	----

Tabela 3.6: Ensaio Experimentais: Desempenho Acústico, ABNT NBR 15575 (2013)	36
--	----

Tabela 3.7: Ensaio Experimentais: Desempenho Lumínico, ABNT NBR 15575 (2013)	37
--	----

Tabela 3.8: Ensaio Experimentais: Desempenho de Durabilidade e Manutenibilidade, ABNT NBR 15575 (2013)	37
--	----

Tabela 3.9: Ensaio Experimentais: Desempenho de Saúde, Higiene e Qualidade do Ar, ABNT NBR 15575 (2013)	38
---	----

Tabela 3.10: Ensaio Experimentais: Desempenho de Conforto Tátil e Antropodinâmico, ABNT NBR 15575 (2013)	38
--	----

Tabela 3.11: Ensaio Experimentais: Desempenho de Adequação Ambiental, ABNT NBR 15575 (2013)	38
Tabela 3.12: Conceitos dos Produtos Utilizados na Composição de uma Edificação Habitacional, ABNT NBR 15575(2013).....	39
Tabela 3.13: Relação de EED ABNT NBR 15575(2013) x IPT/LEME/Sem ou pouco histórico na literatura técnica para edificações HIS térreas.....	45

Capítulo 5

DISCUSSÃO E PROPOSIÇÕES DE MELHORIA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS PARA INCORPORAÇÃO À NBR 15575

Tabela 5.1: Resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico em relação aos deslocamentos horizontais instantâneos (dh) para os modelos D, E, F e G de Edificações Térreas.....	68
Tabela 5.2: Resultado do ensaio de ação de calor e choque térmico para os SVVE dos Modelos D, E, F e G de Edificações Térreas, em relação ao deslocamento horizontal residual (dhr)	76
Tabela 5.3: Massa, altura e energia do impacto do corpo mole.....	79
Tabela 5.4: Critério e parâmetros de desempenho para SVVE, sem e com função estrutural, para casas térreas conforme energias de impacto mole	79
Tabela 5.5: Resultado do ensaio de impacto de corpo mole para dh e dhr nos SVVE dos modelos B, C e D para energia de 240J e os limites dos d_h e d_{hr}	83
Tabela 5.6: Sugestão de nível de desempenho: impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural	87
Tabela 5.7: Dados de dias típicos de verão de algumas cidades brasileiras.....	90
Tabela 5.8: Dados de dias típicos de inverno de algumas cidades brasileiras.....	91
Tabela 5. 9: Critérios e níveis de desempenho térmico (M, I e S) para edificações ou protótipos de edificação, em escala real (1:1), parâmetros de aceitabilidade e limites de temperaturas internas quando expostos às condições de verão e de inverno	93
Tabela 5.10: Temperaturas máximas e mínimas para os dias típicos de verão e inverno, respectivamente, registrados pelo ensaio de desempenho térmico por medição em campo para os protótipos dos Modelos A, B e C, em escala real (1:1)..	95
Tabela 5.11: Dados de dias típicos de inverno das cidades capitais da Região Sul do Brasil	100

Tabela 5.12: Sugestão de temperaturas mínimas internas para edificações localizadas nas zonas bioclimáticas de 1 a 8 para as condições de inverno.....	101
Tabela 5.13: Evolução das temperaturas ao final das 8 horas no elemento do SVVE dos Modelos B e D	105
Tabela 5.14: Carga de incêndio da mobília da sala do protótipo do modelo D.....	115
Tabela 5.15: Relação entre os pontos de coleta e os termopares	118
Tabela 5.16: Concentração de monóxido de carbono no ar e os efeitos nos seres humanos	131
Tabela 5.17: Concentração de monóxido de carbono (CO) no ambiente e sintomas nos seres humanos	132
Tabela 5.18: Limite de tolerância a contaminantes	132
Tabela 5.19 – Temperaturas de ignição e autoignição de alguns materiais	134
Tabela 5.20 – Limites mínimos para os parâmetros de aceitabilidade adotados para os critérios de desempenho de edificações habitacionais térreas	136
Tabela 5.21 – Requisitos, critérios e parâmetros de aceitabilidade para avaliação de desempenho contra incêndio de edificações habitacionais térreas, isoladas	136

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Siglas

AA	Adequação Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
aC	Antes de Cristo
An	Antropodinâmico
ASTM	<i>American Comity for Testing and Materials</i>
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BNH	Banco Nacional de Habitação
CB	Comitê Brasileiro
CBIC	Câmara Brasileira da Industria da Construção
CEF	Caixa Econômica Federal
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
CIB	<i>Conseil International Du Bâtiment</i>
CIB TG37	<i>Performance Bases Building Regulatory Systems</i>
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Batiment</i>
CT	Conforto Tátil
DA	Desempenho Acústico
DL	Decreto Lei
DT	Desempenho Térmico
EED	Ensaio Experimentais de Desempenho
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
ETA	Aprovações Técnicas Europeias ⁹
Estanq	Estanqueidade
EOTA	<i>European Organisation for Technical Approvals</i>
EPS	Poliestireno Expandido
EUA	Estados Unidos da América
EVA	Etileno com Acetato de Vinila
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FLE	Fundação Luiz Englert
HIS	Habitação de Interesse Social
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	<i>International Organization Standardization</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRCC	<i>Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee</i>
ITA	Institutos Tecnológicos de Avaliação
LEME	Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lu	Lumínico
NBR	Norma Brasileira
NBS	<i>National Bureau of Standards</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
MPa	Mega Pascal
Pa	Pascal
PeBBU	<i>Performance Based Building</i>
PU	Poliuretano Expandido
PVC	Polícloro de Vinila

RILEM	<i>Internation Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures</i>
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios
RT	Relatório Técnico
SCI	Segurança Contra Incêndio
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SVVIE	Sistema de Vedação Vertical Interna e Externa
SVVE	Sistema de Vedação Vertical Externa
UEAtc	<i>Union Europeene pour Agrément Technique de la Construction</i>
UK	Reino Unido
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VUP	Vida Útil de Projeto

Letras minúsculas

cm	Centímetro
dh	Deslocamento horizontal instantâneo
dhr	Deslocamento horizontal residual
kg	Quilo
fck	Resistência característica do concreto a compressão
h	Altura
h, min, s	Hora, minuto, segundo
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
mca	Metro de coluna d'água
s/n	Sem número
%	Percentual

Letras maiúsculas

A	Acessibilidade
°C	Graus centígrados
D	Durabilidade
E	Estrutural
F	Funcionalidade
G	Peso por metro quadrado
H	Higiene
J	Joules
L	Litro
M	Manutenibilidade
S	Saúde
O	Operação
Q	Qualidade
U	Uso

RESUMO

LORENZI, L.S. **Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social (HIS) Térreas**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, RS.

A construção civil brasileira encontra-se num período de grandes transformações na área tecnológica. O aumento da incorporação de novos materiais, em especial, às edificações habitacionais de interesse social (HIS) térreas e a entrada em vigência da ABNT NBR 15575 (2013) – Edificações Habitacionais: Desempenho –, em 19 de julho de 2013, estão provocando uma mudança importante e significativa no setor. A ABNT NBR 15575 (2013) tem como objetivo regular e avaliar o desempenho de edificações por meio de requisitos, critérios e métodos de avaliação (análise de projeto, simulação computacional, ensaios experimentais e inspeções técnicas). Atualmente o Brasil encontra-se num momento de consolidação de práticas e discussões de métodos de avaliação de desempenho de edificações com especial atenção a ensaios experimentais. Diante desse cenário, esta tese objetiva realizar uma análise crítica dos ensaios experimentais de desempenho (EED) e elaborar proposições de avanços nos métodos e procedimentos de ensaios à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações HIS térreas. A metodologia principal para desenvolvimento desta tese baseou-se na meta-análise dos dados do acervo técnico do Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LEME/UFRGS). A análise evidenciou a possibilidade de melhorias no ensaio de ação de calor e choque térmico para sistema de vedação vertical externo (SVVE), impacto de corpo mole em SVVE e ensaio de desempenho térmico por medição em campo para protótipo, na escala real. E, também, permitiu a proposição de dois novos EED: ensaio experimental em laboratório de desempenho térmico para SVVE e ensaio experimental em campo de simulação de incêndio para protótipo na escala real (1:1). Os resultados indicam que as proposições de avanço nos métodos e procedimentos de ensaios experimentais de desempenho têm potencial para serem incorporadas à ABNT NBR 15575 (2013). Além disso evidenciou-se que os novos ensaios experimentais de desempenho se traduzem em um meio alternativo e eficaz para auxiliar na avaliação de desempenho de edificações HIS térreas.

Palavras chave: *avaliação de desempenho, ensaios experimentais de desempenho, edificações HIS térreas.*

ABSTRACT

LORENZI, L. S. **Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social (HIS) Térreas.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, RS.

The Brazilian construction industry is in a period of changes in technology. Increased the incorporation of new materials to produce the social housing buildings (HIS) and the entry into force of ABNT NBR 15575 (2013) - Housing Buildings : Performance, on July 2013, are causing a major change at the sector. ABNT NBR 15575 (2013) aims to regulate and evaluate the performance building through the requirements, criteria and evaluation methods (design analysis, computer simulation, experimental and technical inspections). Currently in Brazil is a time to consolidate practices and discuss the evaluating methods for check the performance buildings with special attention to experimental tests. In this direction this thesis aims to a critical analysis of the experimental performance tests (EED) and propose advances in methodologies and experimental tests to analysis EED based on ABNT NBR 15575. The main methodology for development the thesis was based on a meta-analysis of data using the technical collection of Structural Tests and Materials Laboratory (LEME) of the Federal University of Rio Grande do Sul (LEME/UFRGS). This analysis shows the possibility of improvements at several tests: heat action and thermal shock to external vertical sealing system (SVVE), soft body impact on SVVE and test of thermal performance by field measurement for prototype, in real scale. Also enable the proposal of two new EED tests, thermal test performance of SVVE and fire simulation on prototype using real scale. The results indicate that the advanced proposals of experimental methods and procedures to performance tests have great potential to be incorporated into the ABNT NBR 15575. The new experimental tests of performance proposal in this thesis are an alternative and effective device to assist the evaluating performance of single-storey HIS buildings.

Keywords: performance evaluation, evaluation parameters, buildings social housing.

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção civil brasileira encontra-se num período de grandes transformações. Na área tecnológica, o aumento da incorporação de novos materiais, em especial, às edificações habitacionais e a implantação da “Norma de Desempenho” estão promovendo mudanças significativas na concepção de edificações e na quebra de paradigmas em relação à avaliação de desempenho de sistemas construtivos. A “Norma de Desempenho” é abordada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15575 (2013) – *Edificações Habitacionais: Desempenho*, doravante NBR 15575, com vigência plena desde 19 de julho de 2013.

Desde 2008, a NBR 15575 está sendo utilizada por órgãos financiadores e algumas empresas do setor da construção civil como balizadora da abordagem tecnológica de desempenho de edificações. A NBR 15575 tem o objetivo de regular e avaliar o desempenho de edificações habitacionais quanto ao atendimento às exigências do usuário ao longo da vida útil, tendo como premissa provocar um “pensar” na concepção de edificações focado no comportamento em uso, na função a que se destina e nas condições de exposição, isto é, aplicando o conceito de desempenho.

A NBR 15575 recomenda que os sistemas construtivos sejam avaliados não só quanto a materiais e estrutura, como segurança estrutural, contra incêndio e uso e operação; mas também quanto a aspectos ligados à habitabilidade e sustentabilidade, tais como estanqueidade à água, conforto térmico e acústico, lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, durabilidade, manutenibilidade, entre outros. Essa abordagem possibilita conhecer, com certa antecedência, o comportamento em uso da edificação e seus sistemas.

Para que essas transformações se efetivem como prática corriqueira às edificações habitacionais, é fundamental a implantação da NBR 15575 pela cadeia produtiva do setor da construção civil. Acredita-se que, desta forma, um novo cenário surgirá no mercado

imobiliário brasileiro, promovendo uma abordagem mais tecnológica – baseada em solução de engenharia e, sem dúvida, um aumento significativo de qualidade às edificações habitacionais.

Estudiosos no assunto, Covelo Silva (2011) e Borges (2012), acreditam que a implantação da NBR 15575 no país será longa, gradual e irreversível, pois entendem que são muitos os agentes envolvidos, e o atual estágio técnico do setor da construção civil demanda muito trabalho para implantá-la; por isso, prospectam um período de 4 a 5 anos para a incorporação do conceito de desempenho à cadeia produtiva da construção civil.

Os projetistas, considerados os impulsionadores da cadeia produtiva, têm papel de destaque no processo. Estima-se que, através desses profissionais, pode-se disseminar e aplicar o conceito de desempenho às edificações habitacionais. No entanto, são necessárias ações de conscientização e motivação para começar a gerar o acultramento do setor quanto ao desempenho de edificações habitacionais. Esse fato acarretará numa postura nova para o Brasil.

Em países da União Europeia como França, Espanha e Portugal, já existe esse acultramento, bem como uma legislação vigente quanto à aplicação do conceito de desempenho às edificações durante todo o ciclo de vida. Nesses países, a avaliação de desempenho acontece desde a fase de concepção até a pós-ocupação das edificações, sendo que uma das ações é verificar a conformidade do projeto com o comportamento em uso do edifício. Essa postura permite fazer uma retroalimentação de situações até então tratadas como corretas e promover melhorias contínuas na elaboração da concepção “*por desempenho*” de edifícios.

A cultura europeia quanto ao desempenho de edificações surgiu no período após a Segunda Guerra Mundial, razão da reconstrução de edificações com muitos percalços em função da incorporação de novas tecnologias, sem o devido conhecimento do comportamento em uso ao longo do tempo. A solução adotada foi criar entidades especializadas em avaliar o desempenho de sistemas construtivos, antes de serem introduzidos no mercado imobiliário. Atualmente, a concepção de edificações “*por desempenho*” na Europa está sendo impulsionada pela questão da sustentabilidade – que envolve a escassez de recursos.

Percebe-se que o conceito de desempenho já está arraigado na Europa e permite que os usuários lidem com muita naturalidade com o “seguro-desempenho do edifício”. A adoção desse seguro permite, por meio da comprovação do comportamento do edifício, diminuir o risco do não atendimento tecnológico durante sua vida útil.

Este cenário parece estar distante da realidade brasileira. O Brasil despertou tarde em relação ao desempenho comparado à União Europeia (cerca de 30 a 40 anos) e, como uma dessas consequências, o país ainda não dispõe de infraestrutura adequada e qualificada para incorporar essa transformação com rapidez.

É indispensável a necessidade de alavancar a infraestrutura no Brasil para avaliação de desempenho de sistemas construtivos, inovadores ou não. Destaca-se que uma das ações mais impactantes realizadas no Brasil, até o momento, para impulsionar o acultramento do desempenho de edificações, além da NBR 15575, é a criação do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), ligado ao Ministério das Cidades – Governo Federal, que tem como objetivo avaliar sistemas construtivos inovadores destinados a ser utilizados nas edificações habitacionais.

O SINAT tem a essência de estimular a inovação tecnológica, sem aumentar o risco de insucesso no processo de inovação. Porém, isso só foi possível, segundo Borges (2008), pelo insistente trabalho de motivação da Caixa Econômica Federal (CEF) em fomentar a criação de um sistema de avaliação para sistemas construtivos inovadores e, segundo Covelo Silva (2010), pela falta de parâmetros para avaliar sistemas construtivos inovadores, que, anos atrás, só podiam ser avaliados por requisitos de desempenho que não existiam no Brasil. Ambos os autores defendem a ideia de que, dessa maneira, fica mais fácil e menos subjetivo verificar a qualidade das edificações habitacionais.

O SINAT apoia a criação de Institutos Tecnológicos de Avaliação (ITA's) para avaliar o desempenho de edificações que, por consequência, criam a demanda por laboratórios na área de construção civil para realizar ensaios experimentais de desempenho, doravante EED e, conjuntamente, por especialistas na área de desempenho de edificações. Essas articulações devem propiciar a ampliação da discussão sobre métodos de EED e parâmetros de aceitabilidade para os sistemas construtivos, estabelecidos na NBR 15575 (2013).

Entretanto, a falta de uma estrutura laboratorial no Brasil é uma das grandes preocupações do setor para a efetivação da NBR 15575 (2013). Fato esse manifestado por Michalski, Ferreira e Nabuco (2008) quando afirmam que a implantação da NBR 15575 acarretará numa demanda por ensaio laboratorial, ainda não corriqueira no país, e por Zigmantas (2009) e Weber (2010) ao expressarem que os laboratórios brasileiros não estão equipados e há falta de pesquisadores na área.

Essa preocupação efetiva-se na medida que não existem laboratórios em número suficiente e com estrutura adequada para atender à demanda quanto à avaliação de desempenho de edificações. Embora existam aproximadamente 30 laboratórios acreditados pelo INMETRO para ensaios de construção civil, Lira (2011) diz que nem todos têm a capacidade de avaliar o desempenho de sistemas construtivos de edifícios.

Entretanto, o estágio atual do desconhecimento quanto ao comportamento de sistemas construtivos em uso e ao longo da vida útil pode estar associado à falta de pesquisas no setor e da criação de um banco de dados sobre os sistemas construtivos. Covelo Silva (2011) alerta para esse fato quando afirma que o país ainda carece de banco de dados que sirvam de auxílio para tomada de decisão do tipo de sistema construtivo aplicado a determinadas situações.

Desta forma, entende-se que pesquisas na área de avaliação de desempenho de edificações alinhadas à produção de material didático podem suprir a falta de informação aos profissionais da área e, também, promover mudanças significativas na tomada de decisão quanto a seleção e escolha de sistemas construtivos a serem incorporados às edificações. Estima-se que, a partir desse aporte tecnológico, a concepção das edificações pode ser realizada “por desempenho”.

Numa visão realista da situação atual do Brasil, entende-se que o cenário é promissor para o aprimoramento da cadeia produtiva da construção civil, bem como para uma efetivação de qualidade às edificações habitacionais.

1.2 JUSTIFICATIVA

O Brasil encontra-se num momento de consolidação de práticas e discussões de métodos de avaliação com especial atenção a EED e seus parâmetros de aceitabilidade, em função da entrada em vigência da NBR 15575 (2013) que visa incentivar e balizar o desenvolvimento tecnológico através da orientação na avaliação de desempenho de sistemas construtivos das edificações. Uma das grandes preocupações levantadas quanto à eficácia da norma diz respeito ao corpo normativo, mais especificamente aos EED que ainda são bastante deficientes e suas referências para análise dos resultados são escassas e desconexas.

Na opinião de Borges (2008), a NBR 15575 é uma referência para a avaliação de sistemas construtivos (sejam inovadores ou não) e pode ser utilizada para tal fim. Contudo, a referida norma não esgota o assunto, visto que não pode ter responsabilidade de aprovar ou não um

determinado sistema construtivo pelo atendimento a seus requisitos obrigatórios; e enfatiza: a NBR 15575 não contempla todos os sistemas construtivos de edificações.

Borges (2011) destaca que as normas não são absolutas e perfeitas, precisam de atualizações para acompanhar a velocidade das mudanças tecnológicas. Opinião comungada por Thomaz (2013) ao admitir que métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos em normas, principalmente na NBR 15575, devem ser ajustados com o tempo. Ambos os autores são categóricos em afirmar que de nada adianta isso acontecer se não houver um comprometimento setorial de mudança verdadeira na aplicação do conceito de desempenho às edificações.

Em função da pouca experiência nacional em EED para caracterizar o comportamento de sistemas construtivos, foram utilizadas metodologias importadas de países com maior volume de pesquisas realizadas no tema, principalmente da Europa. Ressalta-se que, embora a metodologia seja adequada, as condições desses países são distintas da realidade brasileira, onde se destaca a infraestrutura para os EED e os parâmetros adotados. Para intensificar a discussão, tem-se a percepção de que a NBR 15575 utilizou como premissa para recomendar EED e estabelecer parâmetros o comportamento de sistemas construtivos convencionais.

Esse fato já era alertado por Ferreira (1989) ao afirmar que metodologias para avaliação de desempenho foram trazidas de experiências dos países desenvolvidos onde as condições são bem diferentes, originando critérios muito rigorosos para a realidade existente. Outro fator que o autor chama atenção diz respeito aos EED e parâmetros estabelecidos no Brasil, na década de 1980, direcionados a sistemas construtivos com tecnologia convencional, excluindo, de certa forma, sistemas construtivos inovadores.

Preocupação também compartilhada por Mitidieri Filho (1998 e 2007) quando manifesta certo receio quanto à tendência de utilizar sistema convencional como referência e, por comparação, julgar sistemas inovadores uma prática normal. Confirmando os autores, Thomaz (2013) reconhece, especificamente quanto à NBR 15575, que alguns parâmetros podem estar dissociados da realidade brasileira e – uma vez mais – enfatiza a necessidade de ajustes da norma com o tempo.

Salienta-se que a falta de um volume expressivo de EED e de estudos sobre a representabilidade dos parâmetros quanto aos resultados obtidos, correlações entre procedimentos de ensaio e faixas esperadas de resultados, são fatores que colocam em dúvida EED e parâmetros estabelecidos na NBR 15575. Na opinião de Covelo Silva (2011), o Brasil

não tem EED suficientes para caracterização de sistemas construtivos (inovadores ou não). Porém, na opinião de Thomaz (2013), é fundamental começar a implantação da NBR 15575, mesmo que para isso sejam utilizados parâmetros limitantes aquém dos mínimos internacionais.

Diante desse contexto, várias entidades desenvolveram ou adaptaram procedimentos de ensaio para análise de desempenho, tais como o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e alguns laboratórios de universidades de ponta, como o Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Essa atitude é incentivada pelos autores Borges (2013), Villas Boas (2013) e Thomaz (2013) quando expõem que há muito a ser melhorado nos requisitos, critérios, métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos na NBR 15575 (2013), visto que muitos sistemas não estão contemplados.

Em vista a aproveitar a experiência acumulada ao longo dos últimos anos do LEME/UFRGS em EED para avaliação de desempenho de edificações habitacionais de interesse social (HIS) térreas, esta tese busca fazer uma crítica em relação aos EED e parâmetros estabelecidos na NBR 15575 (2013), sem a pretensão de esgotar o assunto, mas sim de provocar discussão sobre a possibilidade de avanços nas metodologias a fim de melhor caracterizar o comportamento em uso de sistemas construtivos das edificações.

Este trabalho, portanto, explora a hipótese de que EED com a incorporação de avanços nas metodologias permitem resultados mais precisos quanto ao comportamento em uso das edificações HIS térreas. Através da aplicação de EED se espera gerar resultados que permitam estimar o desempenho das edificações conforme o comportamento apresentado durante os ensaios.

1.3 OBJETIVOS

Tendo por base o exposto nos itens anteriores, foi estabelecido como objetivo principal deste trabalho realizar uma análise crítica dos EED recomendados na NBR 15575 (2013) e apresentar proposições de avanço nas metodologias de EED para edificações HIS térreas.

Como objetivos específicos se estabelecem:

- a) Mapear requisitos, critérios e métodos de avaliação recomendados na NBR 15575 (2013);

- b) Analisar criticamente os EED recomendados na NBR 15575 (2013) para avaliação de desempenho de edificações HIS térreas;
- c) Propiciar o entendimento de parâmetros de aceitabilidade;
- d) Identificar possibilidade de avanços nas metodologias de EED para melhorar a avaliação de desempenho de edificações HIS térreas.
- e) Propor avanços nas metodologias de EED a serem incorporadas à NBR 15575 (2013).

1.4 LIMITAÇÕES

Algumas limitações se fizeram necessárias para viabilizar a realização da presente tese.

Dentre elas se destacam:

- a) Não é abordada a globalidade das edificações, mas sim as edificações habitacionais de interesse social (HIS) térreas que, por possuir um elevado peso no mercado imobiliário, é aquele que, no atual momento, está a incorporar novas tecnologias aos sistemas construtivos.
- b) Os modelos de edificações HIS térreas utilizados como Estudo de Caso pertencem ao acervo técnico do LEME/UFRGS. A Tabela 1.1 apresenta as características básicas dos modelos selecionados com a descrição da tipologia dos sistemas construtivos, a classificação PESADO e LEVE (vide Anexo B - pg. 222), o tipo de inovação e a imagem dos protótipos.
- c) Os EED de avaliação de desempenho foram realizados no LEME/UFRGS.
- d) Foram considerados a NBR 15575 (2013) – Parte 1 (Requisitos Gerais) quanto a segurança contra incêndio e desempenho térmico e a Parte 4 – (Sistema de Vedação Vertical Interno e Externo – SVVIE) quanto a segurança estrutural, segurança contra incêndio, desempenho térmico e durabilidade e manutenibilidade.
- e) Os EED da NBR 15575 (2013) para edificações térreas pesquisados foram: ação de calor e choque térmico, impacto externo de corpo mole desempenho térmico e de simulação de incêndio.
- f) Não é abordada a produtividade, eficiência, domínio da arte e facilidade de execução dos sistemas construtivos estudados.

Tabela 1.1: Resumo dos modelos das edificações HIS térreas estudadas








Modelo	Descrição Sucinta dos Sistemas Construtivos	Tipo de Inovação	Imagem	
A	Sistema Construtivo PESADO			
	Estrutural e Vedação Vertical (Parede):	Paredes em concreto armado, externa, espessura 120 mm, e internas, espessura de 100 mm.		<i>Paredes de concreto moldado no local.</i>
	Vedação Horizontal (Piso):	Contrapiso de concreto.		
	Cobertura:	Estrutura metálica, telha cerâmica e forro de PVC.		
Aberturas:	Portas de madeira e janelas de PVC			
B	Sistema Construtivo PESADO			
	Estrutural:	Pilares e vigas em concreto armado.		<i>Paredes de concreto pré-moldado.</i>
	Vedação Vertical (Parede):	Placas pré-moldadas de concreto armado (350x2600x 50) mm, largura, altura e espessura, respectivamente.		
	Vedação Horizontal (Piso):	Placas pré-moldadas de concreto armado para laje, piso com espessura de 100 mm.		
Cobertura:	Estrutura em madeira, telha cerâmica e forro de madeira.			
Aberturas:	Portas e janelas em madeira.			
C	Sistema Construtivo PESADO			
	Estrutural e Vedação Vertical (Parede):	Paredes tipo sanduíche constituída de perfis de PVC com o preenchimento em concreto, espessura de 750 mm.		<i>Paredes de concreto moldado no local com forma permanente de PVC.</i>
	Vedação Horizontal (Piso):	Contrapiso de concreto.		
	Cobertura:	Estrutura metálica e telha cerâmica e forro de PVC.		
Aberturas:	Portas de madeira e janelas de PVC.			
D	Sistema Construtivo LEVE			
	Estrutural e Vedação Vertical (Parede):	Paredes em painéis sanduíche de placas de aço galvanizado com núcleo de poliuretano expandido (PU), (Lx2500x60) mm, largura variável, altura e espessura, respectivamente.		<i>Paredes sanduíche de chapas de aço galvanizado com núcleo de poliuretano expandido (PU).</i>
	Vedação Horizontal (Piso):	Contrapiso de concreto.		
	Cobertura:	Telha sanduíche autoportante de placa de aço galvanizado e núcleo de EPS.		
Aberturas:	Portas compostas painéis sanduíche de placas de aço galvanizado com núcleo de poliuretano expandido (PU) e janelas de alumínio.			

Tabela 1.1: Resumo dos modelos das edificações HIS térreas estudadas, (continuação).

Modelo	Descrição Sucinta dos Sistemas Construtivos	Tipo de Inovação	Imagem
Sistema Construtivo PESADO			
E	<p>Estrutural e Vedação Vertical (Parede): Alvenaria com blocos compostos por cinzas pesadas de carvão mineral, cal, cimento, areia e água, dimensões (12 x 15 x 30) cm.</p>	<i>Paredes constituídas de blocos de cinza de carvão mineral com junta seca.</i>	
Sistema Construtivo PESADO			
F	Estrutural: Pilares e vigas em aço galvanizado	<i>Parede sanduíche de placas de GRC, OSB e gesso acartonado, núcleo lã de vidro.</i>	
	Vedação Vertical (Parede): Paredes em painéis sanduíche de placas de <i>Glass Reinforced Concrete</i> (GRC), <i>Oriented Strans Board</i> (OSB) e gesso acartonado, núcleo de lã de vidro, espessura 212 mm.		
	Vedação Horizontal (Piso): O sistema de piso é composto de painéis <i>Wall</i> (chapa cimentícia + núcleo de madeira + placa cimentícia).		
	Cobertura: Telha metálica trapezoidal, camada intermediária de lã de vidro e forro.		
	Aberturas: Portas de madeira e janelas de alumínio.		
Sistema Construtivo LEVE			
G	Estrutural: Pilares e vigas em perfis pultrudados	<i>Paredes sanduíche de lâminas de PRFV, gesso acartonado e núcleo de EPS.</i>	
	Vedação Vertical (Parede): Paredes em painéis sanduíches de duas lâminas de plástico reforçadas de fibra de vidro (PRFV), duas placas de gesso acartonado e núcleo de poliestireno expandido (EPS), espessura de 96 mm.		
	Vedação Horizontal (Piso): Contrapiso de concreto.		
	Cobertura: A definir		
	Aberturas: A definir		

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese estrutura-se em seis capítulos distribuídos em cinco etapas: introdução, estado da arte, metodologia, resultados e conclusões. Primeiramente, é contextualizado o tema desempenho de edificações, abordando-se o conceito de desempenho e sua aplicação às edificações. A seguir, é apresentado um resumo da NBR 15575 e dos desafios para sua implantação. Após, é realizada uma análise crítica em relação aos EED recomendados na NBR 15575 (2013) e os aplicáveis à avaliação de desempenho de edificações HIS térreas.

A seguir, é descrita a metodologia de pesquisa com o objetivo de descrever o método utilizado para realização desta tese. Nos capítulos seguintes, são apresentados os resultados dos EED selecionados para análise crítica e as proposições de avanço as metodologias adotadas na NBR 15575 (2013). Por fim, apresenta-se o capítulo das conclusões da pesquisa. A Figura 1.1 apresenta a estrutura da tese.

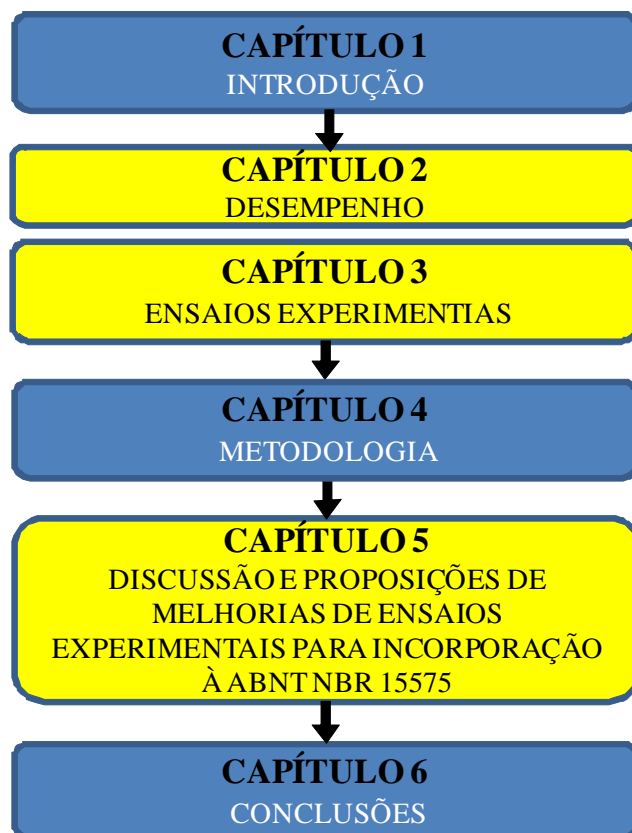


Figura 1.1: Estrutura dos capítulos da tese.

A estrutura desta tese foi dividida nos seguintes capítulos:

Capítulo 1 – Apresenta o tema de pesquisa e a justificativa à escolha do tema e são apresentados o objetivo principal e os específicos, os limitantes da pesquisa e a estrutura da tese.

Capítulo 2 – Contextualiza um histórico do tema desempenho, faz uma abordagem do conceito de desempenho e sua aplicação e apresenta a NBR 15575 (2013) e quais os desafios para sua implantação.

Capítulo 3 – Destina-se aos EED apresentando uma análise crítica dos EED recomendados na NBR 15575 (2013) e a aplicação dos mesmos em edificação HIS térreas.

Capítulo 4 – É exibido o método de desenvolvimento do trabalho, como a seleção e escolha de modelos HIS térreas para estudo de caso (acervo técnico do LEME/UFRGS), análise crítica e seleção dos EED.

Capítulo 5 – Apresenta as proposições de avanços nas metodologias dos EED à NBR 15575 (2013) para avaliação de desempenho de edificações HIS térreas, focados nos EED de ação de calor e choque térmico, impacto externo de corpo mole desempenho térmico e de simulação de incêndio.

Capítulo 6 – São exibidas as conclusões referentes às proposições de avanço das metodologias de EED à NBR 15575 (2013) e a sugestão de novas pesquisas.

Capítulo 2 – O DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

Neste capítulo, é apresentado o histórico do tema desempenho de edificações desde a época egípcia até o momento atual no Brasil, com a entrada em vigência da NBR 15575 (2013). Na sequência, o conceito de desempenho e a sua aplicação às edificações habitacionais são abordados, assim como os desafios para implantação da NBR 15575 (2013) na cadeia produtiva da construção civil brasileira.

2.1 HISTÓRICO

Ao observar a história das construções no mundo, muitos autores se reportam aos tempos antigos e remotos, principalmente à época antes de Cristo (a.C.), citando relatos de que o desempenho tem estado presente nas relações mercadológicas desde que chefes tribais, reis e faraós governavam. Um dos fatos relevante é o código de Hammurabi, datado de aproximadamente 1900 a.C., que estabelece várias regras. Entre elas, cita-se a mais impactante: se um construtor erguer uma casa, e a casa desabar e matar o morador, o construtor será imolado – sacrificado –, morto como vingança. A ideia segue a lógica de que se a construção não desempenhar a sua função adequada ao longo do tempo, o construtor deve sofrer as mesmas consequências.

Indiretamente, o desempenho de edificações já era usado no mundo, porém, foi no início do século XX que se iniciaram estudos para explorá-lo tecnicamente. Com o advento da utilização do aço e do cimento, houve uma mudança significativa na tecnologia empregada para a construção. Isaia (2011) afirma que essa mudança teve grande transformação a partir da descoberta do concreto, primeiramente sendo tratado como aglomerante, para mais tarde se tornar o produto mais consumido no mundo e, em conjunto com o aço, formar o concreto armado.

O mesmo autor diz que, a partir da utilização do concreto armado, as edificações ficaram mais leves e sua geometria mudou, tornando-as mais altas e esbeltas, conseqüentemente, alterando o comportamento do edifício.

Uma visão mais moderna de desempenho começou a ser estruturada no século XX, onde estudos foram propostos pelo *National Bureau of Sciences* (NBS) durante a década de 1920. Nas décadas de 1930 e 1940, ocorreu o desenvolvimento das primeiras normas de desempenho e surgiu a expressão inglesa *performance requirements*¹. Segundo Souza (1983), esse fato colocou a palavra “desempenho” em evidência, sendo escolhida para caracterizar que determinado produto deve apresentar certas propriedades que o capacitem para cumprir sua função quando sujeita a certas ações.

A partir do final da década de 1960, os Estados Unidos da América, EUA, e alguns países europeus começam a estudar e a empenhar-se para solidificar a aplicação do conceito de desempenho às edificações.

Esse movimento teve sua origem anos antes no após a Segunda Guerra, principalmente na Europa, com a construção de edifícios em larga escala para suprir a necessidade latente de moradias. A aplicação de tecnologias contemporâneas para época, sem estudos comprobatórios de desempenho, fez surgir um elevado número de manifestações patológicas que, por sua vez, inviabilizaram o uso de parte das edificações, (BECKER, 2001).

Para enfrentar o problema, a França tomou a frente dos países europeus e desenvolveu um programa para avaliar tecnicamente sistemas construtivos inovadores e, em 1947, criou o *Centre Scientifique et Technique du Batiment*, (CSTB). Em 1960, na Europa, foi criada a *Union Européenne pour Agrément Technique de La Construction*, (UEAtc), com o objetivo de integrar o conceito de desempenho e a avaliação de sistemas construtivos utilizados. Os países membros da UEAtc possuem normas comuns para avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores, sendo que a homologação realizada por um desses países é aceita nos demais, salvo regulamentações locais.

Segundo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, (2011) as *European Technical Approvals* (ETA²) são inspiradas nas homologações concedidas a nível nacional, face ao caráter inovador, têm um período de validade de cinco anos e são concedidas por organismos designados para o efeito pelos respectivos Estados-membros, os quais se agrupam na *European Organisation for Technical Approvals* (EOTA³), criada em 1990, em cumprimento da diretiva dos Produtos de Construção. Quase a totalidade dos membros da UEAtc são igualmente membros da EOTA.

¹ Requisitos de desempenho

² Aprovações técnicas europeias

³ Organização Europeia de Aprovações Técnicas

Movimento similar aconteceu nos EUA impulsionado pela NBS, atual *National Institute of Standards and Technology*, NIST⁴. O primeiro simpósio sobre o conceito de desempenho aplicado a edifícios foi realizado em conjunto com RILEM⁵, ASTM⁶ e CIB⁷, em 1972, *Philadelphia*, EUA; e, em 1975, o CIB definiu desempenho como sendo o comportamento de um produto em utilização.

Um marco importante para a aplicação do conceito de desempenho de edificações ocorreu por meio da ISO⁸ 6241 – *Performance Standards in Building: Principles for their Preparation and Factors to be Considered*, em 1984. A ISO 6241 estabelece princípios gerais para a elaboração de padrões de desempenho na construção civil expressa em requisitos funcionais dos usuários, fazendo a ligação entre o desempenho de edificações e as exigências dos usuários.

No Brasil, durante as décadas de 1970 e 1980, foram realizados os primeiros estudos a respeito do tema pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para o Banco Nacional de Habitação (BNH). Esse período ficou conhecido como o “milagre brasileiro”, caracterizado pelo acentuado volume de obras, priorizando a produtividade e a introdução de inovações aos sistemas construtivos. As primeiras publicações, no Brasil, reportam-se sobre utilização inadequada dos sistemas construtivos às funções e condições de exposição, visto a falta de desenvolvimento ou adaptação às exigências dos usuários.

Ferreira (1989) comprovou em estudo que as soluções inovadoras implantadas no país, principalmente nos conjuntos habitacionais financiadas pelo BNH, não foram avaliadas tecnicamente. Essa situação é também retratada pelos autores Gonçalves *et al.* (2003) ao se referirem às soluções inovadoras como uma alternativa aos produtos e processos convencionais da época, porém, sem conhecimento prévio do comportamento em uso.

Repetia-se, no Brasil, o que ocorrera na Europa no pós Segunda Guerra. A solução encontrada nos países europeus, através da criação de programas para unificar a avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores, não foi usada como exemplo. No Brasil, nenhuma ação foi realizada em conjunto para reverter o problema. E, como consequência, o setor da

⁴ NIST – Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia

⁵ RILEM – *Réunion Internationale de Laboratoires d'Essais et de recherches sur les Matériaux et Constructions*.

⁶ ASTM – *American Comity for Testing and Materials*.

⁷ CIB – *Conseil International Du Bâtiment* criada em 1953 com o nome abreviado, mas em 1998, a sigla foi mantida, mas o nome completo mudou-se para “*International Council for Research and Innovation In Building and Construction*”. Destaca-se por ser uma das principais plataformas para cooperação internacional e intercâmbio de informações de pesquisas na área de construção e inovação.

⁸ *International Organization for Standardization*.

construção civil retraiu em relação à introdução de novas tecnologias às edificações habitacionais. Situação que piorou com o advento da crise econômica dos anos 1980 e 1990.

Em decorrência dos acontecimentos e com o enfoque de fomentar a qualidade das obras e alavancar o setor da construção civil, a CEF encomendou ao IPT um estudo sobre o tema, que transcorreu de 1981 a 1997. Um dos trabalhos pioneiros no assunto foi publicado no livro “*Tecnologia de Edificações*”, lançado pelo IPT, em 1988, com ênfase na avaliação de desempenho de sistemas construtivos para edificações habitacionais. Durante esse período, segundo Mitidieri Filho (2007), o IPT desenvolveu, com apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o trabalho intitulado “Normas Mínimas de Desempenho”, concluído em 1995.

Durante a década de 1990, algumas ações foram tomadas em prol da aplicação do conceito de desempenho às edificações, com avanços para consolidação do tema em vários países. Em 1996, houve a criação da IRCC⁹, e, em 1999, formou-se o CIB TG37¹⁰, ambos com um objetivo comum: desenvolver um sistema para regular internacionalmente as construções civis com base no conceito de desempenho. A iniciativa mais importante relacionada ao estudo do tema “desempenho de edificações” ocorreu em 2000 com a criação da rede temática PeBBu¹¹, no âmbito da Comunidade Europeia.

Para os autores Barrett, Sexton e Lee (2005), a rede foi focada na aplicação do conceito de desempenho para promover iniciativas de crescimento competitivo e sustentável. A rede PeBBu, liderada pelo CIB, desenvolveu importante trabalho na consolidação de pesquisas sobre o tema, concluindo-o em 2005.

Enquanto isso, no Brasil, acontecia um movimento, liderado pela CEF, para o desenvolvimento de um trabalho que regulasse a avaliação de desempenho de edificações habitacionais. A CEF, em 2000, solicitou ao IPT uma revisão do trabalho desenvolvido, anteriormente para o BNH, tendo como resultado a constatação de que não havia interdependência entre as referências, identificando a necessidade de harmonizá-las e transformá-las em normas técnicas, (BORGES, 2008).

⁹ IRRC - *Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee*

¹⁰ CIB TG37 – *Performance Bases Building Regulatory Systems*

¹¹ PeBBu – *Performance Based Building*

O trabalho resultou no documento intitulado “*Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitações*”, desenvolvido pelo IPT (2000), com o apoio da FINEP, originando a criação da Comissão de Estudos da Construção Civil (CB-02), na ABNT, para a discussão sobre o assunto dentro do meio técnico, com o objetivo de ter um consenso e transformá-lo em Norma Técnica. O desafio de coordenar esse trabalho ficou a cargo do Comitê Brasileiro da Construção Civil, CB-02, área de “Desempenho de Edificações (136.01)”, e contou com a participação de especialistas de diversas áreas para elaboração de textos, coordenação e apoio a comissão de estudos durante todo o processo de aprovação de uma nova norma.

Essa foi a ação mais efetiva realizada pelo Brasil para incorporar o conceito de desempenho às edificações habitacionais. Borges (2008), em sua dissertação, descreveu com propriedade o processo de elaboração da NBR 15575 (2008), sendo o coordenador dos trabalhos de 2004 a 2008, precedido pelo engenheiro Ércio Thomaz no período de 2000 a 2004. A NBR 15575 foi publicada em maio de 2008 e deveria entrar em vigência no ano de 2010. Nesse período, ocorreu um movimento liderado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) solicitando mais tempo para que as empresas da cadeia produtiva da construção civil pudessem se organizar para atendê-la.

O Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo – Sinduscon/SP (2010) relata que embora a ABNT, num primeiro momento, se posicionasse de maneira contrária ao adiamento, ela atendeu ao pedido e abriu o processo de consulta nacional para adiamento da vigência da norma. Foram computados cerca de 5 mil votos, desses 93% a favor da prorrogação, em 17 mil acessos, maior número de visitas em toda a história de consultas nacionais feitas pela ABNT. Diante desse fato e das quase 5 mil propostas de modificações apresentadas, o CB-02 decidiu que, além do adiamento, a norma passaria por um processo de revisão.

No início de 2011, deu-se início aos trabalhos de revisão com coordenação do engenheiro Fábio Villas Boas. Houve a formação de novos grupos de trabalhos temáticos para analisar os itens mais polêmicos e divergentes da norma. Nos anos de 2011 e 2012, ocorreram vários debates a respeito das alterações necessárias, e, posteriormente, o projeto de norma foi enviado à consulta pública nacional.

2.2 ABORDAGEM DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

A evolução do conceito de desempenho de edificações, nos tempos atuais, começou nos anos 1930 com as primeiras publicações a respeito. Com o decorrer do tempo, houve a transformação da percepção do que é considerado desempenho de edificações, e pesquisadores da área realizaram adaptações do conceito em detrimento às mudanças de comportamento do homem. Descreve-se, a seguir, a evolução do conceito de desempenho aplicado a edificações habitacionais, com especial atenção aos pesquisadores brasileiros da área e o estágio atual no Brasil.

2.2.1 Conceito de desempenho de edificações

A definição de desempenho de edificações começou a ser formulada em meados do século XX, mais precisamente na década de 1960, na França, onde Blachère (1969) associou o comportamento do edifício em uso ao desempenho. Em 1995, o CIB sistematizou e difundiu o conceito de desempenho como sendo o comportamento de um produto em utilização, comungado e acrescido do termo durante a vida útil, pela rede PeBBu (2005).

A concepção da norma ISO 6241 (1984) foi um marco para a cultura de aplicação do conceito de desempenho às edificações habitacionais, com a percepção do significado de desempenho traduzida em requisitos. A norma foi incorporada por muitos países, principalmente na Europa, mudando a forma de pensar a edificação. Borges (2008) se refere à ISO 6241 como uma norma atual, com pequenas ressalvas como o aspecto ambiental, fato esse não abordado à época.

No Brasil, cinco anos mais tarde da publicação da ISO 6241, Ferreira (1989) publicou artigo considerando o conceito de desempenho um instrumento importante à tecnologia do edifício, cuja função é satisfazer as exigências do usuário quando submetido às condições de exposição ao longo da vida útil. Quase uma década depois, Mitidieri Filho e Helene (1998) definem: “a palavra desempenho, cujo significado é comportamento em utilização, caracteriza o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações durante sua vida útil”.

Mitidieri Filho (2007) ratifica o conceito e acrescenta: “essas influências ou ações são denominadas condições de exposição a que o empreendimento, o edifício, seus elementos construtivos e todos os materiais de construção serão submetidos, durante sua vida útil”.

Os autores Mitidieri Filho e Helene (1998) reforçado por Mitidieri Filho (2007) introduziram o equilíbrio dinâmico entre partes no conceito de desempenho: “o desempenho de um produto é o resultado do equilíbrio dinâmico que se estabelece entre ele o meio que o circunda”.

Observa-se que, o conceito de desempenho expresso pelos autores Mitidieri Filho e Helene (1998) e Mitidieri Filho (2007) são idênticos, mesmo com uma diferença temporal de nove anos. Seguindo na mesma linha Covelo Silva (2010) conceitua desempenho como sendo o comportamento em uso do produto durante a sua vida útil, desde que cumpra com a função para o qual foi projetado nas condições de exposição.

A mesma autora afirma que as alterações ocorridas no conceito de desempenho estão na abordagem, e enfatiza: “o desempenho não está preocupado com a forma com que a edificação foi construída, mas com o resultado apresentado”. Na opinião de Borges (2011) o conceito de desempenho de edificações tem caráter sistêmico e probabilístico, pois atender as necessidades humanas é tarefa complexa, varia em determinados contextos e se mostra crescente e variável ao longo do tempo.

A NBR 15575 (2013) define desempenho como o comportamento em uso de um edifício e seus sistemas e traz uma abordagem nova, em relação a versão anterior, ao incorporar no corpo do texto o termo sustentabilidade ligando-o diretamente aos itens de durabilidade e manutenibilidade de edificações.

Essa visão já vinha sendo trabalhada por Mateus (2004) ao expressar que, do ponto de vista do impacto ambiental, quanto maior for o ciclo de vida de um edifício, maior vai ser o período de tempo durante o qual os impactantes ambientais produzidos durante a fase de construção serão amortizados. E, também, por Souza (2010) ao afirmar que a sustentabilidade é uma prioridade mundial e indispensável à avaliação de desempenho de edificações.

Em concordância com os autores acima sobre a incorporação do termo “sustentabilidade” na NBR 15575 (2013), Thomaz (2013) enaltece a inter-relação adotada entre sustentabilidade, durabilidade e manutenibilidade ao comentar: “falar de sustentabilidade sem levar em consideração a durabilidade e manutenção, não é mais cabível ao setor”.

Percebe-se que, até o momento, fatores que impactam no desenvolvimento do conceito de desempenho estão ligados ao ser humano, à função e às condições de exposição da edificação. Priorizando em contribuir com o tema e a atualização do conceito de desempenho entende-se que: “O desempenho de uma edificação está no equilíbrio entre o meio no qual está inserida, a função a qual se destina e a composição dos sistemas construtivos, durante sua vida útil.”.

A palavra “equilíbrio” entra para dar uma abordagem de coerência entre os fatores que impactam no conceito de desempenho de edificações, alinhado com a atual preocupação quanto à utilização de recursos ambientais e a incorporação de novas tecnologias às edificações. Diante do exposto, percebe-se que o conceito de desempenho é mutável e contemporâneo.

2.2.2 Aplicação do conceito de desempenho de edificações

Na maioria dos países europeus, a aplicação do conceito de desempenho foi marcada pela publicação da ISO 6241, que promoveu a tradução das necessidades humanas em requisitos de desempenho, fazendo a correlação entre as exigências dos usuários e o desempenho do edifício ao longo do tempo. Para melhor conhecer estes requisitos, a Tabela 2.1 apresenta requisitos do usuário segundo a ISO 6241(1984).

Tabela 2.1: Requisitos do Usuário Segundo a ISO 6241 (1984).

Item	Categoria	Exemplos
1	Requisitos de estabilidade	Resistência mecânica a ações estáticas e dinâmicas, tanto individualmente quanto em combinação. Resistência a impactos, ações abusivas intencionais ou não, ações acidentais, efeitos cíclicos.
2	Requisitos de segurança contra incêndio	Risco de irrupção e de difusão de incêndio, respectivamente. Efeitos psicológicos de fumaça e calor. Tempo de acionamento de alarme (sistemas de detecção e de alarme). Tempo de evacuação da edificação (rotas de saída). Tempo de sobrevivência (compartimentalização do fogo).
3	Requisitos de segurança em uso	Segurança relativa a agentes agressivos (proteção contra explosões, queimaduras, pontos e bordas cortantes, mecanismos móveis, descargas elétricas, radioatividade, contato ou inalação de substâncias venenosas, infecção). Segurança durante movimentação e circulação (limitação de escorregamento nos pisos, vias não obstruídas, corrimões etc.) Segurança contra a entrada indevida de pessoas e/ou animais
4	Requisito vedação	Vedação contra água (de chuva, do subsolo, de água potável, de águas servidas etc.). Vedação de ar e gás. Vedação de poeira e de neve.
5	Requisitos térmicos e de umidade	Controle de temperatura do ar, da radiação térmica, da velocidade do ar e da umidade relativa (limitação de variação em tempo e no espaço, resposta de controles). Controles de condensação.
6	Requisitos de pureza do ar	Ventilação. Controle de odores.
7	Requisitos acústicos	Controle de ruídos internos e externos (contínuos e/ou intermitentes). Inteligibilidade sonora. Tempo de reverberação.
8	Requisitos visuais	Iluminação natural e artificial (iluminação necessária, estabilidade, contraste luminoso e proteção contra luz muito forte). Luz solar (insolação). Aspectos de espaços e de superfícies (cor, textura, regularidade, nivelamento, verticalidade, horizontalidade, perpendicularidade etc.). Contato visual, internamente e com o mundo exterior (encadeamentos e barreiras referentes à privacidade, proteção contra distorção ótica).
9	Requisitos táteis	Propriedade das superfícies. Aspereza, segura, calor, elasticidade. Proteção contra descargas de eletricidade estática.
10	Requisitos dinâmicos	Limitação de vibrações e acelerações de todo o conjunto (transientes e contínuas). Comodidade dos pedestres nas áreas expostas ao vento. Facilidade de movimentação (inclinação das rampas, disposição dos degraus de escadas). Margem de manobras (manipulação de portas, janelas, controle sobre equipamentos etc.)
11	Requisitos de higiene	Instalação para cuidados e higiene do corpo humano. Suprimento de água. Condições de feitura de limpeza. Liberação de águas servidas, materiais servidos e fumaça. Limitação de emissão de contaminantes.
12	Requisito para a conveniência de espaços destinados a usos específicos	Quantidade, tamanho, geometria, subdivisão e inter-relação de espaços. Serviços e equipamentos. Condições (capacidade) de mobiliamento e flexibilidade.
13	Requisito de durabilidade	Conservação (permanência) de desempenho com relação à necessária vida útil de serviços sujeitos à manutenção regular.
14	Requisitos econômicos	Custos de manutenção, operacionais e de capital. Custos de demolição.

Na década de 1990, Covelo Silva (1996) percebe que o conceito de desempenho pode ser aplicado no processo de projeto da concepção a retroalimentação de avaliações pós-ocupação, e Mitidieri Filho e Helene (1998) visualizam que a aplicação do conceito de desempenho permite ao mercado um potencial de construir edifícios melhores, pela possibilidade de atendimento às exigências humanas.

Em recente abordagem sobre o assunto, Mitidieri Filho (2007) e Borges (2008) relatam que, embora a ISO 6241 seja datada da década de 1980, ela continua a referenciar requisitos atuais de desempenho às edificações habitacionais. Os autores citam como exemplo as exigências de caráter absoluto – segurança estrutural – e relativo – que são estabelecidas por uma escala de conforto, sendo necessidades que devem ser atendidas satisfatoriamente pelo edifício habitacional.

Uma abordagem do comportamento em uso de sistemas construtivos para definir a qualidade da edificação pode representar, na prática, a aplicação do conceito de desempenho. Essa postura começa a ser desenvolvida no Brasil, alavancada na NBR 15575 (2013) e pode representar uma mudança significativa na forma de pensar a edificação, ou seja, pensar a edificação “por desempenho”.

A metodologia de pensar “por desempenho” está inerente ao processo de concepção do projeto em alguns países da Europa, onde se destaca não ocorrer apenas no projeto, mas em toda a cadeia produtiva do setor da construção civil. Especificamente em Portugal, país com características climáticas muito semelhantes as da região sul brasileira, Mateus (2004) diz que a aplicação do conceito de desempenho de edificações é destacada em função da política europeia comum aos critérios de normalização dos materiais.

O conceito de desempenho, na visão de Batlouni Neto (2007), é um grande aliado do projetista, pois permite ao mesmo estabelecer o comportamento desejado, por meio de requisitos, quanto às condições de exposição e ao atendimento às necessidades do usuário. Na opinião de Battagin (2010), são três os grandes “atores” do setor da construção civil que impulsionam a aplicação do conceito de desempenho na prática: projeto, execução e uso; o projeto a pensar nos conceitos, a execução a agir na direção do desempenho e o usuário a usar a edificação adequadamente.

Mesma percepção tem Covelo Silva (2011) quando diz que o desempenho está baseado em projetar e construir com base nas necessidades do ciclo de vida do edifício: concepção, produção e uso. Em concordância com os autores acima, Klavdianos (2012) diz que, com a

aplicação do conceito de desempenho, o projetista deve conseguir especificar corretamente os insumos da edificação e prevê projetos mais elaborados.

Para a aplicação do conceito de desempenho a edificações, entende-se que o projetista exerce papel de destaque, sendo o grande impulsionador da movimentação da “engrenagem” da cadeia produtiva da construção civil, alavancando a implantação da NBR 15575 (2013). Na mesma linha de pensamento, Borges (2012) credita ao projetista o enquadramento da cadeia produtiva à aplicação do conceito de desempenho nos produtos.

Cabe destacar a experiência de Portugal com a aplicação do conceito de desempenho, onde Souza (2002) *apud* Mateus (2004) alertam para estudos que comprovam que o conceito de desempenho não conseguiu afetar positivamente a qualidade de edificações, merecendo destaque:

- Os custos de construção não têm tido as reduções espectáveis face às evoluções conseguidas com a aplicação do conceito de desempenho na cadeia produtiva da construção civil;
- A qualidade de alguns produtos da construção é efetivamente variável e, com frequência, medíocre sob o ponto de vista técnico;
- A qualidade é insuficiente, e os acabamentos são poucos cuidados e;
- Dessa realidade resulta uma degradação muito rápida do edifício, o envelhecimento precoce.

Mateus (2004) faz um contraponto quando afirma que a certificação de materiais para construção, na Europa, tem conseguido uma evolução significativa de qualidade e, sem dúvidas, a utilização desses materiais dá melhores garantias ao usuário e aos construtores e que o custo da construção deixa de ser o único aspecto que influencia a decisão de compra. Porém, o mesmo autor reconhece que a realidade tem apresentado alguns aspectos negativos, nomeadamente no que concerne à durabilidade das construções.

2.3 IMPLANTAÇÃO DA NBR 15575 (2013)

Este trabalho foi desenvolvido, entre 2009 e 2012, adotando como base teórica a NBR 15575 (2008). Porém, a autora atenta à revisão da norma teve acesso às reuniões e aos documentos como membro participativo da atualização da NBR 15575. Durante o processo de revisão da

norma, foi possível atualizar a base teórica com a utilização do projeto de normas e, posteriormente, da própria NBR 15575 (2013), homologada em julho do corrente ano.

A NBR 15575 (2013) está estruturada em três grandes áreas, segundo as exigências dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Cada área é subdividida em responsabilidades, onde se atribui desempenho mínimo que deve ser atendido pelo edifício quando em uso, durante a vida útil, e desempenhando sua função no meio onde está inserido. Quando a totalidade das responsabilidades tem desempenho comprovado à função que foi projetado, diz-se que a edificação tem desempenho adequado. A estrutura completa da NBR 15575 (2013) está no Anexo A.

2.3.1 Desafios à implantação da NBR 15575 (2013)

Borges (2008) identificou, durante o processo de elaboração da norma, que a mesma poderia ser aplicada a qualquer tipo de sistema construtivo, tornando-se uma norma com característica abrangente, inclusiva e agregadora. Na opinião de Covelo Silva (2010) a criação da avaliação de desempenho às edificações habitacionais por meio de uma norma veio da falta de parâmetros para avaliar sistemas construtivos que fossem inovadores não consagrados pelo uso e que só podiam ser avaliados por requisitos de desempenho que não existiam no Brasil.

Para Borges (2011), a NBR 15575 conseguiu padronizar a tradução técnica das necessidades humanas em requisitos de desempenho objetivos, definindo claramente quais são os requisitos, a forma de mensurá-los e possibilitando identificar se o desempenho desejado foi atingido ou não; dessa forma a Norma fica menos subjetiva quanto a verificação da qualidade do edifício.

Destaca-se que a NBR 15575 (2013) tem como objetivo estabelecer a regularização e avaliação de desempenho de edificação às exigências dos usuários, quanto ao comportamento em uso, de forma intencionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre devem permitir a mensuração clara do seu cumprimento. De acordo com Covelo Silva (2011) não há a prescrição na NBR 15575 (2013) de como construir a edificação, mas qual deve ser o resultado o qual a edificação deve atingir para ter desempenho adequado.

Desde que a NBR 15575 teve sua primeira publicação, em maio de 2008, houve muita especulação em torno da sua implantação no setor da construção civil, e, por motivos já

comentados no início deste capítulo, houve o adiamento da vigência e se aproveitou o momento para realizar uma revisão geral da norma.

Souza (2011) diz que muito do que aconteceu naquele momento foi motivado por algumas empresas que se sentiram ameaçadas na NBR 15575 (2008) por pleno desconhecimento do tema: desempenho. Opinião comungada por Covelo Silva (2011) ao comentar que, na cadeia produtiva da construção civil, excetuando-se a área acadêmica, o conceito de desempenho é novo e gera muitas dúvidas.

A mesma autora diz que o setor ainda coloca entraves no aperfeiçoamento de produtos, e essa postura atrasou o Brasil em termos de novas tecnologias e identifica cinco desafios para a implantação da NBR 15575 (2013) (vide Tabela 2.2) que, se bem trabalhados, podem eliminar os entraves.

Tabela 2.2: Desafios para implantação da NBR 15575 no Brasil.

Fonte: Covelo Silva, (2011).

Desafio	Descrição	Considerações
1	Conscientizar a população brasileira quanto à conceituação de desempenho aplicado ao edifício	Conceito novo. Conceito mental de pensar no edifício na sua concepção, fabricação de materiais, componentes, elementos e soluções envolvendo toda a cadeia produtiva.
2	Caracterização das condições de exposição do edifício	Tudo o que pode interferir no desempenho do edifício.
3	Viabilizar no país tudo que é necessário para colocar em prática cada requisito no projeto e construção de edifícios residenciais	Realidade muito diversa no país. O Brasil tem dimensões continentais, com inúmeras adversidades, inclusive no estado de São Paulo.
4	Cultura da utilização da NBR15575	Assegurar que o usuário saiba diferenciar o produto com desempenho adequado mediante informação clara e precisa e saiba privilegiar as empresas conformes em manter o desempenho projetado, no construído e no uso.
5	Quebrar a barreira do conhecimento para implantar a cultura de desempenho no Brasil	Existe muito preconceito nos diversos tipos de conhecimentos da cadeia produtiva, reuni-los é muito difícil.

Para Bernardes (2011), assessora técnica do CBIC¹², a cadeia produtiva ainda não está preparada para atender à NBR 15575, pois faltam informações sobre a norma e o comportamento em uso de sistemas construtivos.

¹² CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

Na opinião dos autores Souza (2011) e Covelo Silva (2011) essa demanda pode ser suprida com ações constantes e sistêmicas de informação para desmistificar o tema desempenho e de motivação para implantação da NBR 15575. Seguindo na mesma linha de pensamento Thomaz (2012) diz que é preciso despertar a conscientização e a motivação do meio técnico e produtivo para minimizar alguns entraves à implantação da NBR 15575 e na opinião de Borges (2012) o principal desafio está na dificuldade inicial do setor sair da inércia.

O desconhecimento do tema “desempenho” fez com que os sindicatos das indústrias da construção civil, SINDUSCOs, na maioria dos estados brasileiros, realizassem eventos com o objetivo de divulgar e esclarecer a NBR 15575 (2013) e, ao mesmo tempo, motivando as empresas a implantá-la. Como resultado dessas ações, na visão de Covelo Silva (2013), a conscientização, nestes últimos anos, foi fundamental para a aceitação da norma no mercado.

Diante do exposto, percebe-se que a abordagem da NBR 15575 (2013) explora conceitos que não são considerados nas normas prescritivas, contempla tema abrangente e envolve muitas especialidades e peculiaridades técnicas que devem despertar o setor para a utilização de normas atuais e “esquecidas”. Embora opiniões divirjam quanto à preparação do setor para implantar a NBR 15575 (2013), tem-se a certeza: a NBR 15575/2013 já é um marco importante e fundamental na história da construção civil brasileira, considerada por muitos autores como um divisor, ou seja, a construção civil brasileira vai ser conhecida como antes da norma (aN) e depois da norma (dN).

Estima-se, portanto, que a partir da implantação plena da NBR 15575 (2013), o setor da construção civil, juntamente com toda a cadeia produtiva, terá a possibilidade de incorporar a grande mudança conceitual de concepção do produto (edifício), com enfoque “por desempenho”.

Capítulo 3 – CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE CRÍTICA DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS DA NBR 15575 (2013) PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Apresenta-se, neste capítulo, a importância dos ensaios experimentais para avaliação de desempenho e faz-se uma abordagem quanto aos parâmetros que podem evidenciar o atendimento às exigências dos usuários. Posteriormente, realiza-se uma análise crítica em relação aos ensaios experimentais recomendados na NBR 15575 (2013) e avalia-se o acultamento desses ensaios em dois laboratórios para avaliação de desempenho de edificações HIS térreas em relação ao “Caderno de Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social”, desenvolvido pelo IPT (2000).

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como discutido nos capítulos 1 e 2, pode-se afirmar que a homologação da NBR 15575 (2013) e a criação do SINAT são partes de uma estratégia nacional, que está sendo gestada desde os anos 1980, que visa valorizar e consolidar a ideia de que é necessário avaliar o desempenho das edificações de forma sistêmica e objetiva. As edificações habitacionais brasileiras tendem, com essa postura, atingir níveis de desempenho adequados e, por consequência, elevar a qualidade.

Becker (2001) realizou um estudo em Israel quanto aos instrumentos para avaliar o desempenho de edificações habitacionais e conclui que são necessários, no mínimo, os seguintes: análise de projeto e do detalhamento, análise do projeto executivo com as etapas do processo de produção da edificação, simulações computacionais e resultados de testes para avaliar a resposta dos sistemas construtivos e da caracterização dos materiais por meio de dados básicos e de resultados de testes.

O mesmo autor enfatiza que a avaliação de desempenho de um sistema construtivo visa identificar se o sistema pode ser usado para produzir edifícios e se são capazes de atender

as exigências de desempenho, bem como dá destaque a quem realiza a avaliação, a equipe deve ter multidisciplinaridade e experiência a fim de, quando necessário, criar novos padrões de desempenho aos sistemas construtivos das edificações habitacionais.

A proposta de avaliação de desempenho da NBR 15575 (2013) está baseada num conjunto de diferentes instrumentos: análises teóricas, simulações, ensaios experimentais e inspeções técnicas. Cada um deles contribui, de alguma forma particular, para avaliar se os requisitos estabelecidos para cada dimensão de desempenho estão sendo atendidos. O processo para essa avaliação não é consenso na opinião de especialistas e coloca em análise os dados técnicos advindos como resultados, principalmente os de ensaios experimentais de desempenho (EED).

Borges (2013) diz que a NBR 15575 (2013) não exige a realização de ensaios para sistemas já conhecidos, se o construtor tiver certeza de que os sistemas construtivos utilizados na edificação atendem aos requisitos de desempenho da norma, mas enfatiza que a realização dos EED é um caminho para a empresa construtora conhecer o que oferece ao mercado.

No momento atual brasileiro é adequada a realização de EED para o conhecimento do comportamento potencial de sistemas construtivos inovadores ou não. Hoje não há um banco de dados técnicos alimentado com dados eficientes do comportamento em uso desses sistemas a fim de possibilitar a avaliação de desempenho de edificações com eficácia.

Uma análise da experiência europeia na área indica que a cultura do conceito de desempenho provoca a prática da realização de EED – cada vez mais aceita e frequente no continente. Esse cenário é projetado para o Brasil ao longo do tempo, e a tendência esperada é que a demanda por EED aumente, dada a natureza objetiva dos mesmos.

Esse processo pode ter atrasos significativos em decorrência da limitação da capacidade laboratorial instalada no país atualmente. O Brasil está na face de expectativa quanto à evolução e aperfeiçoamento de EED para avaliar o desempenho de edificações habitacionais, como ocorreu entre as duas versões da NBR 15575 (2008 e 2013). Para auxiliar nessa tarefa, é necessário efetuar análises críticas sobre a prática dos EED recomendados na NBR 15575 (2013) para identificar necessidade de ajustes e possíveis lacunas que indiquem proposições de inovação nas metodologias de ensaios.

Percebe-se a necessidade de uma abordagem interpretativa e compreensiva dos EED que servem à NBR 15575 (2013) como referencial principal para avaliação de desempenho de edificações focados nos componente, elementos, soluções e sistemas construtivos.

3.1.1 O Papel dos Ensaio Experimentais de Desempenho - EED

Os EED têm papel de destaque na NBR 15575 (2013), pois permitem que componentes, elementos, soluções e sistemas construtivos sejam avaliados em escala real e reduzida, em laboratório e campo, onde reproduzem as condições de exposição ambiental e de uso ou muito mais próximas das reais.

Os ensaios são essenciais para o conhecimento do comportamento em uso de sistemas construtivos que compõem as edificações, e seus resultados formam um banco de dados que pode servir de parâmetro para seleção e escolha dos sistemas que apresentarem o melhor desempenho para aquelas condições, bem como servir de fonte de dados para programas destinados à simulação computacional.

Essa realidade ainda está distante do dia a dia das empresas construtoras de edificações habitacionais brasileiras. A falta de conscientização da prática de realização de ensaios para caracterizar produtos (edifícios) e, conseqüentemente, a falta de um banco de dados com as características do comportamento dos sistemas construtivos que os compõe é um fato.

Borges (2012) acredita na mudança de cultura da cadeia da construção civil em utilizar métodos de avaliação, mais precisamente EED para caracterizar o comportamento dos sistemas construtivos, e prevê que isso deve ocorrer em dois momentos distintos:

“O primeiro diz respeito à utilização de ensaios em edificações prontas para solucionar situações de conflito entre incorporador/construtor e usuário e o segundo quando da utilização de ensaios para caracterizar o comportamento em uso dos sistemas construtivos que são e/ou serão aplicados nas edificações”, Borges (2012).

Para fazer frente a essa possível realidade, entende-se que será necessário ampliar, qualificar e capacitar a infraestrutura laboratorial, visto que o interesse e a experiência acumulada no assunto devem aumentar. O resultado natural é que procedimentos de ensaios sejam cada vez mais conhecidos e discutidos.

A NBR 15575 (2013) estabelece que EED são “recomendados” para sistemas que não tenham registros de seu comportamento ao longo do tempo. Entretanto, o Brasil não dispõe de uma sistemática de disposição de registros técnicos quanto ao comportamento dos sistemas que utilizam tecnologia convencional. Em uma busca simples pela literatura técnica brasileira, os termos “desempenho de edificações” e “comportamento em uso de sistemas construtivos” não estão nas principais listas de pesquisas da área. Muitas pesquisas abordam o tema segmentado sem uma análise holística e sistêmica do desempenho do edifício.

Entende-se que indiferentemente da tecnologia empregada no sistema construtivo utilizado em edificações habitacionais, ela deve passar por EED para que se possa conhecer o seu real desempenho. Essa postura é plenamente aceitável perante o desconhecimento do comportamento de vários sistemas utilizados atualmente no mercado, bem como pela incorporação de novas tecnologias nos sistemas construtivos. Diante do exposto, em relação aos ensaios experimentais, conclui-se que EED são importantes e ainda não estão consolidados.

3.2 ANÁLISE CRÍTICA DOS EED RECOMENDADOS PELA ABNT NBR 15575 (2013)

A análise crítica dos EED recomendados na NBR 15575 (2013) foi realizada com base no Apêndice A – Mapeamento dos Métodos de Avaliação da NBR 15575 (2013) e no Apêndice C – Mapeamento da Evolução dos Métodos de Avaliação entre as versões da NBR 15575 (2008 e 2013) – com enfoque em edificações HIS térreas.

A análise crítica comporta as partes 1 Requisitos Gerais; 2, Sistemas Estruturais; 4, Sistemas de Vedação Vertical Interna e Externa, e 5, Sistema de Cobertura, da NBR 15575 (2013). As partes 3 e 6, Requisitos para Sistemas de Piso Internos e Sistemas Hidrossanitários, respectivamente, da NBR 15575 (2013), não fizeram parte da análise crítica.

3.2.1 Análise Crítica Inicial dos Ensaios Experimentais Recomendados na NBR 15575 (2013)

A análise crítica inicial teve com base a inter-relação entre requisitos, critérios, EED e as normas indicadas na NBR 15575 (2013), conforme ilustram as Tabelas 3.1 a 3.11.

Tabela 3.1 – Ensaio Experimentais: **Desempenho Estrutural**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaio Experimentais	Norma
Estrutural	Estabilidade e resistência do sistema estrutural e demais elementos com função estrutural	Estado Limite Último	Ensaio técnico de estado limite último (ELU)	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 (2013) – Parte 2 (Anexo A da norma)
Estrutural	Deformação ou estados de fissuras do sistema estrutural	Estado Limite Serviço	Ensaio para estado limite de serviço (ELS)	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 (2013) – Parte 2 (Anexo B da norma)
Estrutural	Impacto de Corpo Mole	Resistência a impacto de corpo mole	Ensaio técnico de impacto de corpo mole	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 - Parte 2 (Anexo C da norma) • ABNT NBR 11675 • ABNT NBR 14718
Estrutural	Impacto de Corpo Duro	Resistência a impactos de corpo duro	Ensaio técnico de impacto de corpo duro	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 - Parte 2 (Anexo D da norma) • ABNT NBR 14718
SVVIE	Estabilidade e resistência estrutural	Estado Limite Último	Ensaio técnico de Estado limite último (ELU)	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 (2013) – Parte 4 (Anexo A da Norma)
SVVIE	Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos SVVIE.	Limitação de deslocamento, fissuração e descolamentos.	Ensaio para estado limite de serviço (ELS)	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 (2013) – Parte 4 (Anexo B da Norma)
SVVIE	Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos SVVIE	Capacidade de suporte das cargas	Ensaio de carga suspensa	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Anexo A da norma).
SVVIE	Impacto de corpo mole nos SVVIE com ou sem função estrutural	Resistência a impacto de corpo mole	Ensaio de impacto de corpo mole	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 11675
SVVIE	Ações transmitidas por portas	Ações transmitidas por portas internas ou externas	Ensaio de corpo mole e fechamento brusco	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15930 – Parte 2
SVVIE	Impacto de corpo duro incidente nos SVVIE, com ou sem função estrutural.	Resistência a impactos de corpo duro	Ensaio de impacto de corpo duro	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 (2013) – Parte 4 (Anexo B da norma)
SVVIE	Carga de ocupação incidente em guarda-corpos e parapeitos de janelas	Ações estáticas horizontais, estáticas verticais e de impactos incidentes em guarda-corpos e parapeitos.	Ensaio de guarda-corpo e parapeito	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 14718 • ABNT 15575 e normas complementares

Tabela 3.1 – Ensaios Experimentais: **Desempenho Estrutural**, ABNT NBR 15575 (2013),
continuação.

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Cobertura	Resistência e deformidade	Comportamento estático	Ensaio de Carga Contínua	• ABNT NBR 15575 – Parte 2 (Anexo A e B da norma)
Cobertura	Resistência e deformidade	Risco de arrancamento de componentes do sistema de cobertura sob ação do vento	Ensaio de sucção de vento	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo L da norma) • ABNT NBR 9574
Cobertura	Solicitações de montagem ou manutenção	Cargas concentradas	Ensaio de carga concentrada	• Ensaio Tipo
		Cargas concentradas em sistemas de cobertura acessíveis aos usuários	Ensaio de carga concentrada na cobertura com acesso de pessoas	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo A da Norma)
Cobertura	Solicitações dinâmicas em sistemas de cobertura e em coberturas – terraço acessível aos usuários	Resistência a impacto de corpo mole, terraço acessível aos usuários.	Ensaio de impacto de corpo mole	• ABNT NBR 15575 - Parte 2 (Anexo C da norma)
		Resistência a impacto de corpo duro, terraço acessível aos usuários.	Ensaio de impacto de corpo duro	• ABNT NBR 15575 - Parte 2 (Anexo D da norma)
Cobertura	Solicitações em forros	Resistência de peças fixadas em forros	Ensaio de carga concentrada para forro	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo B da norma)
Cobertura	Ação do granizo e outras cargas acidentais em telhados	Resistência a impacto	Ensaio de impacto de corpo duro	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo C da norma)

Tabela 3.2 – Ensaios Experimentais: **Desempenho Contra Incêndio**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Dificultar a inflamação generalizada	Propagação superficial de chamas	Ensaio técnico	<ul style="list-style-type: none"> • Normas brasileiras específicas
SVVIE	Dificultar a ocorrência da inflamação generalizada	Reação ao fogo da face interna dos SVV e respectivos miolos isolantes térmicos e absorventes acústicos	Ensaio de reação ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • EN13823
SVVIE	Dificultar a propagação do incêndio	Reação ao fogo da face externa dos SVV que compõem a fachada	Ensaio de reação ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • EN13823
SVVIE	Dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação	Resistência ao fogo de elementos estruturais e de compartimentação	Ensaio de resistência ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 5628 • ABNT NBR 10636 • Ensaio tipo
Cobertura	Reação ao fogo dos materiais de revestimento e acabamento	Reação ao fogo da face interna do sistema de cobertura das edificações	Ensaio de reação ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo K da Norma)
Cobertura		Reação ao fogo da face externa do sistema de cobertura das edificações	Ensaio de reação ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • ENV 1187 – Método 1
Cobertura	Resistência ao fogo do sistema de cobertura	Resistência ao fogo	Ensaio de resistência ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 5628 • Ensaio tipo

Tabela 3.3 – Ensaio Experimentais: **Desempenho de Uso e Operação**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaio Experimentais	Norma
Cobertura	Integridade do sistema de cobertura	Risco de deslizamento de componentes	Ensaio de resistência de suporte das garras de fixação	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo E da norma)
Cobertura		Guarda-corpos em coberturas acessíveis aos usuários	Ensaio de resistência de guarda-corpo	• ABNT NBR 14718
Cobertura		Platibandas	Ensaio de resistência das platibandas	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo F da norma)
Cobertura	Manutenção e Operação	Segurança no trabalho em sistemas de coberturas inclinadas	Ensaio de tração	• Sem norma
Cobertura		Possibilidade de caminhamento de pessoas sobre o sistema de cobertura	Ensaio de resistência ao caminhamento	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo G da norma)

Tabela 3.4 – Ensaios Experimentais: **Desempenho de Estanqueidade** à água, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação	Estanqueidade à água da chuva e à umidade do solo e de lençol freático	Ensaio de estanqueidade à água da chuva	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15157- Parte 3 • ABNT NBR 15157- Parte 4 • ABNT NBR 15157- Parte 5 • ABNT NBT 9575
Requisitos Gerais	Estanqueidade a fontes de umidade internas à edificação	Estanqueidade à água utilizada na operação, uso e manutenção do imóvel.	Ensaio de estanqueidade à água	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15157- Parte 3 • ABNT NBR 15157- Parte 4 • ABNT NBR 15157- Parte 5
SVVIE	Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachada)	Estanqueidade à água de chuva, considerando-se a ação de ventos, em sistemas de vedações verticais externas (fachada)	Ensaio de estanqueidade à água da chuva	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15157- Parte 4 (Anexo C da Norma) • ABNT NBR 10821 – Parte 3.
SVVIE	Umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel	Estanqueidade de vedações verticais internas e externas com incidência direta de água – Áreas molhadas	Ensaio de estanqueidade à água	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15157- Parte 4 (Anexo D da norma)
Cobertura		Impermeabilidade	Ensaio de estanqueidade à água da chuva	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 5642
Cobertura	Condições de salubridade no ambiente habitável	Estanqueidade do sistema de cobertura	Ensaio de estanqueidade à água da chuva	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15157- Parte 5 (Anexo D da norma)
Cobertura		Estanqueidade para sistema de cobertura impermeabilizado	Ensaio de estanqueidade à água da chuva	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9575

Tabela 3.5 – Ensaios Experimentais: **Desempenho Térmico**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Desempenho no verão	Valores máximos de temperatura	Ensaio por medição <i>in loco</i>	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo A da norma) • ABNT NBR 15575 – Parte 4
Requisitos Gerais	Desempenho no inverno	Valores mínimos de temperatura	em protótipo escala real	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 5 • ABNT NBR 15220 – Parte 3

Tabela 3.6 – Ensaio Experimentais: **Desempenho Acústico**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaio Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Isolação acústica de vedações externas	Isolação acústica das vedações externas	Ensaio de isolamento acústico: Laboratório e Campo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 • ABNT NBR 15575 – Parte 5
Requisitos Gerais	Isolação acústica entre ambientes	Isolação ao ruído aéreo entre pisos e paredes internas		<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 3 • ABNT NBR 15575 – Parte 4
Requisitos Gerais	Ruídos de impacto	Isolamento de ruídos gerados por impacto		<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 3 • ABNT NBR 15575 – Parte 5
SVVIE	Níveis de ruído permitidos na habitação	Diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação externa (fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada, nos edifícios multipiso), verificada em ensaio de campo	Ensaio de isolamento acústico: Laboratório e Campo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Item 12.2.1)
SVVIE		Diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação entre ambientes, verificada em ensaio de campo.		
Cobertura	Isolamento acústico da cobertura devido a sons aéreos	Isolamento acústico da cobertura devido a sons aéreos.	Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Item 12.2.1)
Cobertura	Nível de ruído de impacto nas coberturas acessíveis de uso coletivo	Isolamento acústico das coberturas de uso coletivo.		

Tabela 3.7 – Ensaios Experimentais: **Desempenho Lumínico**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Iluminação natural	Fator de luz diurna	Ensaio técnico	• ISO 5034 – Parte 1

Tabela 3.8 – Ensaios Experimentais: **Desempenho de Durabilidade e Manutenibilidade**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Vida útil de projeto do edifício e dos sistemas que o compõem	Durabilidade	Ensaios técnicos	• Sem norma
Estrutural	Durabilidade do sistema estrutural	Vida útil de projeto do sistema estrutural	Ensaios técnicos: porosidade, absorção de água, permeabilidade, dilatação térmica, choque térmico, expansão higroscópica, câmara de condensação, câmara de névoa salina, câmara CUV, câmara de SO ₂ , <i>Wheater-O-Meter</i> (Intemperismo Acelerado) e outros. Ensaios físico-químicos e ensaios de envelhecimento acelerado.	• Sem norma
SVVIE	Paredes externas SVVE	Resistência a ação de calor e choque térmico.	Ensaio de ação de calor e choque térmico	• ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Anexo E da norma)
Cobertura	Vida útil de projeto dos sistemas de coberturas	Estabilidade da cor de telhas e outros componentes da cobertura.	Ensaio técnico	• ABNT NBR ISO 105 – A02 (escala cinza) • ABNT NBR 15575 – Parte 5 – (Anexo H da norma)

Tabela 3.9 – Ensaios Experimentais: **Desempenho de Saúde, Higiene e Qualidade do Ar**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Proliferação de micro-organismos			
Requisitos Gerais	Poluentes na atmosfera interna à habitação	O requisito mencionado deve atender aos critérios fixados na legislação vigente.	Ensaios técnicos	<ul style="list-style-type: none"> Métodos de ensaio estabelecidos na legislação vigente.
Requisitos Gerais	Poluentes no ambiente da garagem			

Tabela 3.10 – Ensaios Experimentais: **Desempenho de Conforto Tátil e Antropodinâmico**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Adequação antropodinâmica de dispositivos de manobra	Força necessária para o acionamento de dispositivos de manobra.	Ensaio técnico	<ul style="list-style-type: none"> Para os ensaios técnicos, utilizar os métodos especificados nas normas brasileiras de cada componente.

Tabela 3.11 – Ensaios Experimentais: **Desempenho de Adequação Ambiental**, ABNT NBR 15575 (2013).

Sistema da Edificação	Requisito	Critério	Ensaios Experimentais	Norma
Requisitos Gerais	Utilização e reuso de água	Reuso de água para destinação não potável.	Ensaio técnico	<ul style="list-style-type: none"> Métodos de ensaio relacionados às normas brasileiras específicas

A análise inicial propiciou as seguintes observações quanto aos ensaios experimentais:

- a) Os ensaios, na maioria, são remetidos a normas prescritivas, nacionais e/ou internacionais, como exemplo citam-se os EED de reação ao fogo: ABNT NBR 9442 e EN13823 e o de iluminação natural ISO 5034 – Parte1.
- b) Os ensaios remetem-se, por vez, a elementos e, por outra, a sistemas construtivos, gerando dúvidas quanto a “o que” se deve avaliar para obter informações pertinentes para a avaliação de desempenho da edificação, como exemplo cita-se o EED de isolamento acústica de vedações externas em laboratório e em campo na edificação.

Um dos pontos críticos levantados pela análise é à disparidade entre o que a NBR 15575 (2013) estabelece para avaliação de desempenho: conhecer o comportamento potencial do sistema construtivo ao longo da sua vida útil, e o que se pode ter de resultado na realização dos EED recomendados apenas a elementos.

Cabe, aqui, expressar os conceitos (vide Tabela 3.12) abordados na NBR 15575 (2013) quanto a componente, elemento e sistema construtivo que, segundo a mesma, devem ser submetidos a EED a fim de se conhecer o comportamento em uso.

Tabela 3.12 – Conceitos dos Produtos Utilizados na Composição de uma Edificação Habitacional, ABNT NBR 15575 (2013).

Termo	Descrição
Componente	Unidade integrante de determinado elemento da edificação, com forma definida e destinada a cumprir funções específicas, como exemplos, citam-se: bloco de alvenaria, telha e folha de porta.
Elemento	Parte de um sistema com funções específicas. Geralmente, é composto por um conjunto de componentes, como exemplo, citam-se: parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado e estrutura de cobertura.
Sistema	A maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macrofunção que a define, como exemplo, citam-se: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura.

Percebe-se que a definição de sistema diz respeito apenas ao conjunto de elementos e componentes, não aborda subsistemas. Essa postura gera dúvidas quanto ao que deve ser ensaiado, pois o sistema construtivo de uma edificação é composto pelo conjunto de subsistemas. O subsistema fachada, como exemplo, é composto por elemento (parede) e componente (janela).

O EED no elemento tem como objetivo conhecer a resposta que o mesmo pode dar frente a determinada situação como uma prévia do comportamento quando em utilização no sistema construtivo. O EED no sistema construtivo objetiva identificar o comportamento da compatibilização do conjunto de elementos e componentes que compõe um sistema. Já o EED no conjunto de sistemas tem como objetivo conhecer previamente o comportamento entre sistemas, por exemplo: sistema de vedação vertical externa e esquadrias, sistema de piso e vedação vertical externa, sistema de cobertura e sistema de ventilação.

Outro aspecto relevante entre os EED nos elementos, sistemas construtivos e no conjunto de sistemas construtivos está no tempo de realização e no preço dos ensaios. Um EED realizado em escala real para avaliar o conjunto de sistemas construtivos numa edificação tem um preço elevado em relação a ensaios realizados em elementos ou somente no sistema construtivo.

Entende-se que o comportamento do elemento isolado não representa o comportamento potencial do sistema construtivo e, conseqüentemente, do conjunto de sistemas construtivos que compões uma edificação, e isso faz a diferença na avaliação de desempenho das edificações. Porém, destaca-se que ambos são importantes para a avaliação de desempenho, mas em diferentes escalas.

Foram identificados como pontos críticos quanto às normas e procedimentos de EED recomendados na NBR 15575 (2013) os seguintes itens:

a) Desempenho estrutural:

- *Sistema de vedação vertical interno e externo*, requisito de carga de ocupação incidente em guarda-corpo e parapeitos de janelas não identifica quais são as normas consideradas complementares;
- *Sistemas de coberturas*, requisito de solicitações de montagem ou manutenção, não especifica o que é ensaio tipo e norma a ser utilizada para o ensaio;

b) Desempenho contra incêndio:

- *Requisitos gerais*, requisito de dificultar a inflamação generalizada não identifica quais são as normas brasileiras específicas;

- *Sistema de vedação vertical interno e externo*, requisito de dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação não especifica o que é ensaio tipo e norma a ser utilizada para o ensaio;
- c) *Sistemas de coberturas*, requisito de resistência ao fogo do sistema de cobertura não especifica o que é ensaio tipo e norma a ser utilizada para o ensaio;
- d) Desempenho de durabilidade e manutenibilidade:
 - *Requisitos gerais*, requisito vida útil de projeto do edifício e dos sistemas que o compõem não identifica quais são as normas a serem seguidas;
- e) Desempenho térmico:
 - *Sistema de vedação vertical interno e externo*, requisito adequação de paredes externas não recomenda ensaio experimental, apenas procedimento de cálculo segundo a ABNT NBR 152202 – Parte 2;
- f) Desempenho de saúde, higiene e qualidade do ar:
 - *Requisitos gerais*, todos os requisitos não possuem a identificação das normas a serem seguidas, apenas indicam legislação vigente;
- g) Desempenho de funcionalidade e acessibilidade:
 - Não recomenda nenhum ensaio experimental;
- h) Desempenho de conforto tátil e antropodinâmico:
 - *Requisitos gerais*, requisito adequação antropodinâmica de dispositivos de manobra não tem a identificação das normas a serem seguidas;
- i) Desempenho de adequação ambiental:
 - *Requisitos gerais*, requisito utilização de reuso de água não tem a identificação das normas a serem seguidas.

Os pontos críticos citados acima podem ser prejudiciais à avaliação de desempenho, pois dão margens à ocorrência de dúvidas, disparidade entre escolha de norma e procedimento, e, possivelmente, na análise dos resultados dos ensaios experimentais.

Evidencia-se que os EED podem apresentar problemas quanto à aplicação, execução, fidedignidade e representabilidade dos resultados e, também, quanto à adequação dos mesmos a diferentes sistemas construtivos, inovadores ou não. A interpretação desses critérios é tratada no Capítulo 4.

Outro aspecto identificado como ponto crítico diz respeito a parâmetros de aceitabilidade e seus limites adotados na NBR 15575 (2013) para comprovar o desempenho. Destaca-se que parâmetros de aceitabilidade têm como base as exigências humanas e o caráter genuíno do ser humano que apresenta necessidades ilimitadas que – por sua vez – tornam-se exigências crescentes e variáveis ao longo do tempo. A subjetividade do aceitável (satisfatório) é dependente do comportamento humano, onde estão inseridos hábitos fisiológicos, sociais, ambientais, econômicos, entre outros.

Os parâmetros estabelecidos na NBR 15575 (2013) traduzem às exigências humanas em percepção e adotam limites mínimos a serem atingidos, chamados níveis de desempenho. Os níveis de desempenho são classificando-os em Mínimo (*M*), Intermediário (*I*) e Superior (*S*) e tem como objetivo diferenciar o comportamento de elementos, sistemas construtivos e do conjunto de sistemas construtivos frente aos resultados dos ensaios. A NBR 15575 (2013) considera um elemento, sistema construtivo ou o conjunto dos sistemas construtivos adequado quando o resultado do ensaio atender o desempenho mínimo (*M*).

Para visão de Villas Boas (2013), coordenador da revisão da NBR 15575 (2013), a classificação quanto aos níveis de desempenho vai ser um dos motivadores de implantação do conceito de desempenho pelos incorporadores imobiliários, visto o apelo comercial provocado pela nomenclatura desempenho superior (*S*), por exemplo, frente a concorrência.

A análise identificou-se que os parâmetros de aceitabilidade e seus limites podem estar dissociados do real comportamento dos sistemas construtivos em uso quanto à representabilidade e adequação dos mesmos em relação a diferentes sistemas construtivos.

3.2.2 Aplicação dos EED para Avaliação de Edificações HIS Térreas

Com o foco em edificações HIS térreas, utilizou-se como referência de aplicação de EED em edificações o IPT, instituto pioneiro e de tecnologia de ponta na avaliação de desempenho, e, também, o LEME/UFRGS, laboratório que aplica EED a mais de dez anos em diferentes sistemas construtivos, tornando-se hoje, um laboratório referência na região Sul e com um acervo técnico importante a ser consultado com mais de 20 sistemas construtivos inovadores para edificações habitacionais avaliados quanto ao comportamento em uso.

No final da década de 1980, Bauer (1987) iniciou estudos de desempenho no LEME/UFRGS com ensaios experimentais de estanqueidade à água em paredes, em 2002, o laboratório começou a realizar avaliações técnicas de sistemas construtivos com a realização de EED focados na área de estruturas, e, atualmente, o laboratório realiza a grande maioria dos EED recomendados na NBR 15575 (2013).

Em 1988 o IPT lançou o livro “Tecnologia de Edificações” com um conjunto de publicações em revistas dos ensaios de desempenho elaborados e realizados em edificações habitacionais, na maioria em edificações térreas. E, em 2000, o IPT (2000), com apoio da FINEP, lançou o caderno “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social”, onde estabelece ensaios experimentais para avaliação de desempenho das edificações.

Os ensaios constantes no caderno foram divididos em seis áreas: desempenho estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade à água, conforto térmico, conforto acústico e durabilidade, servindo de base aos EED recomendados na NBR 15575 (2013) para avaliar o desempenho das edificações habitacionais.

Diante dessas duas experiências, fez-se o cruzamento entre os EED atuais recomendados na NBR 15575 (2013), os estabelecidos pelo IPT (2000) e os do acervo técnico do LEME/UFRGS para edificações HIS térreas, com o objetivo de mapear os que possuem um histórico relevante à avaliação de desempenho, para isso foi elaborada a Tabela 3.13, dividida por áreas quanto a segurança, habitabilidade e sustentabilidade, conforme a NBR 15575 (2013), com os seguintes critérios:

- a) Indicação de ensaios experimentais no caderno de “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social” publicada pelo IPT (2000);
- b) Estar presente no acervo técnico do LEME/UFRGS, a partir de 1987 quando iniciou os trabalhos de avaliação de desempenho de edificações pelo mesmo;
- c) Ensaio experimental sem ou com pouco histórico na literatura técnica brasileira.

Tabela 3.13 – Relação de EED ABNT NBR 15575 (2013) x IPT/LEME/Sem ou pouco histórico na literatura técnica para edificações HIS térreas.

Parte da Edificação	Ensaio Experimental ABNT NBR 15575 (2013)	IPT	LEME	Sem ou pouco histórico
Estrutural	Ensaio técnico de estado limite último (ELU)	X	X	
	Ensaio para estado limite de serviço (ELS)	X	X	
	Ensaio técnico de impacto de corpo mole	X	X	
	Ensaio técnico de impacto de corpo duro	X	X	
Desempenho Estrutural	Ensaio técnico de estado limite último (ELU)	X	X	
	Ensaio para estado limite de serviço (ELS)	X	X	
	Ensaio de carga suspensa	X	X	
	Ensaio de impacto de corpo mole	X	X	
	Ensaio de corpo mole e fechamento brusco	X	X	
	Ensaio de impacto de corpo duro	X	X	
	Ensaio de guarda-corpo e parapeito			X
	Ensaio de carga contínua		X	
	Ensaio de sucção de vento		X	
	Ensaio de carga concentrada		X	
Cobertura	Ensaio de carga concentrada na cobertura com acesso de pessoas		X	
	Ensaio de impacto corpo mole em terraço acessível aos usuários		X	
	Ensaio de impacto de corpo duro em terraço acessível aos usuários	X	X	
	Ensaio de carga concentrada em forro			X
	Ensaio de impacto corpo duro (granizo)		X	

Tabela 3.13 – Relação de EED ABNT NBR 15575 (2013) x IPT/LEME/Sem ou pouco histórico na literatura técnica para edificações HIS térreas, (continuação).

Parte da Edificação	Ensaio	Ensaio Experimentais ABNT NBR 15575 (2013)	IPT	LEME	Sem histórico	
SEGURANÇA Desempenho Contra Incêndio	Requisitos Gerais	Ensaio técnico propagação superficial de chamas	X			
	SVVIE				X	
			Ensaio de reação ao fogo (fachadas)			X
			Ensaio de resistência ao fogo	X		
	Cobertura		Ensaio de reação ao fogo (interna)			X
			Ensaio de reação ao fogo (externa)			X
		Ensaio de resistência ao fogo			X	
SEGURANÇA Desempenho Uso e Operação	Cobertura				X	
			Ensaio de resistência de suporte das garras de fixação			X
			Ensaio de resistência de guarda-corpo			X
			Ensaio de resistência das platibandas			X
		Ensaio de tração sistemas de coberturas inclinadas			X	
		Ensaio resistência ao caminhamento sobre o sistema de cobertura		X		
HABITABILIDADE Desempenho Estanqueidade à Água	Requisitos Gerais		X			
			Ensaio de estanqueidade à água utilizada na operação, uso e manutenção do imóvel	X		
	SVVIE		Ensaio de estanqueidade à água da chuva considerando-se a ação de ventos, em sistemas de vedações verticais externas (fachada)	X	X	
			Ensaio de estanqueidade à água de vedações verticais internas e externas com incidência direta de água – áreas molhadas	X	X	
	Cobertura		Ensaio de estanqueidade à água da chuva - Impermeabilidade	X		
			Ensaio de estanqueidade à água da chuva	X		
			Ensaio de estanqueidade à água da chuva sistema de cobertura impermeabilizado	X		

Tabela 3.13 – Relação de EED ABNT NBR 15575 (2013) x IPT/LEME/Sem ou pouco histórico na literatura técnica para edificações HIS térreas, (continuação).

Sistema da Edificação	Ensaio Experimental ABNT NBR 15575 (2013)	IPT	LEME	Sem histórico	
Desempenho Térmico	Requisitos Gerais	X	X		
	Ensaio por medição <i>in loco</i> em protótipo escala real				
	Requisitos Gerais	X	X		
HABITABILIDADE	Requisitos Gerais	Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo isolamento acústica de vedações externas	X		
		Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo isolamento acústica entre ambientes	X		
		Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo ruídos de impacto	X		
	SVVIE	Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação externa (fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados)	X	X	
		Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação entre ambientes,	X	X	
	Cobertura	Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo isolamento acústico da cobertura devido a sons aéreos	X		
		Ensaio de isolamento acústico: laboratório e campo isolamento acústico das coberturas de uso coletivo	X		
Desempenho Lumínico	Requisitos Gerais			X	
	Ensaio técnico fator de luz diurna				

Tabela 3.13 – Relação de EED ABNT NBR 15575 (2013) x IPT/LEME/Sem ou pouco histórico na literatura técnica para edificações HIS térreas, (continuação).

Sistema da Edificação	Ensaios Experimentais ABNT NBR 15575 (2013)	IPT	LEME	Sem histórico	
SUSTENTABILIDADE Desempenho Durabilidade e Manutenibilidade	Requisitos Gerais	Ensaios técnicos de durabilidade	X	X	
	Estrutural	Ensaios técnicos: porosidade, absorção de água, permeabilidade, dilatação térmica, choque térmico, expansão higroscópica, câmara de condensação, câmara de névoa salina, câmara CUV, câmara de SO ₂ , <i>Wheater-O-Meter</i> (Intemperismo Acelerado) e outros. Ensaios físico-químicos e ensaios de envelhecimento acelerado	X	X	
	SVVI E	Ensaio de ação de calor e choque térmico	X	X	X
	Cobertura	Ensaio técnico de estabilidade da cor de telhas e outros componentes da cobertura	X		
HABITABILIDADE Desempenho Saúde, Higiene e Qualidade do Ar		Ensaios técnicos de proliferação de micro-organismos			X
	Requisitos Gerais	Ensaios técnicos de poluentes na atmosfera interna à habitação			X
		Ensaios técnicos de poluentes no ambiente da garagem			X
HABITABILIDADE Desempenho Conforto tátil e antropodinâmico	Requisitos Gerais	Ensaio técnico de força necessária para o acionamento de dispositivos de manobra			X
HABITABILIDADE Desempenho Adequação Ambiental	Requisitos Gerais	Ensaio técnico de reuso de água para destinação não potável			X

Observando a Tabela 3.13, fica evidenciado que os EED da área de segurança quanto ao desempenho estrutural têm posição de destaque na recomendação e na realização dos mesmos, formando um histórico consistente. Os demais ensaios experimentais da área de segurança das edificações habitacionais, desempenho contra incêndio e de uso e operação, começam a ter o destaque merecido.

Na área de habitabilidade, o destaque fica com o desempenho acústico e a estanqueidade à água, onde os ensaios experimentais já possuem um histórico importante para avaliação de desempenho. Quanto aos demais itens de desempenho, não há histórico significativo dos EED. Estima-se que essa situação deve mudar, consideravelmente, com a aplicação do conceito de desempenho às edificações HIS térreas e pela implantação da NBR 15575 (2013) nas empresas da cadeia produtiva da construção civil brasileira.

Quanto à sustentabilidade – durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental –, os ensaios experimentais de durabilidade se destacam, principalmente, quando utilizados para avaliar os materiais que compõem sistemas construtivos que utilizam tecnologia convencional. Dentre os ensaios da área de sustentabilidade, o ensaio de ação de calor e choque térmico vem ganhando destaque quanto à sua utilização.

Além desses fatores, percebeu-se a falta de EED quanto ao conforto térmico para SVVE e um enfoque mais abrangente quanto à avaliação de desempenho contra incêndio visando às edificações HIS térreas. Esses dois assuntos são tratados no capítulo 5.

Capítulo 4 – METODOLOGIA

Neste capítulo, estão apresentadas as estratégias adotadas para atingir os objetivos detalhados no Capítulo 1. Dentro desse contexto, descreve-se o tipo de estratégia qualitativa e quantitativa, de coleta e análise dos dados. A estratégia de pesquisa é apresentada em três etapas (Etapa 1, Etapa 2 e Etapa 3), e o delineamento da estratégia experimental é estruturado em duas fases (Fase A e Fase B), para uma melhor compreensão do desenvolvimento deste trabalho.

4.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Esta tese tem como premissa buscar a filosofia do pensamento crítico reflexivo na análise crítica e nas proposições de avanço nas metodologias de EED recomendados na NBR 15575 (2013) para avaliação de desempenho de edificações HIS Térreas. Para tanto, utiliza-se do estudo científico de fatos e/ou fenômenos que, segundo Fachin (2003), se apresenta como o resultado de uma investigação que segue uma metodologia capaz de analisar, descobrir, concluir e resolver novos e antigos problemas.

A pesquisa caracteriza-se como descritiva – por descrever fatos referindo-se a análises quantitativas e qualitativas, por meio de levantamento de dados e o porquê destes dados – e experimental – quando se registra a maneira que ocorrem os acontecimentos, as interpretações e a avaliação dos resultados. A pesquisa também é caracterizada como exploratória, visto que o estudo científico possui poucas informações.

A estratégia qualitativa tem caráter de substituir ou completar a informação comprovada estatisticamente, podendo caracterizar-se por uma forma de pesquisa complementar, não antagônica. Esta estratégia é frequentemente aplicada a estudos que tem por objetivo a descoberta e classificação da relação entre as variáveis e investigar um fenômeno como tal (AVISON et al., 2013).

Já a estratégia quantitativa tenta, por meio de técnicas estatísticas, explicar o grau da relação e o modo de operação. Esse objetivo é alcançado por meio de estudos comparativos causais, onde o pesquisador parte dos efeitos observados para descobrir suas causas e/ou estudos experimentais, que proporcionam meios para testar hipóteses (DIEHL, 2004).

Nesta pesquisa, foi adotada uma estrutura prevendo a combinação das duas estratégias, qualitativa e quantitativa, com uma predominância na estratégia qualitativa, pois ambas são complementares para este estudo. Com o enfoque abordado, a estratégia qualitativa caracteriza-se pela utilização de estudo de caso e pela proposta de complementação de EED recomendados na NBR 15575 (2013). Já a estratégia quantitativa está presente na mensuração de critérios e na verificação do atendimento aos parâmetros de aceitabilidade adotados na NBR 15575 (2013).

Para alcançar os objetivos propostos no capítulo 1, esta pesquisa apresenta um pressuposto epistemológico positivista, cuja abordagem, segundo Formoso (2009), se expressa por meio do entendimento de que:

- a) O mundo é externo e objetivo;
- b) O observador é independente;
- c) Foco em fatos na busca de causalidade e em leis fundamentais;
- d) Fenômenos são reduzidos aos seus elementos mais simples;
- e) Hipóteses são formuladas e testadas;
- f) Conceitos são operacionalizados de forma que possam ser medidos;
- g) Grande número de observações.

A estratégia experimental da pesquisa foi conduzida pelo método do conhecimento científico acumulativo – conhecimentos adquiridos – e pela meta-análise – técnica estatística desenvolvida para integrar os resultados de dois ou mais estudos, sobre uma mesma questão de pesquisa, tendo como vantagem a sua capacidade de síntese de informação, ou seja, num só estudo é possível fazer convergir os resultados de muitos trabalhos de investigação, e, também, analisa as diferenças metodológicas e de resultados dos estudos, permitindo propor padrões que justifiquem as diferenças encontradas e, desse modo, as expliquem, dando, assim, uma ideia mais abrangente sobre qual será a verdadeira resposta à questão levantada.

No presente trabalho, a estratégia experimental buscou atender à duas demandas básicas:

- a) Analisar criticamente os EED recomendados na NBR 15575 (2013);
- b) Analisar criticamente os parâmetros de aceitabilidade adotados na NBR 15575 (2013).

Para tanto, a estrutura da Estratégia de Pesquisa (Figura 4.1) é composta de três grandes etapas para o desenvolvimento deste trabalho:

- a) *Etapa 1*: análise crítica dos EED à luz da NBR 15575 (2013), com foco em edificações HIS térreas.
- b) *Etapa 2*: seleção de um conjunto de EED realizados no LEME/UFRGS para avaliação de desempenho de diferentes alternativas de sistemas construtivos de edificações HIS térreas.
- c) *Etapa 3*: apresentação de proposições de avanço nas metodologias dos EED da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações HIS Térreas.

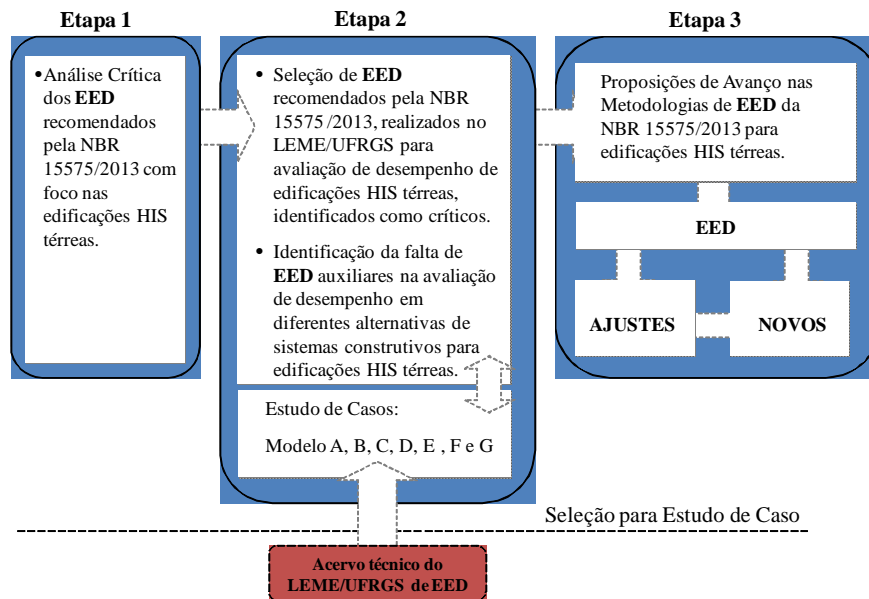


Figura 4.1 - Estrutura da estratégia de pesquisa

4.2 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL

Após a definição dos objetivos gerais e específicos, elaborou-se o delineamento da estratégia experimental focado em duas grandes fases: “A” e “B”. A Fase “A” é constituída de duas ações constantes, revisão da bibliografia e da experiência acumulativa; e a Fase “B”, de

quatro ações: compreensão do tema, análise crítica dos EED recomendados na NBR 15575 (2013) e dos EED realizados no LEME, seleção dos EED e proposições de avanço nas metodologias de EED à luz da NBR 15575 (2013) para edificações HIS térreas.

A Figura 4.2 apresenta uma visão holística da estrutura do delineamento da estratégia experimental mostrando as fases, ações e atividades realizadas, ao longo do período de desenvolvimento da tese.

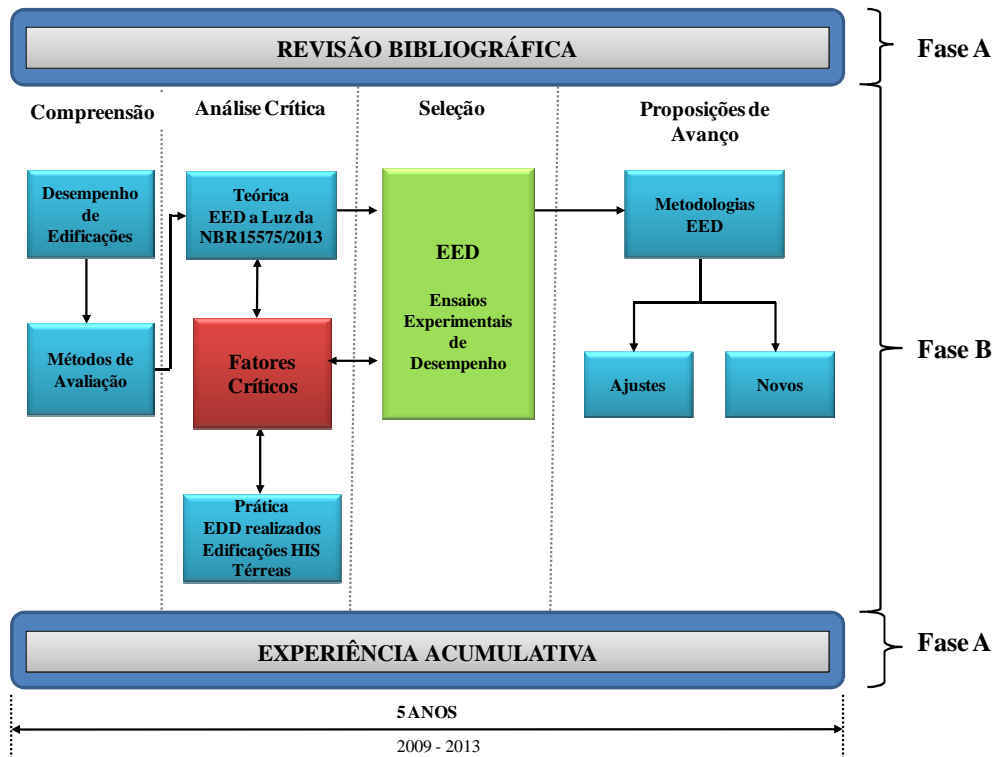


Figura 4.2 - Estrutura do delineamento da estratégia experimental

4.2.1 Fase “A”: Ações Constantes

A Revisão bibliográfica e a experiência acumulativa do LEME/UFRGS em EED focados em edificações habitacionais foram ações constantes que serviram de base para o desenvolvimento desta tese.

4.2.1.1 Revisão Bibliográfica

Nos últimos anos houve a consolidação de práticas e discussões de métodos de avaliação, com especial atenção a EED, parâmetros de aceitabilidade e seus limites, tornando dinâmica a revisão de normas técnicas.

A revisão bibliográfica foi uma ação constante e simultânea ao desenvolvimento desta tese, entre os anos de 2009 e 2013, e desenvolveu-se por intermédio de consultas a literaturas técnicas nacionais e internacionais. Também, utilizou-se de seminários com enfoque técnico a respeito da NBR 15575, aproveitando o atual momento de consolidação da norma e da curiosidade que o tema desperta no país.

4.2.1.2 Experiência Acumulativa

A realização de EED para avaliação de desempenho de sistemas construtivos das edificações habitacionais, em especial HIS térreas, pela autora; aliada à experiência acumulativa de ensaios experimentais, realizados pelo LEME/UFRGS, permitiram ampliar a experiência e formar um acervo técnico importante para o conhecimento da aplicação de EED, bem como um conjunto de dados para comparação entre os sistemas construtivos ensaiados, dado a natureza distinta dos mesmos, credenciando-o a ser utilizado nesta tese como fonte científica de consulta.

Os EED realizados entre 2009 até meados de 2013, período de desenvolvimento desta tese, aconteceram em momentos diferentes durante esse período e demandas surgiram em função da evolução da NBR 15575 (2013) e dos próprios fornecedores.

4.2.2 Fase “B”: Ações

A seguir, são descritas as ações desta fase, consideradas na ordem de ocorrência, e demonstrando a interdependência entre elas.

4.2.2.1 Compreensão do tema

Esta etapa teve como objetivo entender e compreender o conceito de desempenho de edificações, a estrutura da NBR 15575 (2013) e os desafios para implantá-la na cadeia da construção civil brasileira. O processo de compreensão transcorreu por meio da revisão bibliográfica abordando a evolução do conceito de desempenho.

Também, é apresentada a evolução do conceito de desempenho no Brasil com a citação da primeira publicação sobre o assunto, na década de 1980, realizada pelo IPT, e o início dos estudos para regular e avaliar o desempenho de edificações, fomentado pela CEF que, posteriormente, resultaria na elaboração da NBR 15575, com apoio fundamental da ABNT.

Outros assuntos abordados nesta fase ficaram correlacionados à estrutura da NBR 15575 (2013) (Anexo A – pg 182) e aos desafios à implantação da NBR 15575 (2013) na cadeia produtiva da construção civil brasileira.

4.2.2.2 Análise Crítica e Seleção dos EED

A análise crítica dos EED recomendados na NBR 15575 (2013) para avaliação de desempenho de edificações HIS térreas, isoladas, teve como objetivo identificar a eficiência dos ensaios e foi realizada em dois momentos distintos. No primeiro momento, a análise resultou em fatores críticos que serviram de base para elaboração de critérios de interpretação para os EED. Já o segundo ocorreu após a realização de alguns EED para avaliação de sistemas construtivos de edificações HIS térreas utilizando como base a análise interpretativa.

Destaca-se que as análises foram focadas nas partes 1, 2, 4 e 5 da NBR 15575 (2013), não contemplando as partes 3 e 6. Essa decisão foi tomada com o intuito de correlacioná-la com a experiência acumulativa dos EED realizados no LEME/UFRGS.

A seguir, descrevem-se detalhadamente as análises:

a) Análise Crítica dos EED recomendados na NBR 15575 (2013)

Para auxiliar a análise crítica dos EED, elaborou-se o “Mapeamento de requisitos, critérios e métodos de avaliação” estabelecidos na NBR 15575 (2013), conforme apresentado no Apêndice A (pg154).

Também, foi elaborado o “Mapeamento da evolução dos métodos de avaliação entre as versões 2008 e 2013 da NBR 15575”, comparando as versões e relatando as alterações ou não dos métodos de avaliação. O resultado está representado no Apêndice B (pg 171).

Realizou-se uma análise minuciosa da NBR 15575 (2013) direcionada aos tipos de EED, procedimentos de EED adotados e a identificação das Normas prescritivas citadas. O resultado gerou um mapeamento entre “requisito de desempenho x EED” elencando-se fatores críticos, apresentado no Capítulo 3.

Em decorrência dos fatores críticos elencados, criaram-se critérios de interpretação para analisar os EED quanto a aplicação, execução, fidedignidade dos resultados, representabilidade dos resultados e adequabilidade do ensaio frente a distintos sistemas construtivos e, também, foram criados critérios para os

parâmetros de aceitabilidade e seus limites, quanto à representabilidade e adequação aos sistemas.

A seguir, os critérios de interpretação dos EED são descritos:

- *Quanto à aplicabilidade:* este critério diz respeito à aplicação do ensaio com a identificação e as dimensões mínimas do corpo de prova ou protótipo, da posição do corpo de prova e local correto da aplicação do ensaio, e, também, quanto a informação da posição exata da instrumentação no corpo de prova ou protótipo.
- *Quanto à exequibilidade:* este critério diz respeito aos equipamentos necessários a execução dos EED; descrição detalhada e precisa do funcionamento; forma de fixação do corpo de prova ao dispositivo de ensaio; disponibilidade quanto a construção ou montagem de protótipo em escala real (1:1) para realização de ensaios, bem como a localização do mesmo e posição em relação a orientação solar; entre outros.
- *Quanto à fidedignidade e à representabilidade dos resultados:* este critério tem como preceito reconhecer que o EED se reproduz da melhor forma a situação real ao qual estão sujeitos os sistemas construtivos de uma edificação habitacional e que as medições propostas pelo EED obtenham resultados que traduzam o comportamento em uso do sistema.
- *Quanto à adequabilidade:* este critério está associado à adequação da metodologia do EED a distintos sistemas construtivos. Observou-se, durante a análise crítica dos EED recomendados na NBR 15575 (2013), que existe uma tendência de caráter originário das metodologias dos EED a sistemas construtivos que utilizam tecnologia convencional, que – por vezes – são inadequadas a novos sistemas.

Os critérios de análise interpretativa para os parâmetros de aceitabilidade dos EED estão descritos logo abaixo:

- *Quanto à representabilidade:* este critério diz respeito à adoção de parâmetros mensuráveis e que representem o comportamento da utilização do sistema.

- *Quanto à adequabilidade:* este critério associa o parâmetro de aceitabilidade ao limite admissível para cada sistema construtivo, identificando se os limites adotados estão adequados às características de composição dos sistemas avaliados.

Outra constatação desta análise foi a falta de EED, conforme abordado no capítulo 3, para desempenho térmico em SVVE e de segurança contra incêndio para edificações HIS térreas. O primeiro é realizado pelo LEME/UFRGS há mais de 10 anos, fazendo parte da experiência acumulativa do laboratório, e o segundo é um EED elaborado e aplicado, pela autora com apoio de uma equipe técnica de especialistas da área, para simular um incêndio em protótipo de edificação térrea, em escala real (1:1), com o objetivo de avaliar o comportamento da edificação frente à ação do fogo.

Optou-se em selecionar esse dois EED com intuito de propor a incorporação de ambos como ensaios alternativos à avaliação de desempenho de edificações HIS térreas à NBR 15575 (2013). No capítulo 6, são apresentados os EED e os resultados obtidos.

b) Análise Crítica dos EED aplicados aos modelos de edificações HIS térreas

A análise interpretativa dos EED aplicados aos modelos de edificações HIS térreas originou um mapeamento com “EED x modelos de edificações x critérios de análise interpretativa” (vide Apêndice C - pg179), que serviu de base para identificar os EED a serem analisados criticamente em relação à interpretação quanto aos procedimentos, equipamentos e parâmetros.

O resultado do mapeamento identificou a necessidade de análise crítica em três EED: o ensaio de impacto de corpo mole e de ação de calor e choque térmico, ambos para SVVE, e o ensaio de desempenho térmico por medição *in loco*.

A análise crítica dos ensaios utilizou como base os critérios da análise interpretativa que possibilitou a elaboração de proposições de avanços nas metodologias dos EED. O Capítulo 6 apresenta as proposições de avanço para os ensaios de impacto de corpo mole, ação de calor e choque térmico e desempenho térmico por medição *in loco*.

Os modelos de edificações térreas utilizados para a aplicação dos EED estão descritos detalhadamente no Anexo B (pg 192). No total, foram usados sete modelos, cinco específicos para edificações HIS térreas e dois caracterizados como edificações térreas, estes últimos utilizados para ampliar a amostra dos resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico. Todos os modelos utilizam SVVE inovadores.

4.2.2.3 Proposição de Avanço ao EED

Esta etapa objetiva apresentar as proposições de avanço nas metodologias de EED para edificações HIS térreas. Os EED selecionados foram: ação de calor e choque térmico em SVVE, impacto de corpo mole em SVVE, desempenho térmico em SVVE e simulação de incêndio em protótipo de edificação térrea, em escala real (1:1).

A sequência de apresentação dos EED está dividida da seguinte maneira:

a) Descrição do EED

Neste item, é apresentada a descrição básica do procedimento de ensaio conforme estabelecido na NBR 15575 (2013), composta pela listagem e descrição dos equipamentos necessários para realização do ensaio, procedimento de ensaio seguido da apresentação dos parâmetros de aceitabilidade e os limites mínimos.

b) Resultados da análise crítica do EED

Apresenta-se o resultado da análise crítica interpretativa do EED quanto aos equipamentos e procedimento de ensaio e quanto aos parâmetros de aceitabilidade. A análise é descrita detalhadamente por meio dos critérios interpretativos quanto ao EED por meio de aplicabilidade, exequibilidade, adequabilidade, fidedignidade e representabilidade dos resultados e, também, quanto aos parâmetros de aceitabilidade em função da representação e da adequação dos parâmetros a diferentes sistemas construtivos.

c) Análise dos resultados dos EED aplicados aos modelos de edificações Térreas

Este item é destinado a verificar como os diferentes sistemas de edificações HIS térreas respondem ao método de EED. Primeiramente, são apresentados os resultados, por EED, aplicados aos modelos de estudo de caso, discutindo-se os resultados obtidos.

d) Proposições de inovações aos EED estabelecidos na NBR 15575 (2013)

Após a discussão dos resultados, apresentam-se as proposições de inovação aos EED da NBR 15575 (2013), propostas e sistematizadas pela autora, com o objetivo de superar limitações observadas na prática dos EED atuais baseadas nos registros efetuados durante a realização dos mesmos para o desenvolvido desta tese e, também, utilizando a experiência acumulativa do LEME/UFRGS.

Capítulo 5 – DISCUSSÃO E PROPOSIÇÕES DE MELHORIA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS PARA INCORPORAÇÃO À NBR 15575

Neste capítulo, são apresentadas e discutidas as proposições de inovações para o conjunto de ensaios experimentais recomendados na NBR 15575 (2013), as quais haviam sido estabelecidos no capítulo 4 como de interesse para o presente trabalho (ação de calor e choque térmico, impacto de corpo mole, desempenho térmico e ensaio experimental de simulação de incêndio, em escala real). O capítulo foi dividido de forma que cada seção apresentasse a discussão de um tipo de ensaio, incluindo considerações sobre o procedimento de ensaio, os requisitos e os resultados obtidos. A partir disso foi possível embasar uma análise crítica do ensaio e a formulação de proposições de melhoria aos mesmos.

5.1 ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO EM SVVE

O ensaio de ação de calor e choque térmico recomendado na NBR 15575 (2013) tem como objetivo analisar o comportamento do sistema de vedação vertical externo (SVVE) quanto a danos e deslocamentos, ao ser submetido a ciclos sucessivos de aquecimento por fonte de calor e resfriamento por jatos de água. A ideia é simular simplificadamente o estresse causado pela variação de temperatura e umidade associada à ação das chuvas sobre os elementos (paredes) aquecidos, que ocorre durante a vida útil de um edifício exposto a intempéries.

5.1.1 Descrição Básica do Procedimento de Ensaio como Estabelecido na NBR 15575 (2013)

O procedimento de ensaio consiste em aplicar dez ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento para cada corpo de prova representativo do SVVE, com extensão variável (largura) entre 1 m e 1,40 m.

5.1.1.1 Equipamentos

- a) Painel radiante: o ensaio é realizado com auxílio de painel radiante capaz de oferecer calor à superfície do SVVE, até que a face exposta ao aquecimento do SVVE atinja temperaturas na faixa entre 77°C e 83°C.
- b) Aspersão de água: para imprimir o choque térmico, faz-se a aspersão de água sobre a face exposta ao aquecimento do SVVE monitorando a temperatura da superfície até atingir uma faixa entre 15°C e 25°C.
- c) Termopares de superfície PT 100 e sistema de registro de dados: são utilizados para monitorar a superfície do SVVE, no total de cinco termopares e um sistema de aquisição de dados.
- d) Defletômetro: para a medição do deslocamento do SVVE, é utilizado um defletômetro de haste com resolução de 0,02 mm.
- e) Dispositivo de fixação: para fixar o corpo de prova do SVVE, devem ser usados dispositivos que o deixe simplesmente apoiado nos bordos inferiores e superiores.

5.1.1.2 Procedimento de ensaio

Cada corpo de prova representativo do SVVE deve ser submetido a dez ciclos sucessivos de exposição à ação de calor e choque térmico. O monitoramento das temperaturas durante os ciclos é realizado pelos termopares distribuídos no SVVE, na face exposta ao aquecimento e ao resfriamento. O defletômetro é posicionado no ponto central do SVVE, face não exposta ao aquecimento e ao resfriamento, conforme é apresentado na Figura 5.1.

O painel radiante deve ser disposto defronte o corpo de prova do SVVE, a uma distância tal que a temperatura superficial da face exposta ao calor se mantenha na faixa entre 77°C e 83°C, durante uma hora. Após esse período, é realizada a aspersão de água na superfície aquecida até se atingir temperaturas na faixa de 15°C a 25°C.

O deslocamento horizontal, registrado pelo defletômetro, deve ser colhido após 45 minutos da estabilização da temperatura ($80\pm 3^\circ\text{C}$), face exposta ao aquecimento do SVVE, e, também, imediatamente após o resfriamento ($20\pm 5^\circ\text{C}$), face exposta ao resfriamento do SVVE. Durante o ensaio e após o final dos dez ciclos, procede-se uma inspeção visual no SVVE a fim de registrar a ocorrência de fissuras, trincas, deslocamentos ou outras deteriorações em ambas as faces do corpo de prova.

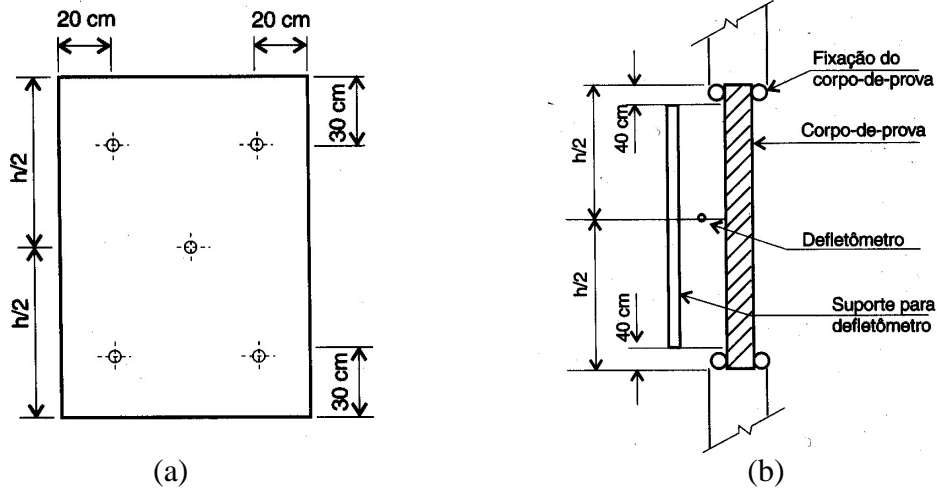


Figura 5.1: Posicionamento dos (a) termopares na superfície do corpo de prova e (b) do defletômetro, (ABNT NBR 15575, 2013).

5.1.1.3 Parâmetro de Aceitabilidade

Os corpos de provas do SVVE, quando submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico, não podem apresentar deslocamento horizontal instantâneo (d_h), no plano perpendicular ao corpo de prova, superior a $h/300$, onde h é a altura do corpo; bem como, não é permitida a ocorrência de falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos e descoloramentos que possam comprometer a utilização do SVVE.

5.1.2 Resultado da Análise Crítica do Ensaio de Ação Calor e Choque Térmico para HIS Têrreas

Apresenta-se, a seguir, o resultado da análise crítica realizada pela autora quanto ao procedimento de ensaio experimental e parâmetros de aceitabilidade adotados na NBR 15575 (2013). A análise foi efetuada usando os critérios definidos no Capítulo 4.

5.1.2.1 Análise crítica quanto aos equipamentos e ao procedimento de ensaio

A análise crítica dos equipamentos e do procedimento de ensaio identificou que o ensaio de ação de calor e choque térmico não atende satisfatoriamente vários dos critérios de análise estabelecidos como referenciais neste trabalho, conforme descrito a seguir:

- a) *Quanto à aplicabilidade*: a descrição do corpo de prova não é clara quanto à altura do segmento de parede, conforme é demonstrado na Figura 5.2. Além disso, a figura apresentada no procedimento de ensaio descrito na NBR 15575 (2013) – Parte 4 (Anexo E) não é clara quanto à posição de fixação do defletômetro na face oposta a aquecimento e resfriamento do SVVE (vide Figura 5.1).

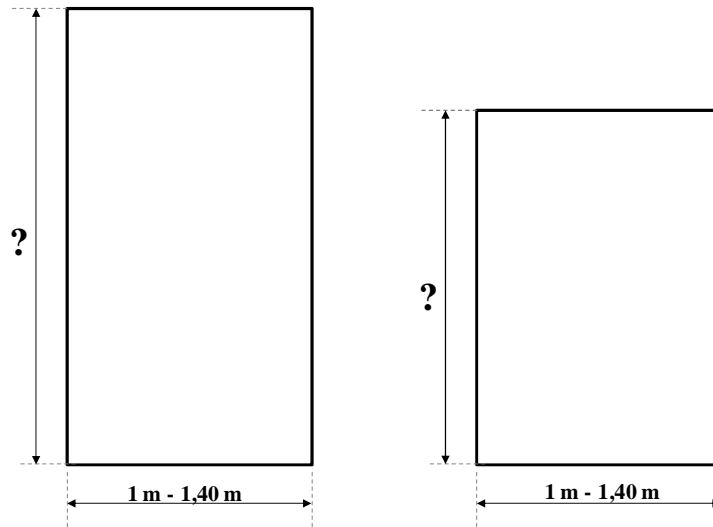


Figura 5.2: Representação das incertezas relativas às especificações para aplicação do ensaio de choque térmico quanto a geometria do corpo de prova.

- b) *Quanto à exequibilidade*: a informação, apresentada na NBR 15575 (2013) em relação ao painel radiante não é suficiente para a compreensão do equipamento e são insuficientes as descrições quanto a posição do painel radiante em relação ao corpo de prova do SVVE e quanto à aplicação do ensaio no corpo de prova, conforme ilustram as Figuras 5.3, 5.4 e 5.5. Também não são apresentados: a forma de monitoramento das temperaturas na superfície do SVVE e como os jatos de água devem incidir na superfície exposta ao aquecimento para provocar o choque térmico (vide Figura 5.6), bem como não se menciona o reúso da água.

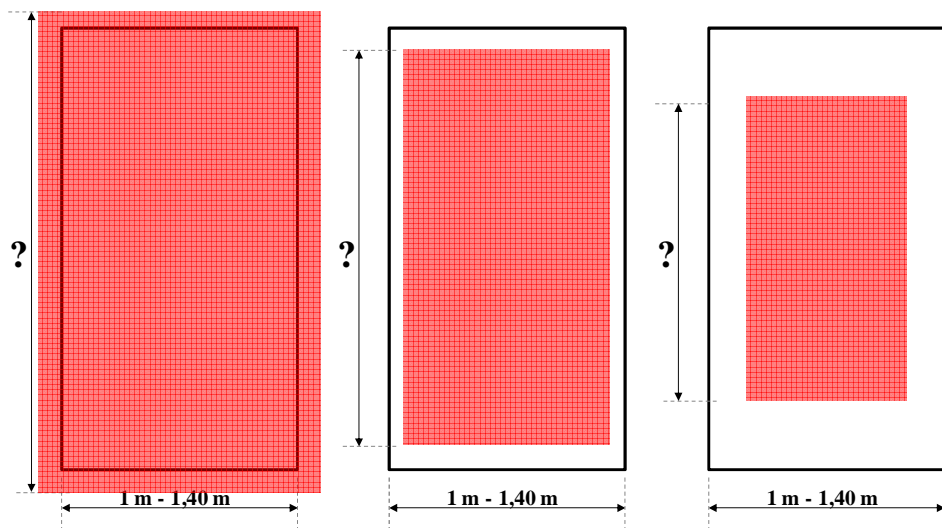


Figura 5.3: Dúvida para aplicação do ensaio referente a área de exposição de ação de calor de choque térmico no corpo de prova.

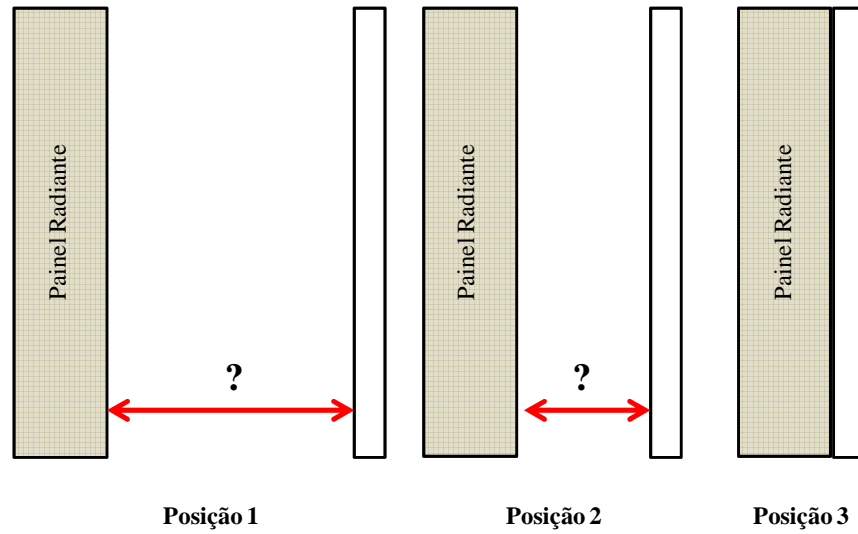


Figura 5.4: Representação das incertezas relativas às especificações para aplicação do ensaio de choque térmico quanto a distância do painel radiante em relação ao corpo de prova.

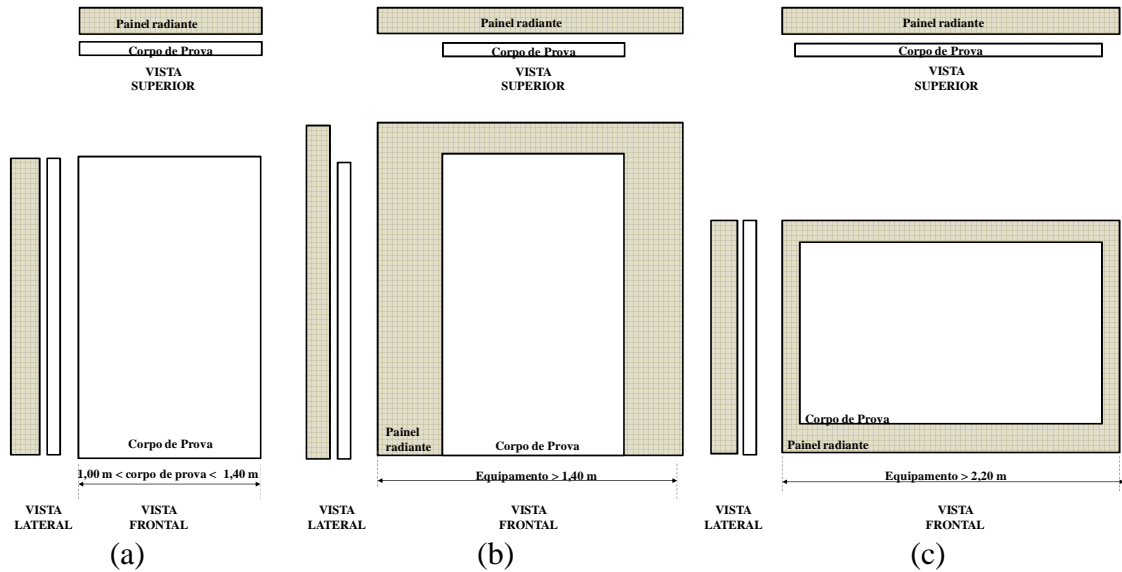


Figura 5.5: Dúvidas para execução do ensaio quanto ao equipamento de ação de calor e choque térmico: (a) mesmo tamanho do corpo de prova, (b) maior que o corpo de prova, mais alto e mais largo e (c) equipamento posicionado na horizontal.

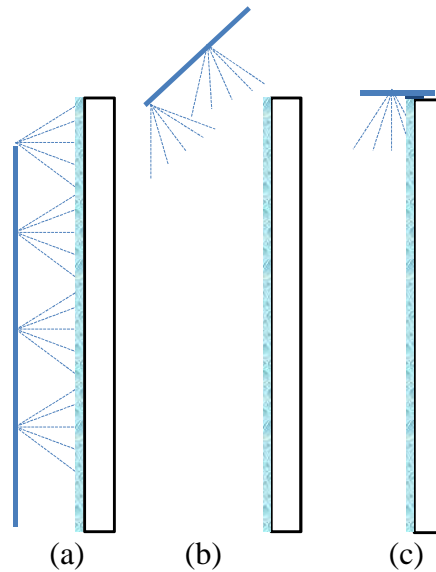


Figura 5.6: Dúvidas para execução do ensaio quanto a aspersão dos jatos de água:
 (a) jatos constantes e uniformes, (b) jatos simulando ação de chuva com vento e
 (c) jatos que forma uma lâmina de água.

- c) *Quanto à fidedignidade e representabilidade de resultados*: existe insuficiência de informações especificadas no critério de aplicabilidade e exequibilidade do ensaio, o que pode induzir a resultados não fidedignos do comportamento do SVVE, prejudicar a interpretação dos dados e impedir uma análise adequada de desempenho do SVVE.

Em relação a representabilidade de resultados, o ensaio estabelece como critério mensurável o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) e o critério de inspeção visual, sem mensuração, o que implica na adoção de uma avaliação interpretativa com base no viés do especialista.

- d) *Quanto à adequabilidade*: o critério mensurável, deslocamento horizontal instantâneo (d_h), pode ter sido originário de avaliação de sistemas construtivos pesados, caracterizados pela elevada massa e rigidez. Para sistemas leves, caracterizados por pequena massa, flexíveis e resilientes, apenas o critério de deslocamento horizontal instantâneo (d_h) não é suficiente para avaliá-lo. Nesses sistemas é relevante e fundamental conhecer o comportamento do deslocamento horizontal residual (d_{hr}), que indica a possibilidade de danos permanentes ao sistema e a capacidade do mesmo de voltar ao seu estado normal.

5.1.2.2 Análise crítica quanto ao parâmetro de aceitabilidade

Na análise crítica quanto aos parâmetros adotados para o ensaio de ação de calor e choque térmico, identificou-se que o parâmetro de aceitabilidade adotado no ensaio não atende satisfatoriamente aos critérios de *representabilidade* e *adequabilidade*, conforme se destaca a seguir:

- a) *Quanto à representabilidade*: o único parâmetro mensurável adotado pelo ensaio é o deslocamento horizontal instantâneo (d_h). Além disso, não são abordados os deslocamentos horizontais: residual, laterais e os verticais, que expressam a movimentação no corpo de prova (estresse causado pela variação de temperatura e umidade), podendo servir como indicativos de possíveis falhas que comprometem o desempenho. Quanto ao parâmetro de inspeção visual o procedimento de ensaio não deixa claro o que considerar como falha ou perda de desempenho que torna inviável ou indesejável a utilização de um SVVE.
- b) *Quanto à adequabilidade*: não há evidências de que o limite adotado na NBR 15575 (2013) para o deslocamento horizontal instantâneo (d_h), ($d_h \leq h/300$), inviabilize a utilização de um SVVE. Também, não existem parâmetros estabelecidos para a inspeção visual que determinem se um SVVE está adequado ou não para ser utilizado.

5.1.3 Análise de Resultados de Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico em Modelos de Edificações Térreas

Para averiguar como diferentes SVVE de HIS térreas, estudo de caso, respondem ao método de ensaio de ação de calor e choque térmico, discutem-se, neste item, os resultados obtidos durante a avaliação de desempenho, conforme se destaca:

- a) O sistema construtivo identificado como modelo A não foi ensaiado porque a análise preliminar do sistema verificou que o mesmo se atende a Diretriz SINAT nº 001/02 (2011), que dispensa a realização deste ensaio. Ou seja, as paredes deste modelo são de concreto armado caracterizado com massa específica da ordem de 2.300 kg/m^3 e possuem espessura $\geq 10 \text{ cm}$.
- b) Os modelos B e C, sem Diretriz SINAT estabelecida no período de avaliação de desempenho e sem obrigatoriedade de aplicação da NBR 15575 (2008), entre 2009 e 2010, ficaram sem a realização deste ensaio experimental.

- c) Para incorporar a base de dados do ensaio foram utilizados os resultados dos SVVE do modelo D e dos modelos E, F e G, conforme descrição no Capítulo 1 e no Anexo B.

A Tabela 5.1 apresenta os resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico para cada corpo de prova, representativo do SVVE dos modelos D, E, F e G, informando o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) e ao deslocamento horizontal instantâneo limite ($d_{h\text{ limite}}$), e a Figura 5.7 apresenta o gráfico dos resultados de cada deslocamento por corpo de prova ensaiado.

Tabela 5.1: Resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico para os SVVE, modelos D, E, F e G, quanto aos deslocamentos horizontais instantâneos (d_h).

Modelo	D		E		F		G	
h=altura corpo de prova (mm)	2500		2200		3050		2500	
$D_{h \text{ limite}} < h/300$ (mm)	8,33		7,33		10,17		8,33	
Corpo de Prova	Painel 1	Painel 2	Parede 1	Parede 2	Painel A	Painel B	Painel A	Painel B
Ciclo	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	1,46	0,56	0,24	0,35	0,17	0,29	1,57	1,73
2	0,85	0,44	0,32	0,32	0,22	0,35	1,24	1,28
3	0,76	1,19	0,43	0,33	0,27	0,28	1,83	1,35
4	0,72	1,26	0,45	0,34	0,27	0,31	1,61	1,38
5	0,71	1,06	0,53	0,35	0,25	0,31	1,73	1,62
6	0,95	0,94	0,42	0,35	0,24	0,26	1,84	1,61
7	0,78	0,76	0,43	0,31	0,24	0,35	1,80	1,54
8	0,75	0,79	0,44	0,35	0,25	0,32	1,73	1,50
9	0,78	1,27	0,41	0,35	0,28	0,28	1,41	1,56
10	0,69	1,09	0,40	0,37	0,25	0,32	1,67	1,55

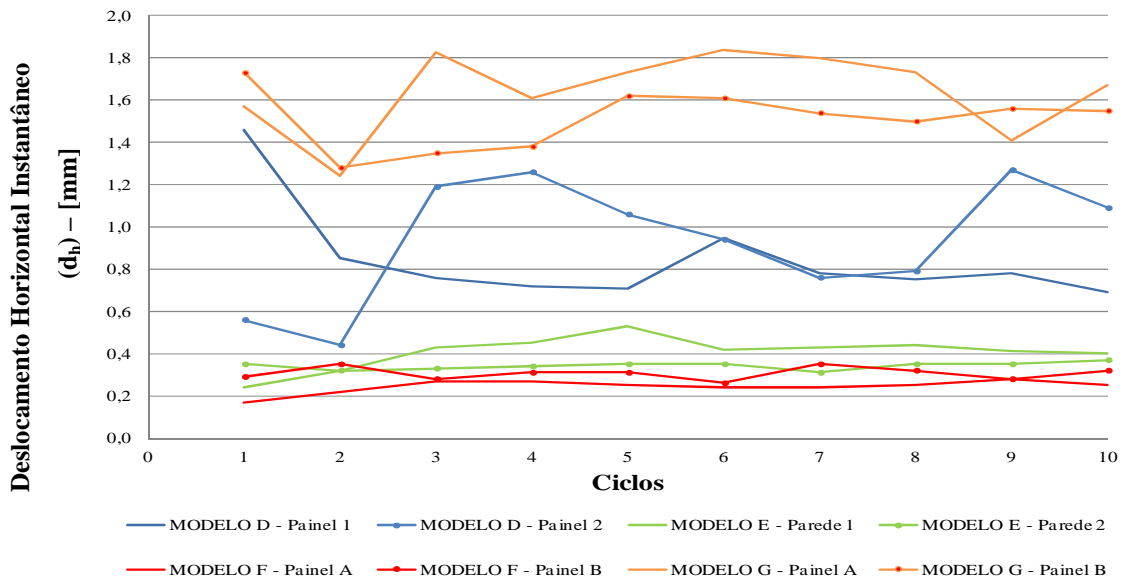


Figura 5.7: Resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico para os SVVE, modelos D, E, F e G, quanto aos deslocamentos horizontais instantâneos (d_h).

Analisando os resultados expressos (Tabela 5.1 e Figura 5.7), percebe-se que os deslocamentos horizontais instantâneos (d_h) dos Modelos D e G apresentam valores mais elevados do que os dos Modelos E e F, fato compreensivo pelas características dos modelos, visto que os Modelos D e G são compostos por sistemas leves, e os Modelos E e F, por sistemas pesados. Evidencia-se que o comportamento dos sistemas pesados (modelos E e F), durante os dez ciclos, foram praticamente similares e o comportamento dos sistemas leves (modelos D e G) apresenta uma diferença de comportamento, demonstrando certa disparidade entre os resultados.

Os resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico indicam que os SVVE dos modelos (D, E, F e G) apresentam comportamento adequado frente ao parâmetro adotado na NBR 15575 (2013) para o critério de deslocamento horizontal instantâneo (d_h), ($d_h < h/300$). Na inspeção visual dos SVVE, não foram observadas nenhuma ocorrência nos modelos E, F e G, sendo considerados adequados para o fim pretendido. No SVVE do modelo D ocorreu o descolamento na união entre os componentes do painel (chapa de aço galvalume e poliuretano expandido – PU), fazendo com que houvesse a necessidade de uma análise minuciosa dos corpos de prova, em especial o Painel 1 (vide Figura 5.8).

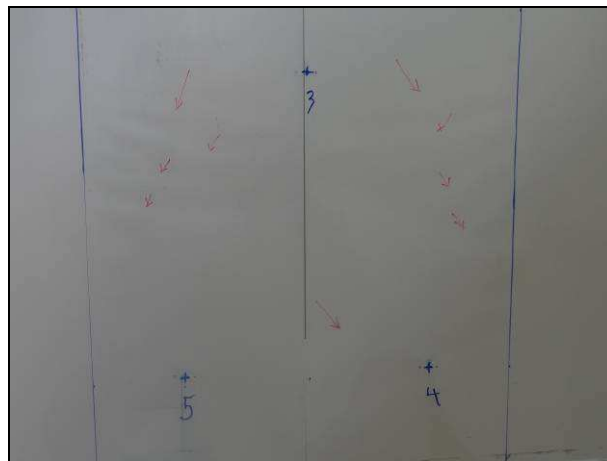


Figura 5.8: Aspecto final do Painel 1 do SVVE do Modelo D após o ensaio de ação de calor e choque térmico.

Em relação a degradação ocorrida, destaca-se:

- a) A união entre os componentes (chapa de aço galvalume, núcleo de poliuretano e chapa de aço galvalume) é fundamental para manter as condições de uso, sendo necessário estabelecer limite para a área de descolamento entre os componentes;

- b) O Relatório Técnico n° 22 (LEME, 2010), referente ao ensaio de compressão centrada em elemento isolado (painel) do SVVE, tem como conclusão que mesmo com uma área de 90% de descolamento entre os componentes de um elemento, o mesmo ainda mantém suas condições de uso – Estado Limite de Serviço (ELS).
- c) Adotou-se que a área de descolamento no SVVE do modelo D não pode ser superior a 45% da área de exposição a ação de calor e choque térmico, identificando um coeficiente de segurança igual a 2, baseado no Relatório Técnico n° 22 (LEME, 2010).

Durante a realização dos ensaios percebeu-se a necessidade de melhorias na metodologia do mesmo a fim de promover resultados mais precisos do comportamento em uso de SVVE, quando exposto a condições ambientais severas. Dessa forma, esta tese relaciona, a seguir, as proposições de inovações ao ensaio de ação de calor e choque térmico.

5.1.4 Proposições de Inovações ao Ensaio Ação de Calor e Choque Térmico estabelecido na NBR 15575 (2013)

A seguir são apresentadas proposições de inovação ao ensaio de ação de calor e choque térmico, estabelecido na NBR 15575 (2013). As mesmas foram propostas e sistematizadas pela autora com o objetivo de superar limitações observadas na prática de ensaio experimental atual e se baseiam em registros efetuados durante ensaios desenvolvidos no LEME/UFRGS.

Com base na análise crítica apresentada (item 5.1.2) e na prática de laboratório (item 5.1.3) foram estabelecidas cinco proposições de inovação ao ensaio de ação de calor e choque térmico. Busca-se, com as mesmas, contribuir para o avanço da metodologia do ensaio.

5.1.4.1. **Proposição 1** – Acrescentar as dimensões do corpo de prova e a área de exposição ao aquecimento e resfriamento do corpo de prova.

- a) O corpo de prova deve ser representativo do SVVE. Propõem-se, portanto, que:
- Seja especificado no método de avaliação que o corpo de prova deve representar o SVVE aplicado na obra, sendo obrigatória a inclusão da interface entre componentes, caso existente;
- b) As dimensões do corpo de prova e área de exposição a ação do calor e ao resfriamento devem ser definidas. Propõem-se o uso de limites, como descrito a seguir:

- O procedimento de ensaio de ação de calor e choque térmico descrito na NBR 15575 (2013) – Parte 4, estabelece que o corpo de prova deve ter largura entre 1,00 m e 1,40 m. A NBR 15575 (2013) - Parte 1 , item Funcionalidade e Acessibilidade determina que a altura mínima de pé-direito não pode ser inferior a 2,50 m. Logo, a área total de um corpo de prova deve ficar entre 2,50m² e 3,50m².
- A rigidez de um corpo de prova varia com a largura. Dessa forma, sugere-se que as dimensões do corpo de prova a ser submetido ao ensaio de ação de calor e choque térmico tenha largura de um metro e altura do pé-direito (1,00 x pé-direito) m, conforme ilustra a Figura 5.9 (a).
- Propõe-se que a área de exposição ao aquecimento e resfriamento seja a área do corpo de prova, (vide Figura 5.9 (b)).

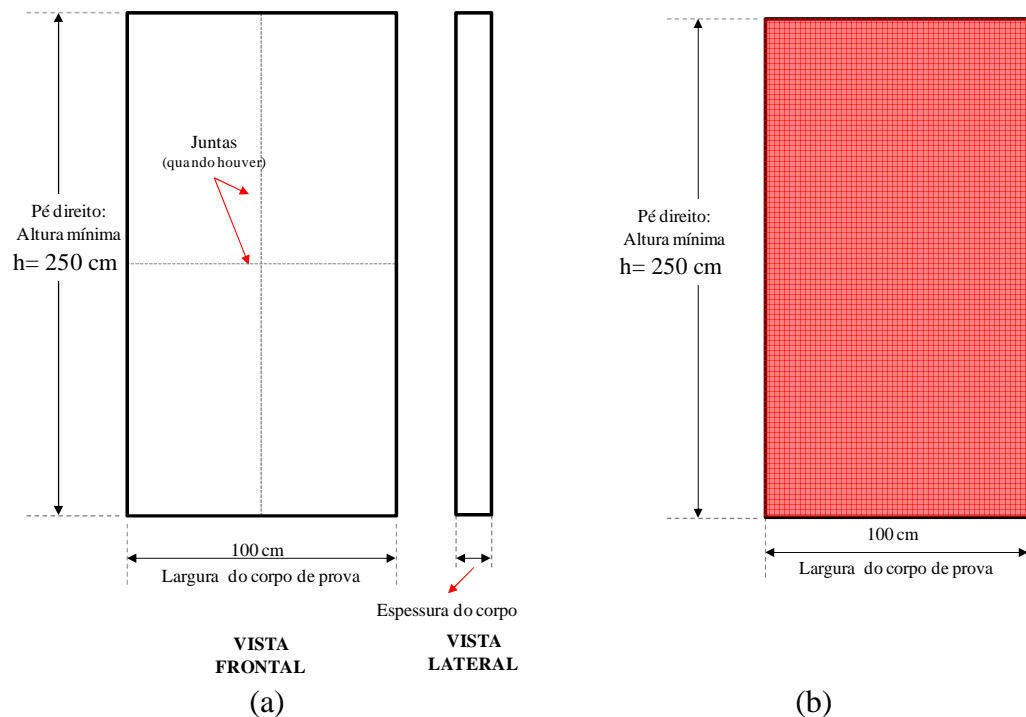


Figura 5.9: **Proposição 1:** (a) dimensões do corpo de prova e (b) área de exposição ao aquecimento e resfriamento do corpo de prova.

5.1.4.2. **Proposição 2** – Acrescentar a especificação do equipamento painel radiante, dos jatos de água e da reutilização da água e, quando necessário, do resfriamento de água.

a) O equipamento deve simular as condições de exposições ambientais com controle das variáveis. A prática de laboratório na realização do ensaio de ação de calor e choque térmico permitiu observar que:

- em função das distintas composições dos sistemas construtivos (materiais e espessuras) o ensaio tem diferente resposta térmica. O equipamento precisa ter um controle de temperatura que possibilite maior ou menor intensidade de calor, interagindo com as temperaturas da superfície do corpo de prova exposta ao aquecimento, para ficar entre 77°C e 83°C ,
- o ensaio realizado com equipamento radiante em toda sua extensão imprimiu temperaturas muito elevadas na parte superior. A radiação de calor apenas na parte inferior do painel radiante em conjunto com a convecção do ar ajuda a homogeneizar as temperaturas no corpo de prova, (vide Figura 5.10) e,
- o ensaio deve ser realizado com o corpo de prova na posição vertical a fim de simular o estresse causado pela variação de temperatura (vide Figura 5.10).

Propõe-se, portanto, que seja incluído na NBR 15575 (2013) que o equipamento deve proporcionar temperatura homogênea no corpo de prova. E sugere-se melhorar a definição do equipamento: tipo de funcionamento, controle da interação equipamento/corpo de prova. Busca-se com essas sugestões proporcionar ao ensaio a reprodutibilidade da exposição a temperaturas ambientais severas e umidade, associada à ação das chuvas, para os SVVE.

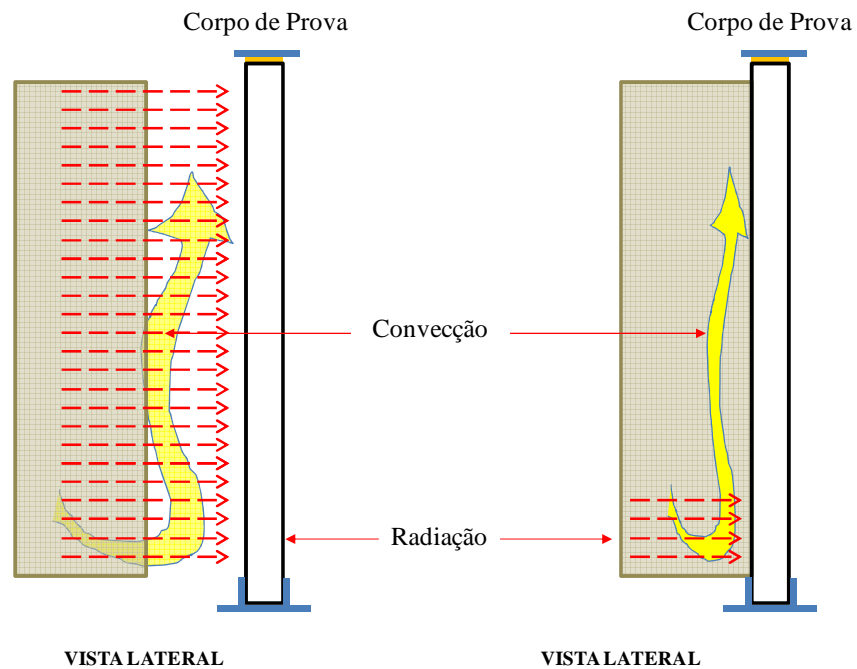


Figura 5.10: **Proposição 2:** (a) radiação e convecção do ar em toda a extensão do corpo de prova e (b) radiação na parte inferior do painel e convecção do ar em toda a extensão do corpo de prova.

b) Os jatos de água devem ser padronizados para provocar o resfriamento após o aquecimento do corpo de prova. A prática de laboratório na realização do ensaio de ação de calor e choque térmico permitiu observar que:

- o resfriamento com jatos de água pode ser auxiliado por uma bomba de recalque com vazão constante de $7\text{m}^3/\text{h}$ e pressão de 32 mca. Essas características proporcionam uma simulação de chuva intensa com aspensão de jatos de água constantes e uniformes e a pressão exercida não influencia no deslocamento horizontal do corpo de prova,
- o ensaio é composto por dez ciclos de resfriamento utilizando aproximadamente 300 litros de água a cada ciclo para um corpo de prova com dimensões mínimas (vide Figura 5.8), com um total de 3.000 litros de água por ensaio. Sugere-se que seja feito o reaproveitamento de água para evitar o desperdício e reduzir o impacto ambiental. A água utilizada deve ser mantida em temperatura controlada $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, para que a superfície aquecida do corpo de prova sofra uma variação de temperatura entre 52°C e 68°C .

- A Figura 5.11 apresenta o fluxo de água para o resfriamento utilizando bomba de recalque e filtro, esse para evitar o entupimento dos bicos de aspersão de água.

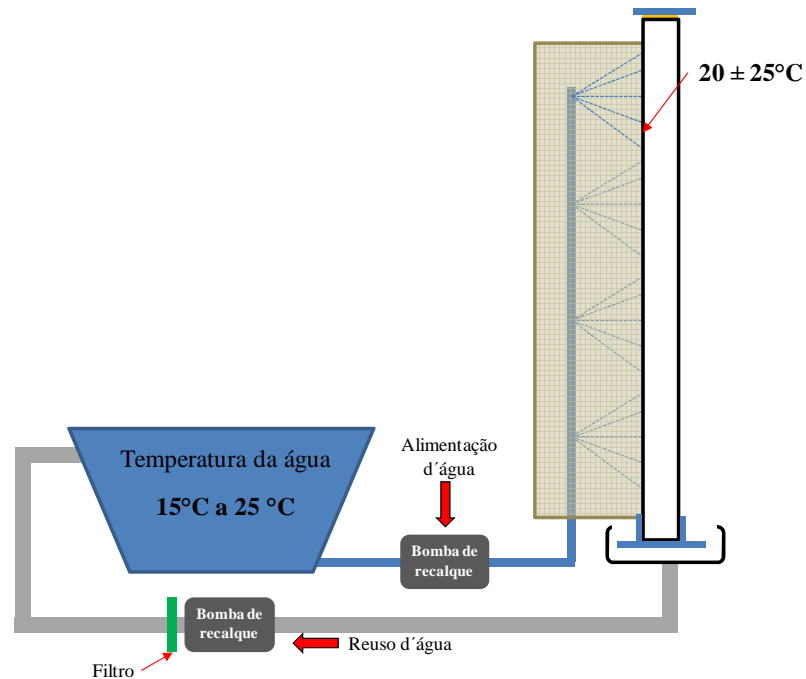


Figura 5.11: **Proposição 2:** Esquema de reuso de água para ensaio de ação de calor e choque térmico.

5.1.4.3. **Proposição 3** – Incorporar o confinamento das extremidades do corpo de prova e modificar a fixação do suporte do defletômetro.

- Aplicar o confinamento nas extremidades dos corpos de prova, simulando situação real. Sugere-se que o arranjo experimental seja adaptado da seguinte forma:
 - O corpo de prova deve ser colocado em um quadro de apoio (por exemplo: pórtico metálico, ajustável nas laterais e parte superior), a fim de possibilitar o confinamento do corpo de prova, conforme é apresentado na Figura 5.12;
 - A fixação do corpo de prova na parte inferior, superior e laterais deve ser conforme é utilizado em obra. Caso não seja possível representar em laboratório o que ocorre na obra, sugere-se que a parte inferior do SVVE seja fixada com tubos de aço, não permitindo o deslocamento.

- Nas laterais e na parte superior do corpo de prova do SVVE deve ser aplicada a mesma solução utilizada em obra na interface entre sistemas, como exemplo: para a interface entre elementos pré-fabricados o encontro entre o quadro de apoio e o corpo de prova pode ser com tarugo flexível de poliuretano expandido e selante elástico.
- b) O defletômetro que registra o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) deve ser acoplado ao quadro de apoio, onde se propõe:
- Fixar o defletômetro independente ao corpo de prova, vinculado ao quadro de apoio (pórtico metálico), para efetuar uma adequada medição dos deslocamentos ocorridos no corpo de prova, isto é, sem contaminação de deslocamentos do corpo de prova (vide Figura 5.12).

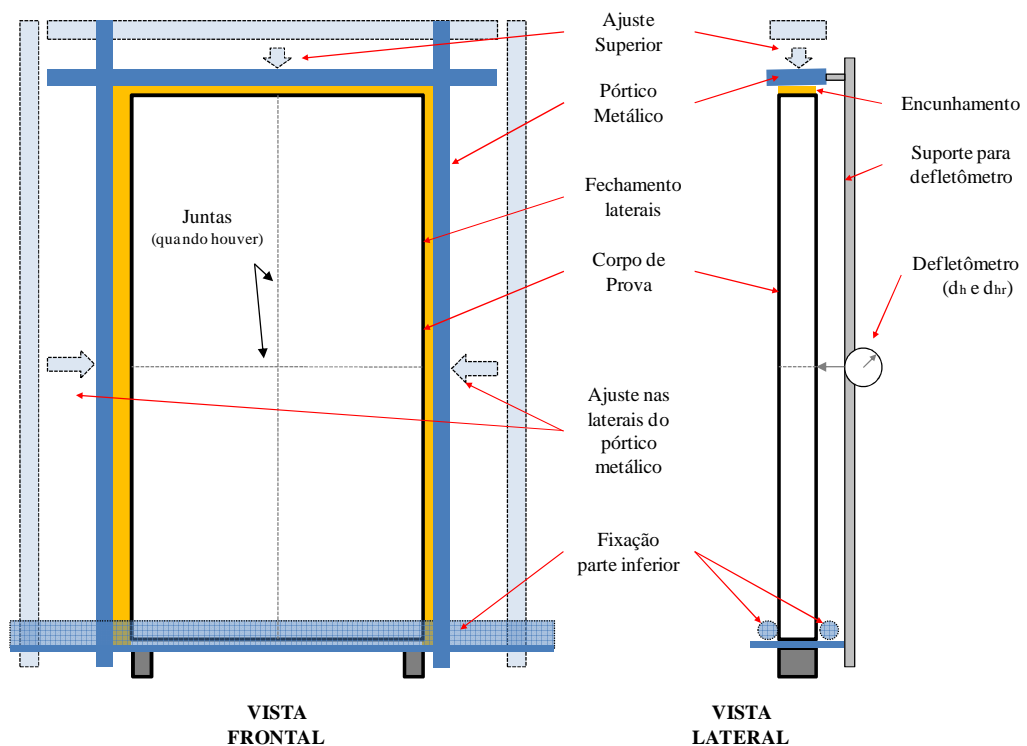


Figura 5.12: **Proposição 3:** Desenho esquemático do confinamento do corpo de prova com auxílio de um quadro de apoio e a fixação do suporte do defletômetro, independente ao corpo de prova, para ensaio de ação de calor e choque térmico em SVVE.

5.1.4.4. **Proposição 4** – Diminuir o limite do parâmetro de aceitabilidade do deslocamento horizontal instantâneo (d_h) e acrescentar o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) como parâmetro de aceitabilidade. Sugere-se:

- a) Diminuir o limite do parâmetro de aceitabilidade d_h em 50% em relação ao d_h estabelecido na NBR 15575 (2013)
 - Com base na experiência de realizar ensaios de ação de calor e choque térmico e nos resultados encontrados para SVVE leves e flexíveis e SVVE pesados e rígidos (80 ciclos: 4 modelos x 2 corpos de prova x 10 ciclos) que indicam um deslocamento horizontal instantâneo (d_h) máximo próximo a 25% do limite estabelecido na NBR 15575 (2013) – Parte 4, que é de $d_h < h/300$ (vide Tabela 5.1 e Figura 5.6), sugere-se um deslocamento horizontal instantâneo (d_h), $d_h < h/600$.
- b) Acrescentar como critério o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) e estabelecer o parâmetro de aceitabilidade.

O deslocamento horizontal residual (d_{hr}) proporciona informações pertinentes e importantes quanto a danos cumulativos e permanentes que podem afetar o comportamento de SVVE em uso, ao longo da vida útil. Esse critério é utilizado na NBR 15575 (2013) – Parte 4 para avaliar o comportamento de SVVE frente a ação de impactos de corpo mole e é adotado uma relação de 1/5 entre o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) e o deslocamento horizontal residual (d_{hr}).

Os resultados obtidos nos ensaios realizados nos SVVE dos modelos D, E, F e G resultaram em deslocamentos residuais muito pequenos, próximos a zero, conforme se apresenta na Tabela 5.2, evidenciando bom comportamento residual dos mesmos, apesar da variação instantânea ser maior durante o ensaio, como mostrado na Tabela 5.1. Houve uma única exceção, representada pelo Painel A, modelo G, na qual o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) alcançou 0,90 mm, possivelmente devido a um erro de medida ou fixação do defletômetro.

Apesar dos SVVE se movimentarem mais durante os ciclos de aquecimento/resfriamento, não ocorreram deformações permanentes. Considera-se relevante acrescentar o critério para melhor representar o desempenho de SVVE, ao longo da vida útil.

Tabela 5.2: Resultado do ensaio de ação de calor e choque térmico para os SVVE dos modelos D, E, F e G, em relação ao deslocamento horizontal residual (d_{hr}).

Modelo	D		E		F		G	
h=altura corpo de prova (mm)	2500		2200		3050		2500	
dhlímite <h/3000 (mm)	0,83		0,73		1,02		0,83	
Corpo de Prova	Painel 1	Painel 2	Parede 1	Parede 2	Painel A	Painel B	Painel A	Painel B
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Antes ensaio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Depois ensaio	-0,02	-0,04	-0,10	0,01	0,04	-0,06	0,90	-0,03

- Com base na experiência e nos resultados apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2, sugere-se que: deslocamento horizontal residual (d_{hr}) fique em 1/5 do deslocamento horizontal instantâneo (d_h). Ou seja, se deslocamento horizontal instantâneo (d_h) $d_h < h/600$, logo deslocamento horizontal residual (d_{hr}), $d_{hr} < h/3000$.

5.1.4.5. **Proposição 5** – Acrescentar o resultado do ensaio de estanqueidade à água da chuva como parâmetro de aceitabilidade:

- a) A inspeção visual nem sempre é suficiente para uma avaliação precisa quanto à degradação sofrida pelo corpo de prova. Diante disso propõe-se:
 - Incluir a realização do ensaio de estanqueidade à água da chuva em SVVE, antes e depois da realização do ensaio de ação de calor e choque térmico, utilizando o resultado como parâmetro de aceitabilidade;
 - O ensaio de estanqueidade deve ser o estabelecido na NBR 15575 (2013) – Parte 4, bem como utilizar como limite do parâmetro de aceitabilidade o mesmo adotado na norma: “para ser considerado impermeável, um SVVE deve resistir a sete horas de ensaio, e é aceitável a passagem de umidade, desde que a mancha de umidade na face não exposta a água e pressão não exceda a 10% da área que está sendo exposta a água”.

5.2 ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIO DE IMPACTO DE CORPO MOLE EM SVVE

O ensaio de impacto externo de corpo mole recomendado na NBR 15575 (2013) tem como objetivo analisar o comportamento do SVVE, com e sem função estrutural, quanto à resistência ao ser submetido a impactos sucessivos de energias distintas. A ideia é simular choques acidentais – que podem ocorrer durante a utilização da habitação – e choques intencionais (ou não) – provocados por tentativas de intrusões – que possam afetar a sua estabilidade global.

5.2.1 Descrição Básica do Procedimento de Ensaio como estabelecido na NBR 15575 (2013)

O procedimento de ensaio consiste em abandonar um corpo mole de 40 kg em pêndulo livre, de alturas distintas, para produzir impactos com energias diferentes e avaliar o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) e residual (d_{hr}) e alguma degradação que possa ocorrer durante o ensaio. O corpo de prova do SVVE deve ser confeccionado com os mesmos materiais, procedimentos e controles normais ao processo.

5.2.1.1 Equipamentos

- a) Saco impactador: corpo mole com 40 kg, constituído de um saco de couro preenchido com areia e serragem;
- b) Paquímetro: medidor dos deslocamentos horizontais instantâneos e residuais;
- c) Corda, roldana e tripé: componentes que sustentam o saco e possibilitam que o mesmo faça o movimento pendular.

5.2.1.2 Procedimento de Ensaio

O corpo mole é posicionado no ponto de aplicação dos impactos, representando a situação mais desfavorável, geralmente, no centro de gravidade (CG) do corpo de prova do SVVE ou no protótipo, em escala real. Erguer-se o corpo mole em determinadas alturas e abandona-o em movimento pendular livre. A Figura 5.13 apresenta desenho esquemático da posição do corpo mole antes e durante o ensaio.

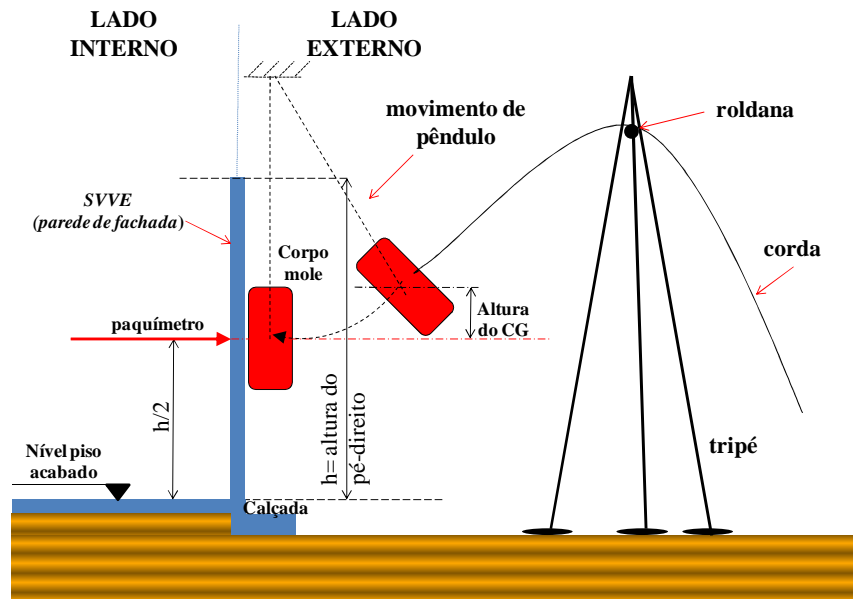


Figura 5.13: Posição do corpo mole antes e durante o ensaio de impacto de corpo mole.

Cada impacto representa uma energia que gera deslocamentos horizontais instantâneos (d_h) e residuais (d_{hr}). A medição dos deslocamentos é feita na face oposta à aplicação dos impactos, por meio de equipamento de medição, paquímetro, colocado em suporte a parte do SVVE. A Tabela 5.3 apresenta as energias de impacto relacionadas com a altura do corpo mole em relação ao centro de gravidade do SVVE.

Tabela 5.3: Massa, altura e energia do impacto do corpo mole, (ABNT NBR 15575, 2013).

Impacto	Massa (kg)	Altura (cm)	Energia (J)
Aplicar um impacto de corpo mole, para cada energia.	40	30	120
	40	45	180
	40	60	240
	40	90	360
	40	120	480
	40	180	720
	40	240	960

5.2.1.3 Parâmetro de Aceitabilidade

O resultado do ensaio de impacto de corpo mole é dado pela inspeção visual, logo após cada impacto, quanto à deterioração superficial ou perda de integridade e, também, quanto aos deslocamentos horizontais máximos instantâneos e residuais. Para tanto, são estabelecidos critérios e parâmetros em relação à SVVE, sem e com função estrutural.

A Tabela 5.4 apresenta os critérios e parâmetros em relação à versão atual da NBR 15575 (2013) para casas térreas.

Tabela 5.4: Critério e parâmetros de desempenho para SVVE, sem e com função estrutural, para casas térreas conforme energias de impacto de corpo mole (ABNT NBR 15575, 2013).

Energia (J)	Critério e parâmetros de Desempenho	
	SEM função Estrutural	COM função Estrutural
120	Não ocorrência de falhas (Estado Limite Serviço) ELS	Não ocorrência de falhas (Estado Limite Serviço) ELS
180		
240	Não ocorrência de falhas (Estado Limite Serviço) – ELS $d_h \leq h/125$ $d_{hr} \leq h/625$	Não ocorrência de falhas (Estado Limite Serviço) – ELS $d_h \leq h/250^a$ $d_{hr} \leq h/1250$
360	Não ocorrência de ruína (Estado Limite Último) – ELU	Não ocorrência de ruína (Estado Limite Último) – ELU
480		
720		
	Sem parâmetro	

^a Para sistemas leves ($G \leq 600 \text{ N/m}^2$), podem ser permitidos deslocamentos horizontais instantâneos iguais ao dobro do valor mencionado, desde que os deslocamentos horizontais residuais atendam ao valor máximo definido; tal condição também pode ser adotada no caso de sistemas destinados a sobrados unifamiliares.

5.2.2 Resultado da Análise Crítica do Ensaio de Impacto de Corpo Mole para HIS Térreas

Apresenta-se, a seguir, o resultado da análise crítica realizada pela autora quanto ao procedimento de ensaio experimental e parâmetros de aceitabilidade adotados na NBR 15575 (2013). A análise foi efetuada usando os critérios definidos no Capítulo 4.

5.2.2.1 Análise crítica quanto aos equipamentos e aos procedimento de ensaio

A análise crítica dos equipamentos e do procedimento de ensaio identificou que o ensaio de impacto de corpo mole não atende satisfatoriamente ao critério de *aplicabilidade*, *exequibilidade* e *fidedignidade* e *representabilidade dos resultados*, conforme descrito a seguir:

- a) *Quanto à aplicabilidade*: a descrição do corpo de prova não é clara quanto ao comprimento e altura do segmento de parede. Essas medidas são fundamentais para o resultado do ensaio, pois os parâmetros de aceitabilidade estão diretamente proporcionais à altura do corpo de prova.

- b) *Quanto à exequibilidade*: não há descrição de como deve ser realizada a fixação do corpo de prova para realização do ensaio em laboratório.
- c) *Quanto à fidedignidade e representabilidade de resultados*: em função da insuficiência de informações precisas quanto à aplicabilidade e exequibilidade do ensaio, expostas a cima, o resultado do mesmo pode não ser fiel, além de possibilitar a ocorrência de interpretações e análises dos resultados equivocadas.

5.2.2.2 Análise crítica quanto aos parâmetros de aceitabilidade

Na análise crítica quanto aos parâmetros de aceitabilidade do ensaio de impacto de corpo mole, identificou-se que o parâmetro de aceitabilidade adotado no ensaio não atende satisfatoriamente ao critério de *adequabilidade* conforme se destaca a seguir:

- a) *Quanto à adequabilidade*: não há evidências de que o parâmetro de aceitabilidade para o deslocamento horizontal instantâneo ($d_h \leq h/125$) para sistemas leves inviabilize a utilização de SVVIE.

5.2.3 Análise de Resultados de Ensaio de Impacto de Corpo Mole aplicados em Modelos HIS Térreos

Para averiguar como diferentes SVVE de HIS respondem ao método de ensaios de impacto de corpo mole atualmente vigente, é realizada uma discussão dos resultados obtidos durante a avaliação de desempenho dos sistemas escolhidos como estudo de caso. O modelo A não foi ensaiado experimentalmente em razão de que na análise preliminar do SVVE verificou-se que o mesmo atende a Diretriz SINAT nº 001/02 (2011), sendo dispensado este ensaio.

Os resultados do ensaio de impacto externo de corpo mole nos SVVE dos modelos B, C e D propiciaram o conhecimento do comportamento dos mesmos quanto aos deslocamentos instantâneos e residuais (d_h e d_{hr}) quando submetidos a certas energias de impacto. As Figuras 5.14 e 5.15 apresentam os resultados dos deslocamentos horizontais instantâneos e residuais (d_h e d_{hr}) para as energias impostas ao SVVE de cada modelo.

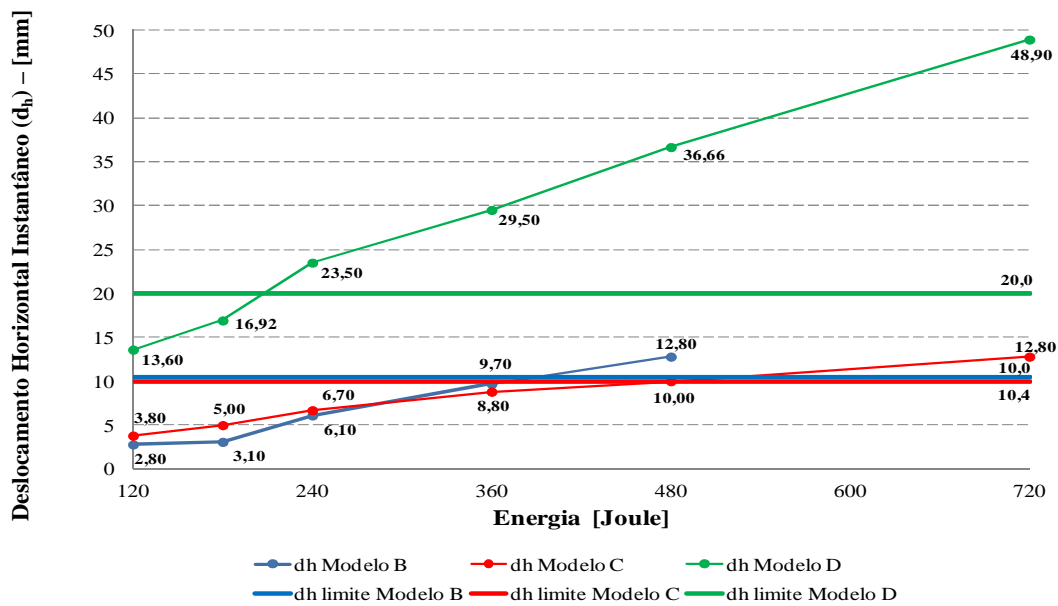


Figura 5.14: Resultados dos deslocamentos horizontais instantâneos (d_h) apresentados pelos SVVE dos modelos B, C e D quando submetidos ao ensaio de impacto de corpo mole e o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) limite para a energia de 240J adotado na NBR 15575 (2013).

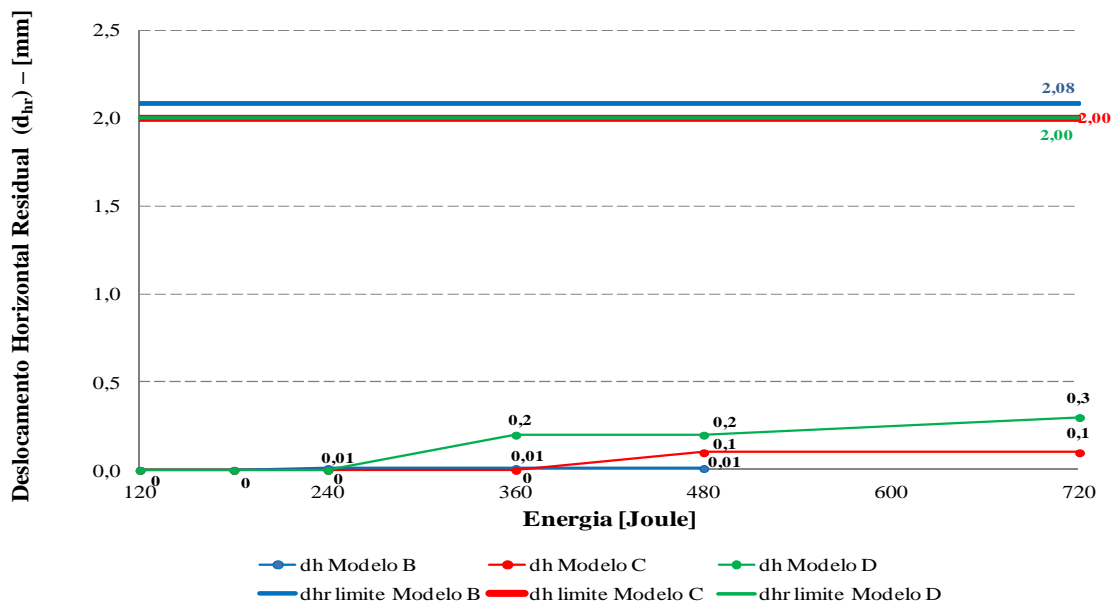


Figura 5.15: Resultados dos deslocamentos horizontais residuais (d_{hr}) apresentados pelos SVVE dos modelos B, C e D quando submetidos ao ensaio de impacto de corpo mole e o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) limite para a energia de 240J adotado na NBR 15575 (2013).

Ao observar a Figura 5.14, percebe-se que os modelos B e C possuem comportamentos similares quando o d_h e o modelo D apresentam comportamentos diferenciados, com um d_h na ordem de três vezes maior do que os modelos B e C. Esse comportamento é plenamente justificável pela composição dos SVVE dos modelos estudados, onde os Modelos B e C, em concreto armado, são considerados sistemas pesados, e o modelo D, sistema leve, conforme estabelecido no Anexo B (pg 222).

Quanto ao d_{hr} , Figura 5.15, evidencia-se que o modelo B tem um comportamento excelente com deslocamento horizontal residual (d_{hr}) praticamente nulo, podendo estar associado à forma como o SVVE é constituído – com placas pré-moldadas em concreto armado intertravadas verticalmente – o que permite uma dissipação da energia entre as placas. Em relação aos modelos C e D, observa-se que o comportamento é semelhante, mesmo o SVVE do modelo C sendo considerado pesado e o do modelo D, leve.

Tomando-se como base a energia de 240J os modelos B e C têm comportamentos praticamente iguais, já o SVVE do modelo D apresenta deslocamento horizontal instantâneo (d_h) superior ao limite estabelecido, conforme pode ser observado na Tabela 5.5 que expressa o resultado dos deslocamentos horizontais instantâneos e residuais (d_h e d_{hr}).

Tabela 5.5: Resultado do ensaio de impacto de corpo mole nos SVVE dos modelos B, C e D, para energia de 240J, e os deslocamentos horizontais limites instantâneos e residuais (d_h limite e d_{hr} limite) adotados na NBR 15575 (2013).

Modelo (altura SVVE)	Energia 240 J			
	d_h (ensaio)	d_h limite $\leq h/125$	d_{hr} (ensaio)	d_{hr} limite $\leq h/1250$
B (h = 2,60m)	6,1 mm	10,4 mm	0,0 mm	2,08 mm
C (h = 2,50m)	6,7 mm	10,0 mm	0,0 mm	2,00 mm
D (h = 2,50m)	23,5 mm	20,0 mm*	0,0 mm	2,00 mm

* d_h limite para sistemas de vedação vertical LEVE

Diante do exposto, faz-se uma reflexão quanto ao parâmetro de aceitabilidade para SVVE leves, sem e com função estrutural, dada à característica singular dos sistemas, como discutido a seguir:

- a) Os critérios normativos foram analisados com cuidado, pois a natureza do SVVE leve é bastante diferenciada dos sistemas construtivos que empregam

tecnologia convencional, de maior massa, normalmente usados em paredes estruturais;

- b) O SVVE leve tem peso menor do que 60 kg/m^2 e pode ser integrante do sistema estrutural, SVVE leve com função estrutural.

Estabeleceu-se como princípio adotar um critério misto baseado na analogia dos impactos de energia e dos limites de deslocamento horizontais preconizados na NBR 15575 (2013). Admitiu-se, portanto, que um SVVE leve com função estrutural deveria apresentar um desempenho intermediário entre duas categorias, com metade do deslocamento permitido para SVVE leves, sem função estrutural; e o dobro do deslocamento permitido para SVVE pesados, com função estrutural.

Dessa forma, primeiramente, adotou-se que, um SVVE leve **com** função estrutural deveria ter um desempenho intermediário quanto aos deslocamentos horizontais de $d_h \leq h/125$ e $d_{hr} \leq 625$ para uma energia de 240J. Isto é:

- a) SVVE leve **sem** função estrutural: metade do deslocamento horizontal permitido ($d_h \leq h/62,5$ e $d_{hr} \leq 312,5$) para uma energia de 240J;
- b) SVVE pesado **com** função estrutural: dobro do deslocamento horizontal permitido para ($d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq 1.250$) para uma energia de 240J.

Essa presunção é compatível com o estabelecido, no item 7.4.1.1.2 da NBR 15575 (2013) – Parte 2, que prevê que: “*para componentes estruturais leves, ou seja, aqueles com massa específica menor ou igual a 1.200 kg/m^3 ou peso próprio menor ou igual a 60 kg/m^2 , admitem-se deslocamentos instantâneos equivalentes ao dobro dos valores indicados*”.

Percebeu-se que SVVE leves, sem e com função estrutural, que apresentam comportamento de flexibilidade e resiliência, podem ter um deslocamento horizontal instantâneo (d_h) acima do limite adotado na NBR 15575 (2013), $d_h \leq h/125$, e ainda ter um desempenho adequado quanto ao d_{hr} ($d_{hr} \leq h/1250$), conforme se discute a seguir:

- a) Durante a realização de ensaios com SVVE leve verificou-se que, sob ação de um impacto com energia de 240J, o limite de deslocamento horizontal instantâneo (d_h) supera os parâmetros preconizados na NBR 15575 (2013). Entretanto, esse não pode ser considerado um resultado surpreendente dada à natureza leve do SVVE.

- b) Analisando os resultados dos ensaios frente ao deslocamento horizontal residuais (d_{hr}), evidencia-se excelente comportamento. Os deslocamentos horizontais residuais (d_{hr}) para as energias impostas foram praticamente nulos. Além disso, não foram observadas degradações estruturais nas paredes, nem problemas no sistema como um todo.
- c) Destaca-se que nos SVVE leves que empregam tecnologia convencional, como materiais cerâmicos ou madeira, que foram ensaiados antes da criação da NBR 15575 e serviram de referência para a definição dos limites, nesses casos, de fato, a ocorrência de deformações instantâneas elevadas é desaconselhável, pois pode ocasionar fissuração ou danos.
- d) Os SVVE leves confeccionados com materiais flexíveis, como chapas de aço – material leve e resiliente, com elevada tensão de trabalho –, o sistema acaba se tornando mais leve e deformável. Isso não acarreta problemas, pois a elevada capacidade de carga e resiliência fazem com que as deformações instantâneas não acarretem danos ou problemas de desempenho.

Considera-se que, embora o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) em SVVE leves supere o limite adotado na NBR 15575 (2013) – Parte 4, o resultado fundamental para avaliar o desempenho efetivo quanto a impactos de corpo mole, é aquele referente ao deslocamento horizontal residual (d_{hr}), que indica a possibilidade de falhas ou danos permanentes ao sistema e a capacidade do mesmo de voltar ao seu estado normal.

5.2.4 Proposições de Inovação ao Ensaio de impacto de corpo mole estabelecido na NBR 15575 (2013)

Diante do exposto, apresentam-se, a seguir, as proposições de inovação ao ensaio de impacto de corpo mole estabelecido na NBR 15575 (2013). As mesmas foram propostas e sistematizadas, pela autora, com o objetivo de superar limitações observadas na prática de ensaio experimental atual e se baseiam nas práticas de laboratório observadas e em registros efetuados durante ensaios desenvolvidos no LEME/UFRGS.

Foram estabelecidas duas proposições de inovação: uma em relação ao procedimento de ensaio e outra quanto ao limite do parâmetro de aceitabilidade para os deslocamentos horizontais instantâneos e residuais (d_h e d_{hr}). Busca-se, dessa forma, contribuir para o avanço dos métodos de ensaios experimentais usados para avaliação de desempenho.

5.2.5.1 Proposição 1 – Acrescentar dimensões mínimas ao corpo de prova do SVVE e estabelecer a forma de fixação do mesmo para ensaios realizados em laboratório.

- a) O corpo de prova deve representar fielmente o SVVE aplicado na obra, incluindo a interface entre os sistemas adjacentes e as juntas, quando existentes; e as dimensões para o ensaio de impacto de corpo mole devem expressar os limites, conforme a descrito a seguir:
 - Utilizou-se, como base altura mínima de pé-direito 2,50 m adotado na NBR 15575 (2013) – Parte1, Funcionalidade e Acessibilidade, e a largura de 1,00 m a 1,40 m adotado na NBR 15575 (2013) – Parte 4, Anexo E: Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico.
 - A rigidez de um corpo de prova varia com a largura e espessura, sugere-se que as dimensões para um corpo de prova a ser submetido ao ensaio de impacto de corpo mole fique com (1,00 x pé-direito) m, largura e altura, respectivamente, (vide Figura 5.9.).
- b) A fixação do corpo de prova para o ensaio de impacto de corpo mole em laboratório deve representar fielmente como o SVVE interage com os sistemas adjacentes (sistema de piso e sistema de cobertura):

5.2.5.2 Proposição 2 – Utilizar apenas o critério de deslocamento horizontal residual (d_{hr}) para SVVE leves

- a) Propõe-se que, para efeitos de resultado quanto ao ensaio de impacto de corpo mole em SVVE leves, sem ou com função estrutural, o limite do deslocamento horizontal residual (d_{hr}) seja o parâmetro de aceitabilidade para avaliação de desempenho quanto à segurança estrutural.
- b) Sugere-se que seja incorporada à NBR 15575 (2013) a classificação de nível de desempenho quanto ao deslocamento horizontal instantâneo (d_h) e deslocamento horizontal residual (d_{hr}), para uma energia de 240J, para ensaio de impacto de corpo mole em SVVE leve, sem e com função estrutural, para casas térreas, conforme a seguinte classificação:

- **Nível de Desempenho Superior (S):** quando o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) do SVVE leve for **IGUAL** ao deslocamento horizontal instantâneo (d_h) do SVVE pesado e o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) do SVVE leve for **IGUAL** ao deslocamento horizontal residual (d_{hr}) do SVVE pesado. Ou seja, $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq 1250$.
- **Nível de Desempenho Intermediário (I):** quando o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) do SVVE leve for **IGUAL AO DOBRO** do deslocamento horizontal instantâneo (d_h) de SVVE pesado e o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) do SVVE leve for **IGUAL** ao deslocamento horizontal residual (d_{hr}) do SVVE pesado. Ou seja, $d_h \leq h/125$ e $d_{hr} \leq 1250$.
- **Nível de Desempenho Mínimo (M):** quando o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) do SVVE leve for **MAIOR QUE O DOBRO** do deslocamento horizontal instantâneo (d_h) de SVVE pesado e o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) do SVVE leve for **IGUAL** ao deslocamento horizontal residual (d_{hr}) do SVVE pesado. Ou seja, $d_{hr} \leq 1250$.
- A Tabela 5.6 apresenta a classificação quanto ao nível de desempenho Superior, intermediário e mínimo em relação aos impactos de energia.

Tabela 5.6: Sugestão de nível de desempenho: impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural.

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
Vedação vertical de casa térrea com função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público)	960	Não ocorrência de ruptura	<i>S</i>
		720	Não ocorrência de ruptura	
		480	Não ocorrência de falhas	
		360	Não ocorrência de falhas	
		240	Não ocorrência de falhas Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ $d_{hr} \leq h/1250$	
		180	Não ocorrências de falhas	
		120		
		960	Não ocorrência de ruptura	<i>I</i>
		720	Não ocorrência de ruptura	
		480	Não ocorrência de ruptura	
		360		
		240	Não ocorrência de falhas Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/125$ $d_{hr} \leq h/1250$	
	180	Não ocorrências de falhas		
	120			
	960	Não ocorrência de ruptura	<i>M</i>	
	720	Não ocorrência de ruptura		
	480	Não ocorrência de ruptura		
	360			
	240	Não ocorrência de falhas Limitação do deslocamento horizontal residual: $d_{hr} \leq h/1250$		
	180	Não ocorrências de falhas		
	120			

5.3 ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIO DE DESEMPENHO TÉRMICO POR MEDIÇÃO EM CAMPO NO PROTÓTIPO EM ESCALA REAL (1:1)

O ensaio de desempenho térmico por medição em campo, recomendado na NBR 15575 (2013), tem como objetivo analisar o comportamento da edificação ou do protótipo da edificação quanto às temperaturas internas ao ser submetido a condições reais de exposição a temperatura ambiental. A ideia é monitorar o comportamento das temperaturas internas do protótipo da edificação quando exposta à temperatura do ar exterior por um determinado período que caracterize dias típicos de verão e inverno.

5.3.1 Descrição Básica do Procedimento de Ensaio como estabelecido na NBR 15575 (2013)

O procedimento de ensaio consiste em monitorar as temperaturas internas da edificação ou protótipo da edificação em escala real (1:1), quanto às temperaturas externas, para dias típicos de verão e dias típicos de inverno, caracterizando a interatividade entre o meio interno e externo para as oito zonas bioclimáticas brasileiras.

5.3.1.1 Equipamentos

- a) Termopares tipo PT 100: sensores de medição que permitem o monitoramento das temperaturas no interior e exterior da edificação ou protótipo (bulbo seco);
- b) Aquisição de dados tipo *Datalogger*: sistema de monitoramento que permite acompanhar e registrar os perfis de temperatura desenvolvidos durante o ensaio;
- c) Os equipamentos e a montagem dos sensores seguem as especificações apresentadas na ISO 7726 (1998).

5.3.1.2 Procedimento de Ensaio

Os termopares tipo PT 100, sensores de medição das temperaturas internas, são posicionados no centro dos recintos de permanência prolongada (sala e dormitórios), a 1,20 m de altura do piso e, na parte externa, são posicionados na parte superior do protótipo da edificação, a sombra, conforme ilustra a Figura 5.16. Os sensores são conectados ao sistema de aquisição de dados.

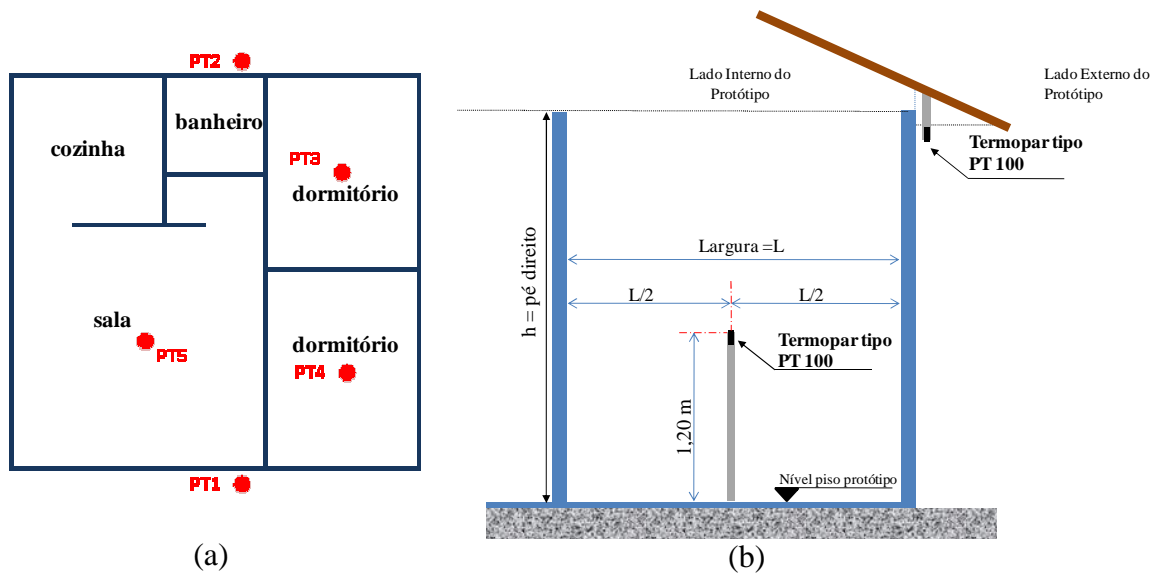


Figura 5.16: Desenho esquemático da posição dos sensores de medição das temperaturas internas e externas: (a) planta baixa e (b) corte esquemático.

O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto de verão e de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. A NBR 15575 (2013) recomenda, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local. Ressalta-se que, no interior do protótipo da edificação, não são permitidas fontes de calor interna e nem abertura de portas e janelas durante o período de medição das temperaturas.

Os valores da temperatura do ar exterior dos dias típicos de verão e de inverno de algumas cidades são apresentados na NBR 15575 (2013) – Parte 1 no Anexo A. Caso a cidade em que se encontra o protótipo da edificação não conste na norma, utilizar os dados climáticos da cidade mais próxima, dentro da mesma região climática, com altitude de mesma ordem e grandeza. As Tabelas 5.7 e 5.8 apresentam os dados de dias típicos de verão e de inverno, respectivamente, de algumas cidades brasileiras conforme a NBR 15575 (2013).

Tabela 5.7: Dados de dias típicos de **verão** de algumas cidades brasileiras, (ABNT NBR 15575, 2013).

Cidade	Temperatura máxima diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m²	Nebulosidade décimos
Aracajú	30,9	5,4	24,9	6 277	6
Belém	33,4	10,5	26,1	4 368	6
Belo Horizonte	32	10,3	21,7	4 641	6
Boa Vista	35,3	9,8	25,8		6
Brasília	31,2	12,5	20,9	4 625	4
Campo Grande	33,6	10	23,6	5 481	6
Cuiabá	37,8	12,4	24,8	4 972	6
Curitiba	31,4	10,2	21,3	2 774	8
Florianópolis	32,7	6,6	24,4		7
Fortaleza	32	6,5	25,1	5 611	5
Goiânia	34,6	13,4	21	4 455	4
João Pessoa	30,9	6,1	24,6	5 542	6
Macapá	33,5	9	25,8		7
Maceió	32,2	8,2	24,6	5 138	6
Manaus	34,9	9,1	26,4	5 177	7
Natal	32,1	8	24,8	6 274	6
Porto Alegre	35,9	9,6	23,9	5 476	5
Porto Velho	34,8	12,5	26	6 666	7
Recife	31,4	7,4	24,7	5 105	6
Rio Branco	35,6	12,7	25,4	6 496	7
Rio de Janeiro	35,1	6,4	25,6	5 722	5
Salvador	31,6	6,1	25	5 643	5
São Luís	32,5	7,4	25,4	5 124	5
São Paulo	31,9	9,2	21,3	5 180	6
Teresina	37,9	13,2	25,1	5 448	5
Vitória	34,6	7,4	25,9	4 068	5

Tabela 5.8: Dados de dias típicos de **inverno** de algumas cidades brasileiras, (ABNT NBR 15575, 2013).

Cidade	Temperatura mínima diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m²	Nebulosidade décimos
Aracajú	18,7	5,1	21,5	5 348	6
Belém	20,4	10,0	25,5	4 161	6
Belo Horizonte	8,7	12,6	16,0	3 716	3
Boa Vista	20,7	8,4	24,9		7
Brasília	10,0	12,2	14,8	4 246	3
Campo Grande	13,7	11,5	17,3	4 250	4
Cuiabá	11,4	14,3	20,1	4 163	4
Curitiba	0,7	11,6	11,0	1 666	6
Florianópolis	6,0	7,4	13,4		6
Fortaleza	21,5	7,0	24,0	5 301	5
Goânia	9,6	14,9	16,2	1 292	3
João Pessoa	19,2	6,5	22,4	4 836	6
Macapá	21,8	6,5	24,9		8
Maceió	17,8	7,5	21,7	4 513	6
Manaus	21,4	7,9	25,0	4 523	7
Natal	19,1	7,8	22,5	5 925	5
Porto Alegre	4,3	8,6	12,1	2 410	6
Porto Velho	14,1	14,1	23,6	6 670	5
Recife	18,8	6,7	22,1	4 562	6
Rio Branco	11,9	14,9	22,1	6 445	6
Rio de Janeiro	15,8	6,3	19,1	4 030	5
Salvador	20,0	5,0	21,7	4 547	5
São Luís	21,5	6,9	24,9	4 490	6
São Paulo	6,2	10,0	13,4	4 418	6
Teresina	18,0	12,6	22,9	5 209	4
Vitória	16,7	6,9	20,4	2 973	5

5.3.1.3 Parâmetros de Aceitabilidade

De acordo com a NBR 15575/2013 – Parte 1, o protótipo da edificação para ser considerado adequado deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática de implantação do mesmo. A ABNT NBR 15220 (2005) *Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*, estabelece oito zonas bioclimáticas para o Brasil, conforme apresenta a Figura 5.17.

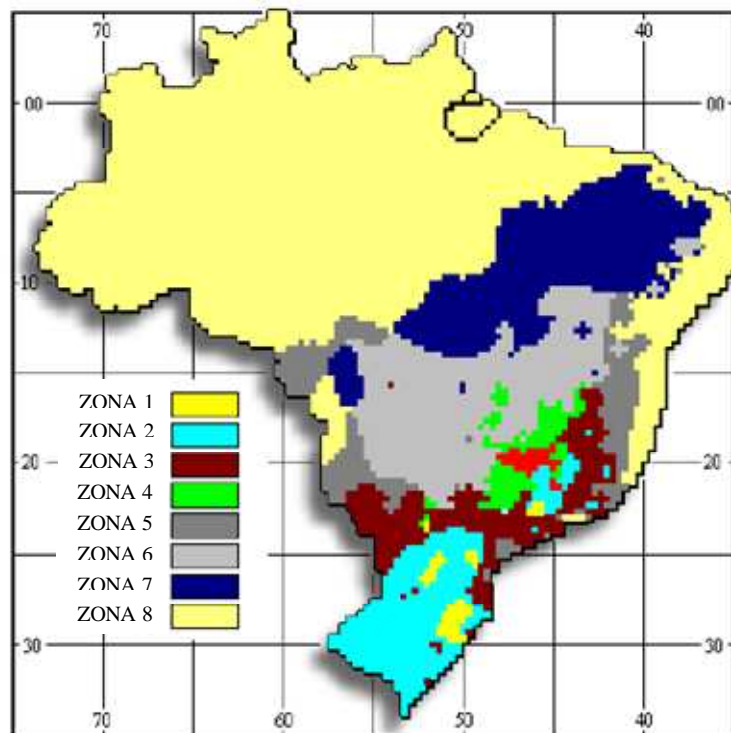


Figura 5.17: Mapa das zonas climáticas brasileiras, (LABEEE, 2004).

A edificação, ou protótipo da edificação, deve apresentar condições térmicas no interior melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de projeto de verão, onde o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, tais como, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

Já em relação ao dia típico de projeto de inverno, a edificação ou protótipo da edificação deve apresentar condições térmicas no interior melhores do que do ambiente externo de acordo com as zonas bioclimáticas de 1 a 5, onde os valores mínimos diários da temperatura do ar

interior de recintos de permanência prolongada, tais como, salas e dormitórios devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C. Nas zonas 6, 7 e 8 é dispensada a realização da avaliação de desempenho térmico de projeto para inverno porque, segundo a NBR 15575 (2013), o critério não pode ser verificado nestas zonas.

A Tabela 5.9 apresenta os critérios, os níveis de desempenho térmico – mínimo (*M*), intermediário (*I*) e superior (*S*) –, os parâmetros de aceitabilidade e os limites de temperaturas adotados na NBR 15575 (2013) para uma edificação ou protótipo de edificação, em escala real (1:1).

Tabela 5.9: Critérios e níveis de desempenho térmico (*M*, *I* e *S*) para edificações ou protótipos de edificação, em escala real (1:1), parâmetros de aceitabilidade e limites de temperaturas internas quando expostos às condições de verão e de inverno, (ABNT NBR 15575, 2013).

Condições	Nível de desempenho	Critério	
		Zonas bioclimáticas 1 a 7	Zona bioclimática 8
VERÃO	Mínimo (<i>M</i>)	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
	Intermediário (<i>I</i>)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$
	Superior (<i>S</i>)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$
INVERNO	Nível de desempenho	Critério	
		Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
	Mínimo (<i>M</i>)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não pode ser verificado.
	Intermediário (<i>I</i>)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ}\text{C})$	
	Superior (<i>S</i>)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ}\text{C})$	

$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

$T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

5.3.2 Resultado da Análise Crítica do Ensaio de desempenho térmico por medição em campo para HIS Térreas

Apresenta-se, a seguir, o resultado da análise crítica realizada pela autora quanto ao procedimento de ensaio experimental e parâmetros de aceitabilidade adotados na NBR 15575 (2013). A análise foi efetuada usando os critérios definidos no Capítulo 4.

5.3.2.1 Análise crítica quanto aos equipamentos e procedimento

A análise crítica dos equipamentos e procedimentos identificou que o ensaio de desempenho térmico por medição em campo não atende satisfatoriamente ao critério de *aplicabilidade* e *exequibilidade* estabelecidos como referencial nesse trabalho, conforme se descreve a seguir:

- a) Quanto à *aplicabilidade*: o ensaio é reconhecido na NBR 15575 (2013) como meramente informativo;
- b) Quanto à *exequibilidade*: o ensaio experimental precisa de uma edificação ou protótipo da edificação, construído ou montado, em escala real (1:1). Fato que onera significativamente a realização do mesmo.

5.3.2.2 Análise crítica quanto aos parâmetros de aceitabilidade

Na análise crítica quanto aos parâmetros de aceitabilidade do ensaio, identificou-se que o parâmetro de aceitabilidade adotado no ensaio não atende satisfatoriamente ao critério de *adequabilidade* conforme se destaca a seguir:

- a) Quanto à *adequabilidade*: não há evidências de que o limite mínimo de temperatura interna para uma edificação em condições de inverno (dia típico de inverno), para as Zonas 1 a 3, $[T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})]$, viabilizem sua utilização em condições de inverno, sem a presença de fontes internas de calor.

5.3.3 Análise de Resultados de Ensaio de Desempenho Térmico por Medição em Campo em Modelos HIS Térreas

Para averiguar como diferentes sistemas HIS respondem ao método de ensaios de desempenho térmico por medição em campo atualmente vigente, neste item, se discutem os resultados obtidos durante a avaliação de desempenho dos sistemas escolhidos como estudos de caso.

Destaca-se, que o modelo C não foi ensaiado experimentalmente no LEME/UFRGS porque foram utilizados para avaliação de desempenho térmico os resultados do PEC – 2277(2001) – Avaliação de Sistema Construtivo Alternativo realizado pela COPPE/UFRJ¹³ e do Relatório Técnico n° 02 (LEME, 2004).

Os resultados da avaliação de desempenho térmico utilizando o ensaio de desempenho térmico por medição em campo nos modelos A, B e D, localizados nas Zonas bioclimáticas 2 e 3, estão apresentados na Tabela 5.10 e na Figura 5.18.

Tabela 5.10: Temperaturas máximas e mínimas para os dias típicos de verão e inverno, respectivamente, registrados pelo ensaio de desempenho térmico por medição em campo para os protótipos dos Modelos A, B e C, em escala real (1:1).

MODELO A – Zona bioclimática 2					
Máximas temperaturas para o dia típico de verão [°C]		Diferença de temperatura [°C]	Mínimas temperaturas para o dia típico de inverno [°C]		Diferença de temperatura [°C]
Externo	Interno	8,2	Externo	Interno	6,1
35,2	27		12,9	19	
MODELO B - Zona bioclimática 2					
Máximas temperaturas para o dia típico de verão [°C]		Diferença de temperatura [°C]	Mínimas temperaturas para o dia típico de inverno [°C]		Diferença de temperatura [°C]
Externo	Interno	2,5	Externo	Interno	3,2
26,4	24		7,1	10,3	
MODELO D - Zona bioclimática 3					
Máximas temperaturas para o dia típico de verão [°C]		Diferença de temperatura [°C]	Mínimas temperaturas para o dia típico de inverno [°C]		Diferença de temperatura [°C]
Externo	Interno	2,2	Externo	Interno	4,3
27	24,8		10,4	14,7	

¹³ COPPE/UFRJ – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

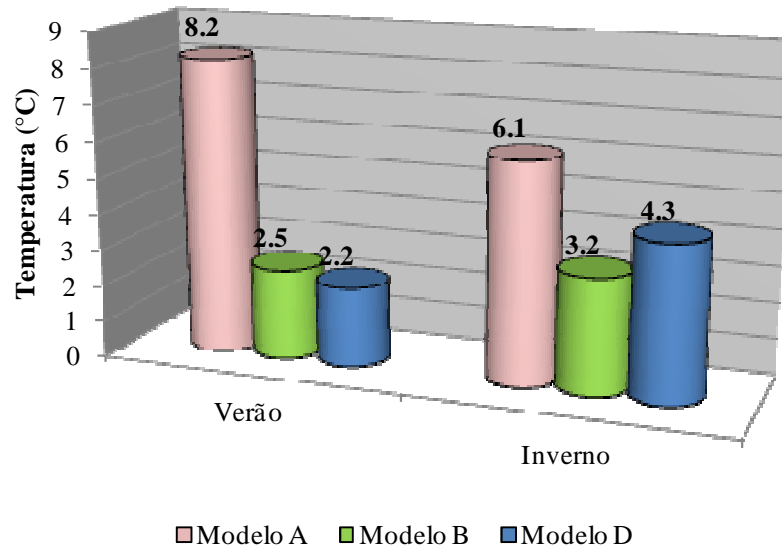


Figura 5.18: Gráfico dos resultados do ensaio de desempenho térmico por medição em campo em relação a variação de temperatura interna e externa para os protótipos em escala real (1:1) dos modelos A, B e C.

Observando a Figura 5.11 quanto à variação de temperaturas internas e externas, percebe-se que o modelo A apresenta desempenho muito superior aos demais modelos ensaiados, tanto para as condições de verão quanto para as de inverno. Fato perfeitamente compreensivo visto que o modelo A, considerado um sistema pesado, tem maior massa do que os demais, utilizando nas paredes do SVVE concreto armado com aproximadamente 2.000 kg/m^3 e adota uma espessura de 120 mm, bem como aplica manta de isolamento térmico entre a telha cerâmica e a estrutura da cobertura.

Os modelos B (sistema pesado) e D (sistema leve) apresentam comportamentos semelhantes frente ao ensaio de desempenho térmico por medição em campo. Embora distintos, principalmente em relação às paredes do SVVE, onde o modelo B emprega, no SVVE, placas de concreto com ar incorporado, e o modelo D, duas chapas de aço com preenchimento de poliuretano expandido (PU), são considerados isolantes térmicos conforme ensaios experimentais de desempenho térmico em SVVE realizados pelo LEME/UFRGS expressos no Relatório Técnico nº 01 (LEME, 2009) e no Relatório Técnico nº 06 (LEME, 2010), respectivamente.

Os modelos ensaiados apresentam comportamento adequado frente aos parâmetros de aceitabilidade e aos limites de temperaturas adotados na NBR 15575 (2013) – Parte 1. O modelo A apresenta nível de desempenho superior (*S*) para condições de verão [$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$] e um nível de desempenho intermediário (*I*) para as condições de inverno [$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ}\text{C})$] para zona bioclimática 2.

Os modelos B e C apresentam um nível de desempenho intermediário (*I*) para as condições de verão [$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$] e um nível de desempenho mínimo (*M*) para as condições de inverno [$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$] para zonas bioclimáticas 2 e 3, respectivamente. Sendo que o modelo B apresenta ligeira vantagem em relação ao modelo D para condições de verão, ordem que se inverte para as condições de inverno.

Cabe destacar que, ao analisar os resultados da Tabela 5.8, percebe-se que, no caso do modelo B, embora atenda ao limite adotado na NBR 15575 (2013) – Parte 1, em relação ao nível de desempenho mínimo (*M*), a temperatura máxima interna no protótipo da edificação é de 10,3°C, com atenuação de 3,2°C entre o meio externo e interno.

Reid (1992) diz que: “O homem funciona confortavelmente entre limites de temperatura bastante estreitos, cerca de 18°C a 30°C.” O IPT (2000) estabelece que a temperatura do ar interno nas edificações habitacionais deve ficar entre 12°C e 29°C, sendo 29°C a temperatura máxima de conforto para o verão e 17°C a temperatura mínima para o inverno, exceto durante a noite que a temperatura pode ser em torno de 12°C.

A Norma Reguladora de Ergonomia – NR 17 (2007) recomenda que o índice de temperatura efetiva nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes fique entre 20°C e 23 °C com velocidade do ar não superior a 0,75m/s e umidade relativa do ar não inferior a 40 %.

De acordo com Lamberts et al. (2013) a norma para o projeto de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado – HVAC (2008), que teve como base a ASHRAE *Handbook – Fundamentals* de 2005, é mais detalhada do que as normas nacionais que discorrem a respeito do conforto térmico, como a Norma Regulamentadora de Atividades e Operações Insalubres - NR 17 (2007), a NR 15 (2011) e a ABNT NBR 16401-2 (2008) que apresenta condições de conforto térmico em ambientes climatizados.

Segundo os mesmos autores a norma define condições internas de conforto térmico para o verão, com a temperatura operativa variando de 22,5 a 25,5 °C com 65% de umidade do ar e 23 a 26 °C com umidade de 35% e para o inverno, a temperatura operativa pode variar entre 21 e 23,5 °C com umidade de 60% e 21,5 a 24 °C com umidade em 30%.

Em Portugal o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – Decreto Lei n° 80 (RCCTE 80, 2006) estabelece que as condições ambientais de conforto térmico de referência são as temperaturas internas no inverno de 20°C e no verão de 25°C com 50% UR e que as edificações devem ter 0,6 renovações de ar/hora durante todo o ano.

Tendo como base os limites apresentados pelos autores acima, as temperaturas internas medidas nos protótipos 19°C (modelo A), 10,3 °C (modelo B) e 14,7 °C (modelo C) estão abaixo do recomendável para o inverno. Diante do resultado dos ensaios e dos limites adotados na NBR 15575 (2013) – 1 para edificações habitacionais localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, as mais frias do Brasil, percebe-se que as temperaturas internas nas edificações estão baixas para um conforto térmico sem o uso de fonte de calor para o aquecimento do ambiente. Identifica-se uma necessidade de ajuste quanto ao limite aceitável para temperaturas internas em condições de inverno às zonas bioclimáticas de 1 a 3.

Também, durante a realização dos ensaios, percebeu-se a necessidade do conhecimento prévio do comportamento de sistemas construtivos que compõem uma edificação frente ao desempenho térmico, e em particular o do SVVE. Para atender a essa necessidade, a NBR 15575 (2013) – Parte 4 recomenda o procedimento normativo simplificado para avaliação de desempenho de SVVE, que segue a ABNT NBR 15220 (2005) – *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.

Essa necessidade fica evidenciada quando o SVVE é inovador e não se dispõe de informações a respeito do comportamento térmico. Nessas situações os ensaios experimentais laboratoriais são os mais recomendados para o conhecimento prévio do comportamento em uso quanto ao desempenho térmico. A NBR 15575 (2013) não recomenda ensaios experimentais laboratoriais nos SVVE para avaliação de desempenho térmico. Identifica-se uma lacuna na NBR 15575 (2013) em relação à avaliação de SVVE.

5.3.4 Proposições de Inovação ao Ensaio de desempenho térmico por medição em campo e aos Procedimentos de Avaliação estabelecidos na NBR 15575 (2013)

Evidenciou-se a possibilidade de melhorias na NBR 15575 (2013) quanto ao ajuste do parâmetro de aceitabilidade em relação às temperaturas internas em condições de inverno das edificações e quanto à incorporação de EED nos SVVE aos métodos de avaliação de desempenho térmico.

Com base nas análises efetuadas e nas práticas de laboratório observadas, foram estabelecidas duas proposições, elaboradas e sistematizadas pela autora, com o objetivo de contribuir para o avanço dos métodos de avaliação, visto as limitações observadas na prática do ensaio experimental atual, e com base nos registros efetuados durante ensaios desenvolvidos no LEME/UFRGS.

5.3.4.1 **Proposição 1** – Aumentar o limite de aceitabilidade de temperaturas internas nas edificações quanto às condições de inverno

- a) O nível de desempenho mínimo das temperaturas internas de edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 deve ser aumentado para propiciar uma temperatura interna mais elevada em condições de inverno.
 - A proposição leva em consideração o aumento da temperatura interna, diminuindo a necessidade da presença de fontes internas de calor para o aquecimento dos ambientes e, como consequência, a economia de energia durante a vida útil da edificação e minimização do risco de incêndio.
 - As temperaturas internas mínimas diárias das cidades capitais da região Sul, Curitiba (PR), Porto Alegre (RS) e Florianópolis (SC), que representam as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, respectivamente, são apresentadas na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Dados de dias típicos de **inverno** das cidades capitais da Região Sul do Brasil, (ABNT NBR 15575, 2013).

Zona Bioclimática	Cidade	Temperatura mínima diária [°C]	Amplitude diária de temperatura [°C]	Temperatura de bulbo úmido [°C]
1	Curitiba	0,7	11,6	11,0
2	Florianópolis	6,0	7,4	13,4
3	Porto Alegre	4,3	8,6	12,1

- O limite mínimo adotado na NBR 15575 (2013) de $[T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})]$ indica que as temperaturas internas mínimas nas edificações habitacionais localizadas nas cidades tomadas como exemplo (vide Tabela 5.11), em condições de inverno com base na temperatura mínima diária, ficam em $3,7^{\circ}\text{C}$ para Curitiba, 9°C para Florianópolis e $7,3^{\circ}\text{C}$ para Porto Alegre.
- Utilizando como base as temperaturas (vide Tabela 5.11) e o limite mínimo adotado na NBR 15575 (2013) ($+3^{\circ}\text{C}$), estima-se que as temperaturas internas máximas nas edificações habitacionais, em condições de inverno, ficam próximas a $14,0^{\circ}\text{C}$ em Curitiba, $16,4^{\circ}\text{C}$ em Florianópolis e $15,1^{\circ}\text{C}$ em Porto Alegre.
- Os dados apresentados acima indicam que as temperaturas internas nas edificações habitacionais podem ficar abaixo do recomendado pelos autores Reid (1992), IPT (2000), (RCCTE, 2006), NR 17(2007) e Lamberts et al. (2013) para o conforto térmico, necessitando de fonte de calor para aquecimento dos ambientes. Para minimizar a necessidade da utilização de fontes de calor, sugere-se que:
 - o O limite $[T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})]$ passe para $[T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ}\text{C})]$, aumentando a temperatura interna nas edificações em 2°C ;
 - o O acréscimo de 2°C para o nível de desempenho mínimo (*M*) seja estendido para os demais níveis de desempenho, intermediário (*I*) e superior (*S*), conforme é apresentado na Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Sugestão de temperaturas mínimas internas para edificações localizadas nas zonas bioclimáticas de 1 a 8 para as condições de inverno.

Condições	Nível de desempenho	Zonas bioclimáticas		
		1 a 3	4 e 5	6, 7 e 8
INVERNO	Mínimo (<i>M</i>)	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 5°C)	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 3°C)	Nestas zonas o critério não pode ser verificado.
	Intermediário (<i>I</i>)	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 7°C)	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 5°C)	
	Superior (<i>S</i>)	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 9°C)	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 7°C)	

- De acordo com os dados apresentados na Tabela 5.11 estima-se que as temperaturas internas máximas de edificações habitacionais, em condições de inverno, nas zonas bioclimáticas de 1 a 3, fiquem próximas a:
 - o Nível desempenho mínimo (*M*): passaria, na media, de 15,1°C para, na media, de 17,1°C, [Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 5°C)];
 - o Nível desempenho intermediário (*I*): passaria, na media, de 17,1°C para, na media, de 19,5°C, [Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 7°C)];
 - o Nível desempenho superior (*S*): passaria, na media, de 19,5°C para, na media, de 21,1°C, [Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 5°C)];

5.3.4.2 **Proposição 2** – Incluir o ensaio experimental de laboratório para avaliação de desempenho térmico de SVVE

- a) O ensaio experimental de laboratório para avaliar o desempenho térmico em SVVE (elemento), em escala reduzida, é realizado pelo LEME/UFRGS há mais de 10 anos, com resultados coerentes e eficazes quanto ao comportamento do SVVE frente às temperaturas ambientais extremas. O procedimento de ensaio tem como base a ABNT NBR 10636 (1989) – *Paredes Divisórias sem Função Estrutural* – Determinação da Resistência ao Fogo: Método de Ensaio, que estabelece como verificar o desempenho de um material como isolante térmico.
- b) Outro ensaio experimental de laboratório para avaliar o desempenho térmico de SVVE (elemento), em escala real, é realizado pelo Laboratório de Física e Tecnologia da Construção (LFTC) da Universidade do Minho, Portugal. Em estudo recente Oliveira et al. (2012) avaliou em laboratório o comportamento

térmico de soluções construtivas em madeira para SVVE utilizando a norma ASTM C1155 (2007) – *Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ* para o cálculo da resistência térmica superficial, adaptando-a a situação laboratorial. Os resultados encontrados para o coeficiente de transmissão térmica mostram que as soluções construtivas estudadas respeitam os requisitos mínimos definidos no RCCTE 80 (2006).

Segundo Oliveira et al (2012) os valores previstos nas normas EN ISO 10456 (1999), BS EN 12524 (2000) e EN 1745 (2002) para os coeficientes de transmissão térmica das soluções são superiores aos valores medidos na ordem de 40 a 52%, essa diferença é referente ao método de previsão usado pelo *Comité Européen de Normalisation*, CEN, que tem em conta o eventual envelhecimento dos materiais em condições normas de utilização.

Ainda segundo Oliveira et al (2012) esta constatação mostra que a precisão do desempenho térmico conduz a valores do coeficiente de transmissão térmicas muito elevados quando comparados com os valores obtidos em laboratório e conclui que essa situação é penalizadora para os tipos de soluções construtivas estudadas, podendo ser um obstáculo à sua implementação no mercado.

Nos dois exemplos citados acima são utilizadas normas distintas: uma com abordagem a resistência ao fogo e outra para resistência térmica superficial em campo, ambas foram adaptadas para o conhecimento do comportamento térmico em laboratório do SVVE (elemento) com os resultados mostrando uma tendência do potencial comportamento do sistema.

Entende-se que o ensaio experimental em laboratório para desempenho térmico de SVVE (elemento) pode auxiliar no conhecimento do potencial comportamento dos sistemas construtivos frente à exposição ao calor, com temperaturas ambientais severas. A seguir, é apresentado o procedimento de ensaio e a análise dos resultados encontrados.

5.3.5 Procedimento e Análise de Resultados de um Novo Ensaio Experimental Laboratorial de Desempenho Térmico em SVVE, em escala reduzida, nos Modelos de Edificações HIS Térreas Isoladas.

O ensaio de desempenho térmico em *SVVE* mostra o comportamento do *SVVE* (elemento), representado por um corpo de prova em escala reduzida, quando submetido a temperaturas de aquecimento mais severas que as ambientais. A ideia é simular um ciclo de aquecimento extremo, que pode ocorrer durante um dia, com o objetivo de identificar a variação de temperatura entre a superfície do *SVVE* externa e interna e o atraso térmico.

A seguir, são apresentados os equipamentos, o procedimento de ensaios e os parâmetros de aceitabilidades do Ensaio de Desempenho Térmico em *SVVE*, em escala reduzida.

5.3.5.1 Equipamentos

- a) Forno Elétrico: forno com capacidade para aplicação de altas temperaturas em elementos planos, caracterizado por possuir controlador automático de temperatura digital, precisão de 1°C e potência térmica de 18 kW/h;
- b) Termopares tipo K e sistema de coleta e registro de dados: para o monitoramento da superfície do *SVVE*, são utilizados cinco termopares e um sistema de aquisição de dados, tipo *Datalogger*, monitorado por computador e permitindo o acompanhamento dos perfis de temperatura desenvolvidos durante o ensaio.

5.3.5.2 Procedimento de Ensaio

O ensaio consiste em submeter o corpo de prova do *SVVE* (elemento), em escala reduzida, nas dimensões $(100 \pm 20 \times 100 \pm 20)$ cm, a um aquecimento constante, com temperatura na face interna (exposta ao aquecimento) de $85^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 8 horas. A temperatura é monitorada até atingir o patamar especificado, a partir desse ponto, o forno permanece ligado, porém, com potência variável, apenas para manter a temperatura no intervalo estipulado.

As temperaturas são monitoradas durante o ensaio tanto na face externa (não exposta) do *SVVE* (elemento) como na interna (exposta). Após o período de ensaio (8 horas), o forno é desligado, mas o elemento continua acoplado ao mesmo até que se resfrie à temperatura ambiente. Nesse período, as temperaturas continuam sendo monitoradas e registradas por um sistema de aquisição de dados, tipo *Datalogger*, que permite o acompanhamento dos perfis de temperatura desenvolvidos.

Os termopares são posicionados na área central do elemento, posição que o fluxo de calor é praticamente unidirecional, o que permite desconsiderar eventuais efeitos de borda, conforme pode ser observado na Figura 5.19.

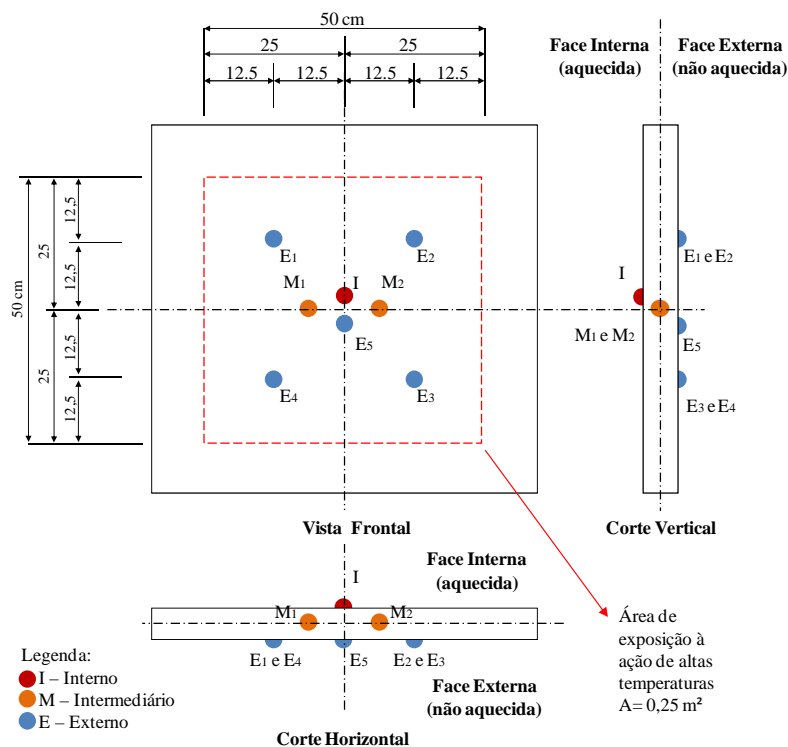


Figura 5.19: Posição dos termopares no corpo de prova representativo do SVVE (elemento).

5.3.5.3 Parâmetros de Aceitabilidade

As condições limites são apresentadas, a seguir, para a avaliação dos critérios de isolamento térmico:

- A temperatura em qualquer ponto medido da face externa (não exposta) não deve ficar maior do que 29°C ($T_{\text{face externa}} \leq 29^\circ\text{C}$).

O Caderno de Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social IPT (2000) estabelece que a temperatura máxima de conforto para o verão é de 29°C com velocidade do ar = 0,5 m/s.

- Na face interna – exposta ao aquecimento – não deve surgir degradações que comprometam a utilização do SVVE, como, por exemplo, fissuras e descolamentos entre componentes do SVVE que propiciem a passagem de calor para o interior da edificação.

5.3.5.4 Análise dos Resultados de Ensaios Experimentais de Desempenho Térmico em SVVE, em escala reduzida, aplicados em Modelos HIS Térrcos.

Apresentam-se, a seguir, os resultados do ensaio de desempenho térmico para os SVVE dos modelos B – sistema pesado – e modelo D – sistema leve. Para os demais modelos usados nesta tese como estudo de caso, não foi realizado este ensaio. A Tabela 5.13 apresenta as temperaturas nos pontos de medição, e, na Figura 5.20, são apresentados os resultados na forma de gráfico, onde é possível visualizar o comportamento das temperaturas no SVVE (elemento), como na face interna (aquecida), face externa (não aquecida) e no interior do elemento.

Tabela 5.13: Evolução das temperaturas ao final das 8 horas no elemento do SVVE dos Modelos B e D.

Termopares	Temperatura após 8 horas de ensaio							
	Face Interna (aquecida)	e/2		Face Externa (não aquecida)				
	I	M ₁	M ₂	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅
Modelo B (e=50mm)	88	65	64	28	29	17	19	29
Modelo D (e=60mm)	88	36	34	22	22	19	19	25

e = espessura dos SVVE em milímetros.

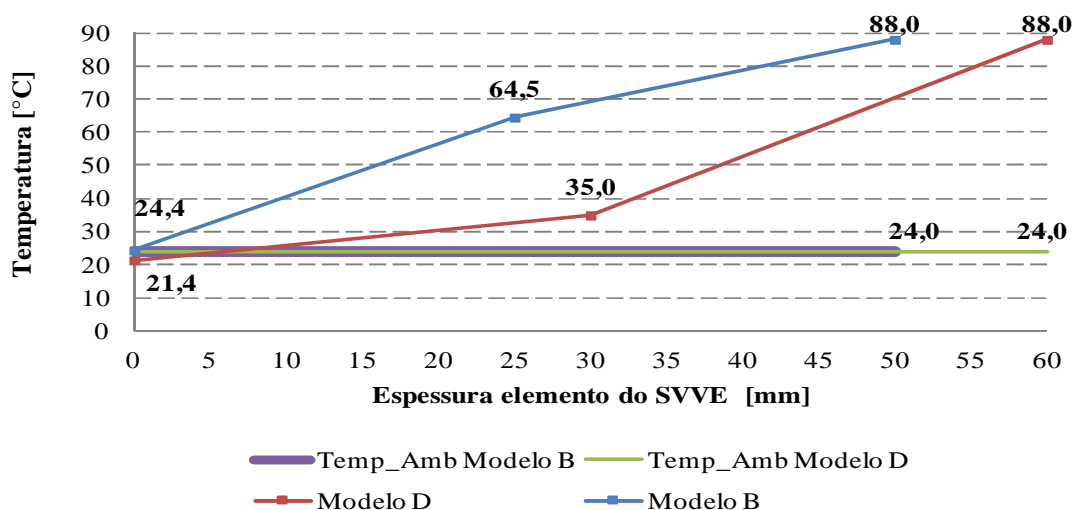


Figura 5.20: Perfil de temperatura nos SVVE dos Modelos B e D e temperatura ambiente no laboratório durante o ensaio.

Analisando as temperaturas, observa-se que, no SVVE do modelo B, a máxima temperatura atingida na face interna (aquecida), após a estabilização da temperatura do forno e as 8 horas de ensaio, ficou no patamar máximo de 88°C. Após as 8 horas de ensaio, a temperatura na face externa (não aquecida) apresenta uma temperatura, na média, de 24,4°C, obtendo-se um diferencial entre as faces, aquecida e não aquecida, de 63,6°C.

Também em relação ao modelo B, constatou-se que nenhuma temperatura na face externa (não aquecida) ficou acima de 29°C, e a temperatura média ficou em 24,4°C, muito próxima a temperatura no interior do laboratório que foi de 24°C, durante a realização do ensaio. O ensaio indica um atraso térmico de aproximadamente 9 horas, e não foram observados nenhum tipo de degradação no corpo de prova.

Em relação ao SVVE do modelo D, verifica-se que o diferencial de temperatura entre a face interna (aquecida), 88°C, e externa (não aquecida), na média, 21,4°C, após 8 horas de ensaio, é de 66,6°C, evidenciando-se a capacidade de isolamento térmico do elemento. Destaca-se que os parâmetros de aceitabilidade foram atingidos: nenhuma temperatura na face externa (não aquecida) ficou acima de 29°C e a temperatura média ficou em 21,4°C, muito próxima a temperatura no interior do laboratório que foi de 24°C, durante a realização do ensaio. O ensaio indica um atraso térmico de aproximadamente 8 horas, e não foram observados nenhum tipo de degradação no corpo de prova.

Embora os SVVE dos modelos B e C sejam diferentes entre si, constituídos de materiais distintos e considerados sistemas antagônicos (modelo B, sistema pesado de placas pré-moldadas de concreto com incorporação de ar, e modelo D, sistema leve de painéis sanduíches compostos por duas chapas de aço e preenchimento de espuma de poliuretano expandido, PU), ambos apresentam comportamento similar de isolante térmico, onde a variação de temperatura entre as faces (aquecida e não aquecida) é muito próxima de 63,6°C e 66,6°C, Modelo B e C, respectivamente.

5.4 ANÁLISE CRÍTICA DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO QUANTO À SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO PARA EDIFICAÇÕES TÉRREAS À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013)

Este capítulo apresenta uma descrição da evolução da abordagem de segurança contra incêndio e uma análise crítica da avaliação de desempenho quanto a segurança contra incêndio para edificações até dois pavimentos, isolados, conforme a NBR 15575 (2013). Após é apresentada análise do ensaio experimental laboratorial para SVVIE com foco na ABNT NBR 5628 (2001). A seguir as proposições de inovações ao item de desempenho contra incêndio são descritas e o procedimento de EED para simulação de incêndio em protótipo, na escala real (1:1) com os respectivos resultados são apresentados.

5.4.1 Descrição da Evolução da Avaliação de Desempenho Contra Incêndio para Edificações Isoladas Térreas estabelecida na NBR 15575

A primeira versão da NBR 15575 (2008) recomenda avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio para edificações habitacionais até cinco pavimentos e estabelece a ABNT NBR 14432 (2001) – *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: Procedimento* – como legislação pertinente a ser atendida.

A ABNT NBR 14432 (2001) estabelece que edificações térreas cuja área total seja menor ou igual a 750 m² (Anexo A - letra “c”) estão isentas dos requisitos de resistência ao fogo e, também, isenta as edificações térreas dos requisitos de resistência ao fogo (Anexo A - letra “d”), exceto quando:

- a) A cobertura da edificação tiver função de piso, mesmo que seja saída de emergência;
- b) A estrutura da edificação, a critério do responsável técnico pelo projeto estrutural, for essencial à estabilidade de um elemento de compartimentação;
- c) A edificação não tiver uso industrial, com carga de incêndio superior a 500MJ/m² (excluem-se dessa regra os depósitos);
- d) A edificação tiver uso industrial, com carga de incêndio específica superior a 1.200MJ/m², observados os critérios de compartimentação constantes nas normas brasileiras em vigor ou, na sua falta, regulamentos de órgãos públicos;

- e) A edificação for utilizada como depósito com carga de incêndio específica superior a 2.000 MJ/m², observados os critérios de compartimentação constantes nas normas brasileiras em vigor ou, na sua falta, regulamentos de órgãos públicos.

As edificações unifamiliares isoladas de até dois pavimentos não estavam cobertas pela legislação brasileira para avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio. Esse cenário mudou com a versão atual da NBR 15575 (2013), que fez alterações significativas a favor da segurança contra incêndio de edificações habitacionais, incluindo a recomendação de execução de ensaios experimentais nas edificações unifamiliares isoladas até dois pavimentos para avaliar o desempenho de sistemas construtivos frente à ação do fogo.

Os ensaios experimentais recomendados na NBR 15575 (2013) a edificações unifamiliares isoladas até dois pavimentos estão citados apenas na Parte 4 com o objetivo de analisar o comportamento do sistema de vedação vertical interno e externo (SVVIE) frente resistência ao fogo, onde estabelece que: “No caso de unidade habitacional unifamiliar isolada de até 2 pavimentos, é requerida resistência ao fogo de 30 minutos para os SVVIE somente na cozinha e ambiente fechado que abrigue equipamento de gás.”.

As normas recomendadas na NBR 15575 (2013) – Parte 4 para aplicar os ensaios experimentais laboratoriais nos SVVIE são as normas ABNT NBR 5628 (2001) – *Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da resistência ao fogo* e ABNT 10636 (1989) – *Paredes Divisórias sem Função Estrutural – Determinação da Resistência ao Fogo* para simular a ação do fogo em corpos de prova a fim de projetar o potencial comportamento em uso, ambas com foco na resistência ao fogo de SVVIE com e sem função estrutural, respectivamente.

A postura da NBR 15575 – Parte 4 (2013) frente às edificações isoladas até dois pavimentos é válida e se traduz num excelente avanço para o conhecimento do comportamento dos SVVIE em situação de incêndio quanto a resistência ao fogo, mas não há menção quanto a propagação do fogo e aos gases tóxicos gerados num incêndio. Atualmente no Brasil há a incorporação de materiais não convencionais em edificações habitacionais, especificamente, nas edificações térreas e isoladas, que requer uma atenção investigativa mais rigorosa quanto ao comportamento da edificação em situação de incêndio.

Diante do exposto, optou-se em analisar a eficiência da postura da NBR 15575 – Parte 4 (2013) que utiliza apenas o resultado de dois ensaios experimentais laboratoriais em SVVIE quanto a resistência ao fogo, ABNT NBR 5628 (2001) e ABNT NBR 10636 (1989) para avaliação de desempenho de edificações HIS térreas isoladas frente à ação do fogo.

5.4.2 Resultado da Análise Crítica da Avaliação de Desempenho quanto à Segurança Contra Incêndio para Edificações Isoladas até Dois Pavimentos estabelecida na NBR 15575 – Parte 4 (2013)

Apresenta-se, a seguir, o resultado da análise crítica relativa à avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio estabelecida na NBR 15575 – Parte 4 (2013) para edificações isoladas até dois pavimentos. A análise foi efetuada usando os critérios definidos no Capítulo 4.

5.4.1.1 Análise crítica quanto à avaliação de desempenho

A análise crítica identificou que a avaliação de desempenho recomendada na NBR 15575 (2013) não atende satisfatoriamente aos critérios de *aplicabilidade*, *exequibilidade*, *fidedignidade* e *representabilidade* dos resultados e *adequabilidade*, conforme descrito a seguir:

- a) Quanto à *aplicabilidade*: a NBR 15575 – Parte 4 (2013) recomenda ensaios experimentais de resistência ao fogo nos SVVIE das edificações habitacionais isoladas até dois pavimentos para avaliação do desempenho frente a ação do fogo e continua recomendado o atendimento pleno da norma correlata ABNT NBR 14432 (2001) que isenta as edificações térreas dos requisitos de resistência ao fogo. Ou seja, nota-se um conflito entre as abordagens de norma que deve ser resolvido, a fim de credenciar a avaliação de desempenho de segurança contra incêndio para qualquer tipo de edificação.
- b) Quanto à *exequibilidade*: o fato de não haver laboratórios equipados em número suficiente no país para a demanda de ensaios experimentais nos SVVIE de resistência ao fogo, conforme as ABNT NBR 5628 (2001) e ABNT NBR 10636 (1989) faz com que o processo de avaliação de desempenho de edificações fique moroso.

- c) Quanto à *fidedignidade* e *representabilidade* de resultados: o resultado do ensaio experimental laboratorial é fiel e representativo do comportamento do SVVIE (elemento isolado: parede) e possibilita prever o potencial comportamento do mesmo quando em situação real de incêndio.

Porém, o SVVIE (parede) é integrante do conjunto de sistemas que compõem uma edificação e em situação real de incêndio o seu comportamento pode sofrer alteração em relação ao resultado apresentado no ensaio do segmento de parede isolado. A conexão entre paredes e a interação entre as paredes e a cobertura afetam a evolução de temperaturas e a liberação de gases, que por ventura podem aumentar, inibir ou reduzir a eliminação de gases.

- a) Quanto à *adequabilidade*: há uma tendência de que os requisitos, critérios e métodos de avaliação estabelecidos na NBR 15575 – Parte 4 (2013) estão alinhados com o comportamento de sistemas construtivos com tecnologia convencional, podendo penalizar inadequadamente sistemas construtivos inovadores, quando da avaliação de desempenho. A avaliação de desempenho deve ser adequada a qualquer tipo de sistema construtivo, permitindo avaliar o comportamento do SVVIE e da edificação em situação de incêndio. Essa postura é adotada na NBR 15575 (2013) para desempenho térmico e desempenho acústico, quando estabelece que deve ser avaliado o SVVIE (elemento:parede) e também, complementando a avaliação, ensaios de campo nas edificações (protótipos).

5.4.3 Análise do Ensaio Experimental Laboratorial em SVVIE requerido na NBR 15575 – Parte 4 (2013), para Edificações Isoladas até Dois Pavimentos.

A NBR 15575 (2013) recomenda o ensaio experimental laboratorial adotado pela ABNT NBR 5628 (2001), para avaliar a resistência ao fogo do SVVIE com função estrutural. O procedimento de ensaio consiste basicamente em submeter um corpo de prova representativo do SVVIE (elemento) de dimensões mínimas de 2,50 m x 2,50 m, largura e altura, respectivamente, a um programa térmico padrão a fim de determinar a resistência ao fogo.

O ensaio experimental laboratorial da ABNT NBR 5628 (2001) não foi realizado pelo LEME/UFRGS porque o laboratório não dispunha de um forno adequado durante a realização deste trabalho.

Atualmente, o LEME/UFRGS dispõe de um forno para os ensaios experimentais laboratoriais em SVVIE em conformidade com a ABNT NBR 5628 (2001) e ABNT NBR 10636 (1989), utilizando como combustível o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), conforme ilustra a Figura 5.15. Segundo Seito e Silva (2006) os dois laboratórios no país que dispõem desse equipamento para ensaiar SVVIE é o IPT e o laboratório de Furnas (vide Figura 5.21).

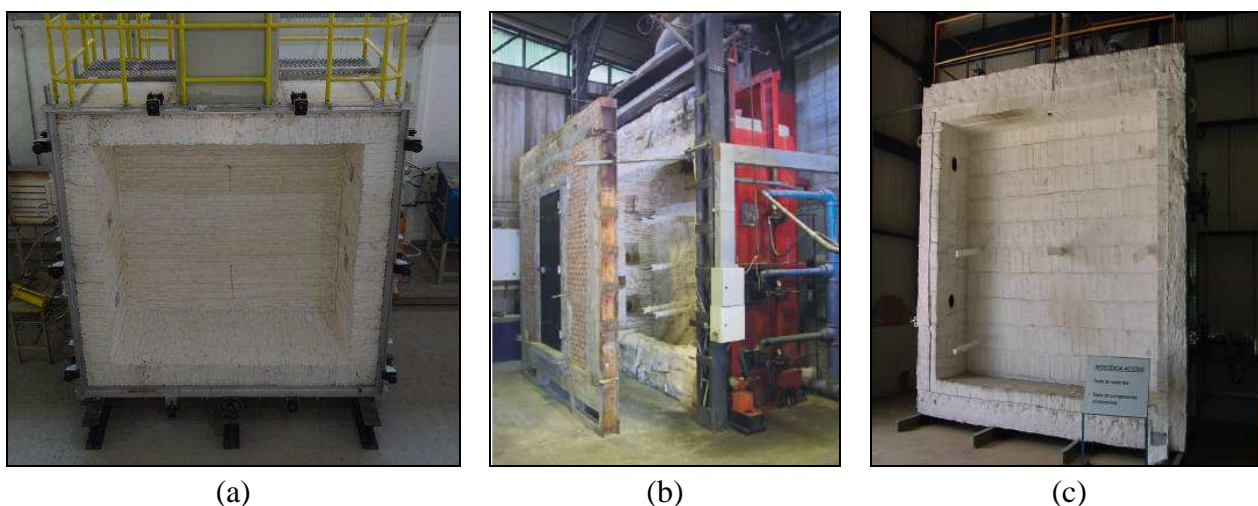


Figura 5.21: Forno para ensaio experimental laboratorial de resistência ao fogo em SVVIE: (a) LEME/UFRGS (AUTORA) e (b) IPT (SEITO e SILVA, 2006) e (c) Laboratório de Furnas (SEITO e SILVA, 2006).

Em artigo publicado por Moreno Junior e Molina (2012) intitulado “Considerações de interesse sobre a avaliação em laboratório de elementos estruturais em situação de incêndio: contribuições à revisão da NBR 5628:2001” os autores fazem uma análise crítica minuciosa a respeito do procedimento de ensaio adotado pela norma. No trabalho, foram reunidos e discutidos parâmetros que norteiam procedimentos metodológicos para a avaliação em laboratório de elementos estruturais em escala natural, com carga, e em situação de incêndio.

Os mesmos autores acrescentam que os parâmetros de interesse são dimensões mínimas dos elementos para o ensaio, taxas de elevação de temperatura com o tempo, infraestrutura para o ensaio e instrumentação dos elementos estruturais que foram avaliados à luz de normalização nacional e internacional vigente, bem como sugerem uma discussão em futura revisão da ABNT NBR 5628 (2001), que podem ser assim resumidas:

- a) Inclusão de curvas de “incêndio de projeto” como alternativas ao “incêndio-padrão”;

- b) Especificação da intensidade de carregamento dos elementos estruturais nos ensaios de resistência ao fogo, como aquela correspondente à combinação excepcional de ações;
- c) Especificação de critérios limites de resistência ao fogo quanto à perda de estabilidade estrutural: implementação dos critérios existentes para elementos fletidos e inclusão de critérios para elementos axialmente comprimidos;
- d) Avaliação das dimensões mínimas de paredes, lajes, vigas e pilares em ensaios para a avaliação da resistência ao fogo: implementação de comprimentos mínimos para o ensaio de vigas e lajes em duas direções;
- e) Instrumentação: implementação de novos esquemas de posicionamento dos pontos de controle da temperatura ao redor do elemento ensaiado (incêndio-padrão) e implementação de sugestões quanto ao posicionamento dos pontos de interesse para o registro da evolução da temperatura no elemento durante o tempo de duração do ensaio;
- f) Implementação de medidas efetivas de controle da uniformidade da temperatura ao redor do elemento ensaiado;
- g) Implementação de limites para a pressão no interior do forno em ensaios de avaliação da estanqueidade;
- h) Implementação de limites para a abertura das fissuras nos elementos (paredes e lajes) em ensaios de avaliação da estanqueidade;
- i) Implementação de registro de propriedades físicas, térmicas e mecânicas, em todo relatório de ensaio de resistência ao fogo, principalmente o valor do teor de umidade;
- j) Implementação de intervalos de medição menores do que os atuais 5 min ou 10 min.

Os autores concluem que há necessidade de melhorias no ensaio experimental laboratorial em SVVIE estabelecido pela ABNT NBR 5628 (2001) e que isso passa tanto pelo aparelhamento quanto pelo aperfeiçoamento da infraestrutura laboratorial do país.

5.4.4 Discussão da Possibilidade de Aplicação de Ensaio Experimental de Simulação de Incêndio em Campo na escala real (1:1) para HIS térreas

Outra linha de ensaios experimentais para comprovar a segurança contra incêndio em edificações está associada a simulações de incêndio em laboratórios ou em campo, em escala real (1:1). Nos EUA, mais precisamente no NIST, ensaios desse porte vêm sendo utilizados com frequência para melhor conhecer o comportamento das edificações e seus sistemas construtivos em situação real de incêndio, dentre esses, cita-se o *Smoke Component Yields from Room-scale Fire Tests* (NIST, 2003), que consiste na análise comparativa dos gases gerados em incêndios simulados em laboratório: um em escala reduzida e o outro em escala real, simulando uma sala e corredor de uma edificação habitacional.

Uma experiência similar foi desenvolvida no Brasil, pelo LEME/UFRGS, com bons resultados. Acredita-se que a mesma pode ser fonte para estabelecimento de procedimento alternativo a ser incorporado à NBR 15575 para avaliação de desempenho contra incêndio. Dessa forma, decidiu-se nesse item descrever a mesma para que se possa entender quais os procedimentos que podem ser generalizados.

5.4.4.1 Ensaio de Simulação de Incêndio em Campo na escala real (1:1) de uma Edificação HIS térrea

A possibilidade de usar métodos mais precisos para avaliação da resistência ao fogo em edificações encontra suporte na ABNT NBR 14432 (2001), item 5, onde indica que outros métodos de análise podem ser utilizados, desde que comprovados cientificamente. Ensaios experimentais em escala real podem ser um desses métodos, pois proporciona obter dados mais precisos, fieis e representativos do comportamento de edificações.

A oportunidade de ensaiar experimentalmente um protótipo de edificação habitacional térrea e isolada na escala real (1:1) ampliou o interesse quanto a coleta de dados, focando não apenas no desempenho estrutural, mas também em perfis de temperatura e distribuição da fumaça, dados raros e de grande valia que permitem avaliar qual o tempo real de evacuação disponível para a fuga dos usuários e a evolução dos gases nocivos à sobrevivência humana gerados durante um incêndio real.

Um ensaio desta natureza envolve muitas variáveis, equipes interdisciplinares e um elevado investimento, tornando-se raro no meio científico. Em se tratando de um método de ensaio inédito e não normatizado no Brasil, idealizou-se utilizar como referencial normas, instruções

técnicas e estatísticas do Corpo de Bombeiros brasileiros, artigos técnicos internacionais e orientações técnicas do Laboratório de emissões atmosféricas, análises químicas e ambientais, conforme relação a seguir:

- a) Os trabalhos atinentes à área como *Smoke Component Yields from Room-scale Fire Tests* (NIST, 2003), *The Nature and Behavior of Fire* (KIRK e DEHAAN, 2007) e *Guide to Safety at Sports Grounds* (TSO, 2008);
- b) As normas internacionais ASTM E1678 (2010) *Standard Test Method for measuring Smoke Toxicity for Use in Fire Hazard Analysis* e ASTM E800 (2007) *Standard Guide for Measurement of Gases Presents or Generated During Fires*;
- c) As normas nacionais ABNT NBR 5628 (2001); ABNT NBR 10636 (1989), ABNT NBR 14432 (2001) e ABNT NBR 15575 (2008).
- d) A instrução técnica do Corpo de Bombeiros de São Paulo IT 08 – Segurança Estrutural nas Edificações: Resistência ao fogo dos elementos de construção (2004) –, do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais IT 37 – Centros Esportivos e de Exposição: Requisitos de Segurança Contra Incêndio (2010) – e as “Estatísticas de Incêndios” do Corpo de Bombeiros de Porto Alegre, RS, (2010).
- e) Análises Ambientais: Qualidade do Ar Inalável, AMBIENTEC (2010).

O ensaio experimental idealizado tem como objetivo principal fornecer subsídios para avaliar o desempenho da edificação em situação de incêndio quanto à possibilidade dos usuários escaparem com vida, a extensão de danos à vizinhança e a estabilidade global da edificação frente à ação do fogo.

5.4.4.2 Protótipo e Carga de Incêndio

Dada a natureza inovadora do Modelo D com o uso de painéis de chapas de aço galvanizado com miolo de poliuretano e pequena espessura (60 mm), consolidados através de cabos de tensão, e a escassez de informações sobre o desempenho do sistema estrutural submetido a condições de incêndio, considerou-se que o uso de modelos reduzidos de segmento de paredes para avaliar a resistência ao fogo não representaria adequadamente o comportamento do sistema. Diante dessas circunstâncias optou-se por uma estratégia de ensaio em campo num protótipo da edificação em escala real (1:1) com a finalidade de assegurar um adequado conhecimento do desempenho efetivo do sistema em caso de sinistro.

O protótipo do modelo D se enquadrava na Classe A-1 da ABNT NBR 14432 (2001), que exige uma carga de incêndio mínima de 300 MJ/m². A mobília colocada no protótipo resultou numa carga de incêndio superior a 300 MJ/m² e com exemplo a carga de incêndio na sala ficou em 306,37 MJ/m² (vide Tabela 5.14).

Tabela 5.14: Carga de incêndio da mobília da sala do protótipo do modelo D.

Descrição	Quantidade	Potencial Calorífico MJ
Sofá 02 lugares (c/ madeira)	01	434,00
Poltrona 01 lugar (c/ madeira)	01	233,70
Almofadas	04	31,00
Manta para sofá	02	138,00
Pufe (c/ madeira)	01	190,00
Aparelho de som	01	19,00
Mesa canto (c/ madeira)	01	380,00
Enfeite de mesa canto	04	28,00
Mesa jantar (c/ madeira)	01	923,40
Cadeira p/ mesa jantar (c/ madeira)	04	570,00
Tapete (2,00 x 3,00) m	01	372,00
Cortinas	02	54,00
Estante de livros (h=2,10m) (c/ madeira)	01	1.100,00
	Total (MJ)	4.473,10
	Área sala/cozinha (m²)	10,60
	Carga de Incêndio sala (MJ/m²)	306,37

A escolha do ponto de ignição do incêndio, para o ensaio, foi baseada nas Estatísticas de Incêndio (2010) do Corpo de Bombeiros de Porto Alegre (RS), que indica, na maioria dos incêndios não intencionais, que a ignição ocorre na sala ou quartos e não na cozinha. Estipulou-se que o início do incêndio ocorreria na sala, simulando a pior situação para uma percepção do usuário, quando estivesse dormindo. A Figura 5.22 apresenta o desenho esquemático da mobília do protótipo e o ponto de ignição.

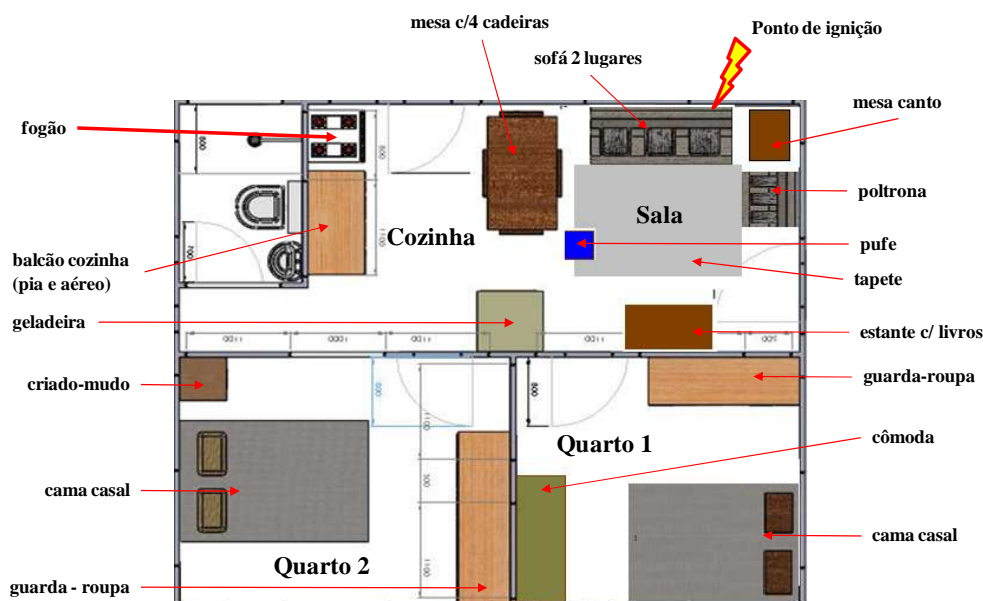


Figura 5.22: Desenho esquemático da mobília do protótipo e o ponto de ignição.

O protótipo foi instrumentado com oito câmeras filmadoras externas e oito internas, dois termógrafos (fixo e móvel), 24 termopares distribuídos no interior do protótipo, nas paredes (face externa e interna), na janela próximo ao foco início do incêndio e na barreira que simula uma construção vizinha e cinco coletores de gases internos e três pontos externos.

Na região central dos ambientes de permanência prolongada (dois dormitórios e uma sala/cozinha), foram dispostas três árvores de termopares com quatro termopares cada, com diferentes alturas, 0,6m, 1,20m, 1,80m e 2,20 m. A coleta dos gases internos foi efetuada dez vezes durante o ensaio, em cinco pontos no interior do protótipo e três vezes na área externa.

As Figuras 5.23, 5.24, 5.25 e 5.26 apresentam a instrumentação do protótipo quanto aos termopares, às coletas dos gases, às câmaras filmadoras e ao termógrafo fixo, e a Tabela 5.15 apresenta a relação entre os pontos de coletas e os termopares.

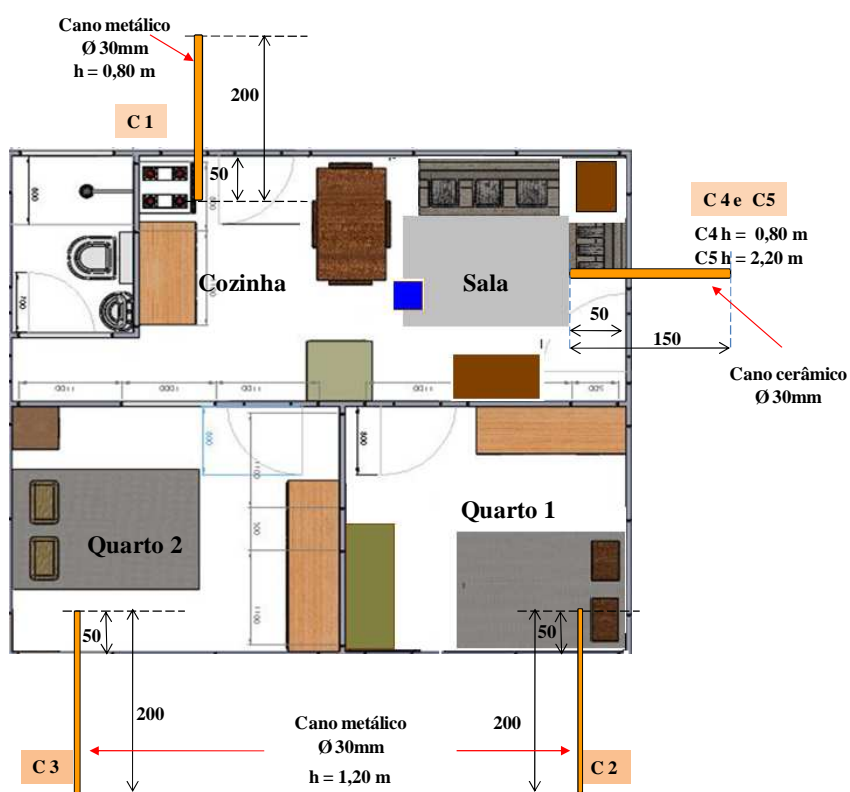
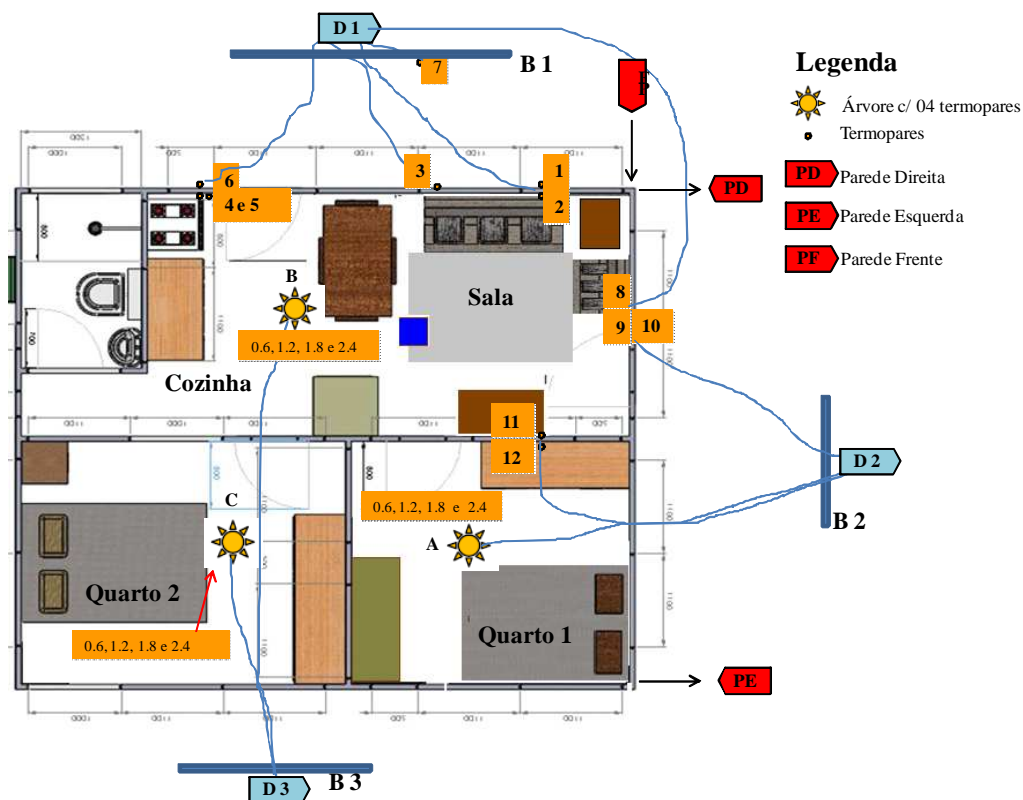


Figura 5.24: Instrumentação: Distribuição e localização dos pontos de coleta dos gases no protótipo.

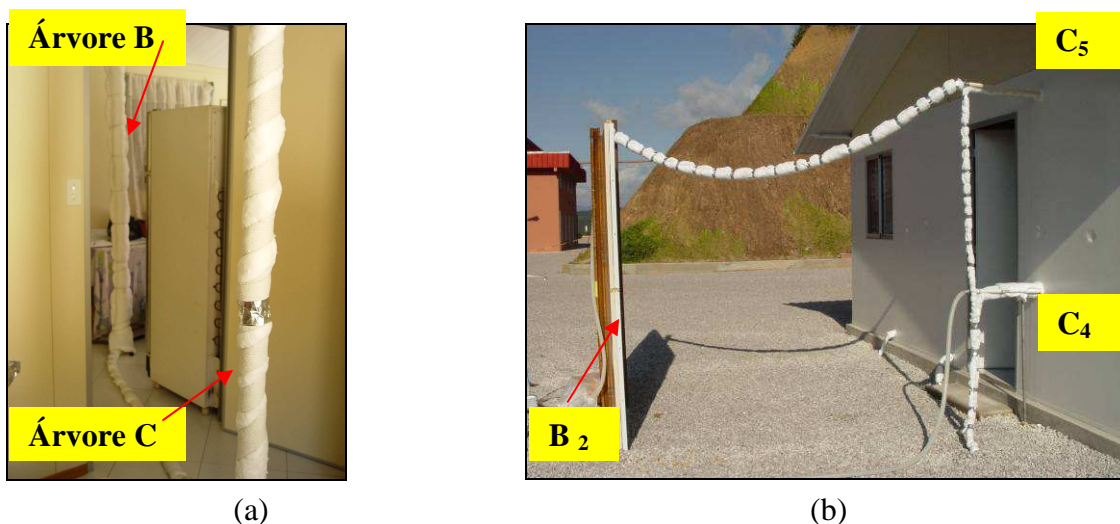


Figura 5.25: Instrumentação: (a) árvore de termopares B e C no interior protótipo e (b) pontos de coleta dos gases C₄ e C₅ e barreira B₂.



Figura 5.26: Instrumentação: Posição: (a) câmara de filmagem externa e (b) termógrafo fixo.

Tabela 5.15: Relação entre os pontos de coleta e os termopares

Coleta	Termopar	Altura	Localização
C ₁	T ₅	0,80 m	Cozinha
C ₂	A 1.2	1,20 m	Quarto 1
C ₃	C 1.2	1,20 m	Quarto 2
C ₄	T ₉	0,80 m	Sala
C ₅	T ₈	2,20 m	Sala

Nota:

A 1.2 – Árvore de termopares A, posição do termopar 1,20 m de altura do piso.

C 1.2 – Árvore de termopares C, posição do termopar 1,20 m de altura do piso.

O ensaio teve início às 09h37min do dia 07 de novembro de 2010 quando se efetuou o acendimento da vela localizada sobre o sofá da sala. Nesse momento fez-se a primeira coleta dos gases no interior e no exterior do protótipo. A temperatura ambiente era de 24,9°C e o vento de 1,20 m/s com rajadas de até 2,5 m/s.

5.4.4.3 Temperaturas internas

As temperaturas foram monitoradas ao longo de todo ensaio, com coleta a cada segundo. Na Figura 5.27, é possível observar as temperaturas registradas nas árvores de termopares A, B e C, quarto1, sala/cozinha e quarto 2, respectivamente, em quatro horários distintos: 9h37min (início do processo de ignição), 9h44min4s (início da atuação plena do fogo), 9h59min4s (15 minutos após atuação plena do fogo) e às 10h8min45s (colapso da estrutura do protótipo da edificação).

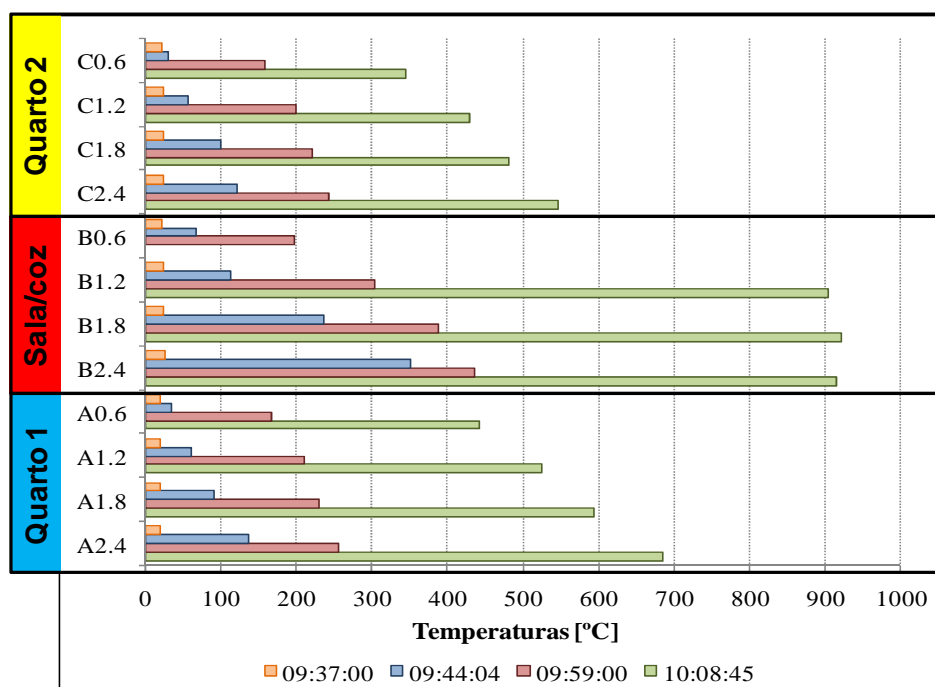


Figura 5.27: Temperaturas nas Árvores de Termopares A, B e C durante o ensaios para os horários 9h37min, 9h44min4s, 9h59min4s e 10h8min45s.

A temperatura média dos doze sensores de temperaturas (termopares tipo K) posicionados no centro de cada ambiente, no interior do protótipo, no início do ensaio (9h37min), foi de 22°C. Aproximadamente 7 minutos após o início do processo de ignição iniciou-se a atuação plena do fogo (9h44min4s) e as temperaturas na sala/cozinha foram cerca de 230% superiores à

média das temperaturas medidas nos dormitórios 1 e 2, 53°C e 56 °C, respectivamente, a 1,20 m do piso.

Aos 15 minutos de atuação plena do fogo, ou seja, 21 minutos de ensaio (9h59min4s), as temperaturas registradas a 1,20 m do piso encontravam-se acima de 199°C e aos 24 minutos de atuação plena do fogo, correspondente a 31 minutos de ensaio, as temperaturas a 1,20 m do piso são 525°C, 903°C e 430°C, no quarto 1, sala/cozinha e quarto 2, respectivamente.

A temperatura máxima registrada no momento do colapso da estrutura do protótipo ficou em 921 °C, a 1,8m do piso, na sala/cozinha (árvore de termopores B). Verificou-se também que os demais sensores, da mesma árvore, registraram o mesmo nível de calor, acima de 900 °C, demonstrando a ocorrência de uma homogeneização do calor neste ambiente.

5.4.4.4 Temperaturas externas

As temperaturas registradas na barreira B₁ para simular uma edificação vizinha foram captadas por termopar e ficaram em torno de 36°C, no início do ensaio, e evoluíram para 46°C, às 10h06min18s (horário da última leitura efetuada, pois o sistema de aquisição foi retirado antes do colapso, para evitar danos). Os registros termográficos são apresentados a seguir. Como esperado, os mesmos indicam a existência de temperaturas radiantes mais elevadas do que as medidas na barreira B₁ pelo T₇, pois os termógrafos são sensores de área que captam a radiação térmica e são mais sensíveis à temperatura do ar. Na Figura 5.28, pode-se observar o registro das temperaturas na barreira B₁, face exposta ao incêndio.

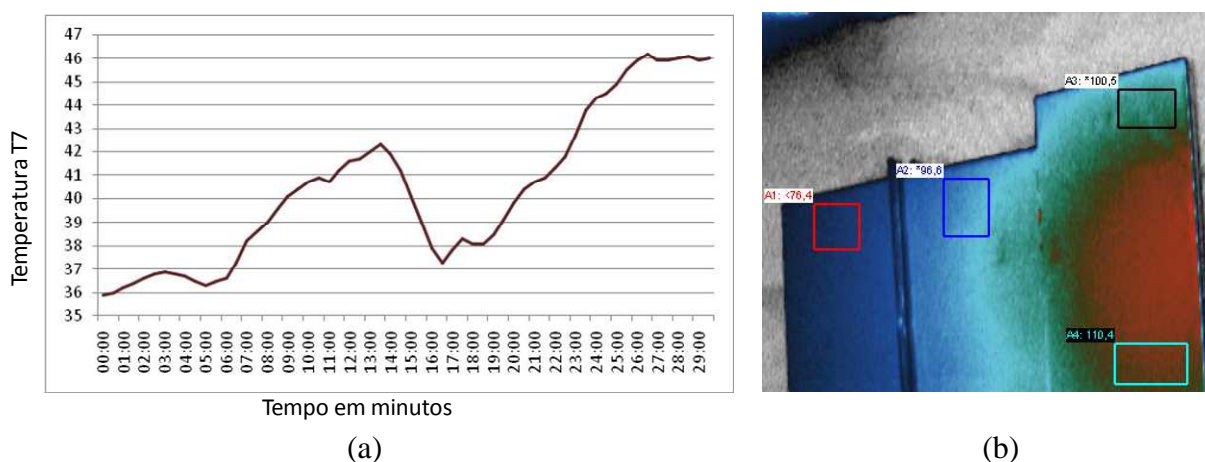


Figura 5.28: (a) Gráfico do comportamento das temperaturas do termopar T₇, durante o ensaio, das 09h37min até às 10h06min18s; (b) Temperatura na barreira B₁, face exposta, às 09:55h, decorridos 18 minutos do início do ensaio.

5.4.4.5 Gases x Temperaturas

A análise dos resultados teve enfoque na concentração de dois gases para a sobrevivência humana: o oxigênio (O₂) e o monóxido de carbono (CO). A correlação entre os gases (O₂ e CO) e a temperatura no ponto e momento da coleta dos gases foi considerada até a 4ª coleta, (7 minutos de ensaio), após esse período as condições prevalentes não são favoráveis à sobrevivência humana.

Nas Figuras 5.29 e 5.30, são apresentadas a 3ª e 4ª coleta dos gases mostrando a concentração de oxigênio (O₂) e de monóxido de carbono (CO) e as temperaturas nos cinco pontos de coleta dos gases.

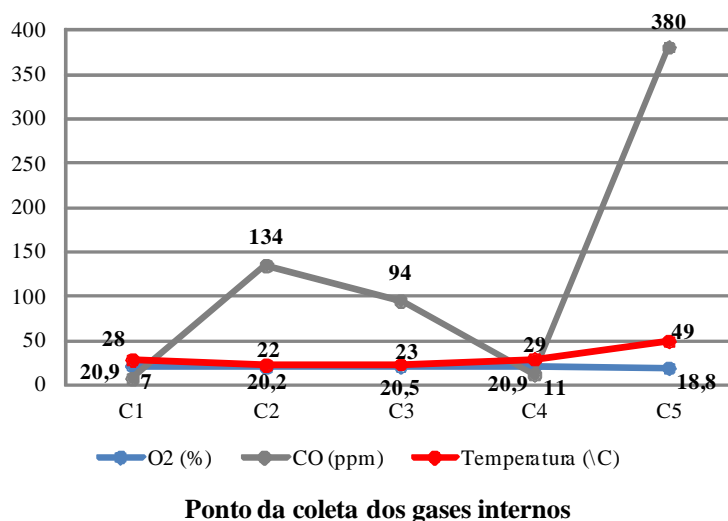


Figura 5.29: 3ª coleta [O₂ x CO x °C] após 4 minutos do início do ensaio.

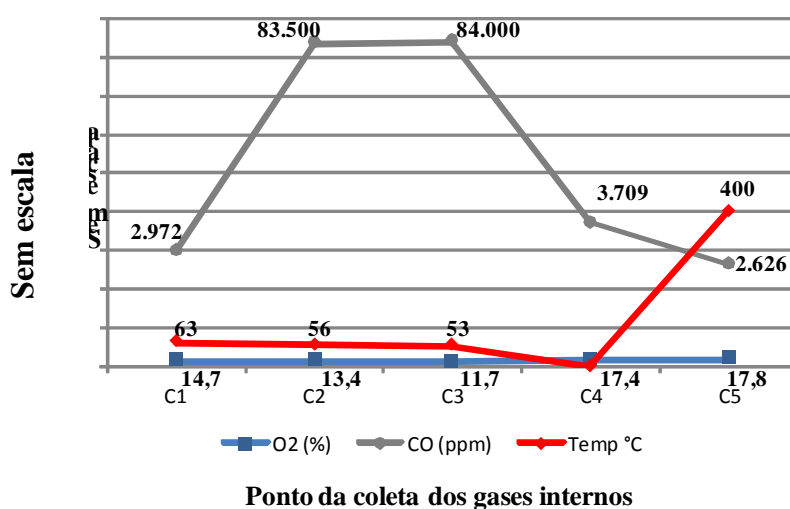


Figura 5.30: 4ª coleta [O₂ x CO x °C] após 7 minutos do início do ensaio.

Na 3ª coleta dos gases, decorridos 4 minutos de ensaio, observa-se que a concentração de monóxido de carbono (CO) atinge 134 ppm no ponto C₂ (quarto 1 a 1,20m de altura do piso) e os níveis de concentração de oxigênio (O₂) permanecem acima de 20%, com exceção do ponto de coleta C₅ (sala a 2,20 m de altura do piso). As temperaturas nos pontos de coleta são amenas, com exceção do ponto de coleta C₅ (T₈) com temperatura de 49°C.

A 4ª coleta ocorre aos 7 minutos de ensaio e registra concentrações de monóxido de carbono (CO) elevadas, principalmente no C₂ (quarto 1) e no C₃ (quarto 2), com picos de 83.500 ppm e 84.000 ppm, respectivamente. A concentração de oxigênio (O₂) cai para níveis abaixo de 17,8%. As temperaturas sofrem elevações, ficando na média em 57,3°C nos pontos C1 (cozinha), C2 (quarto 1) e C3 (quarto 2) e no ponto C₅ (sala a 2,20m de altura do piso) a elevação é significativa atingindo 400°C. Essas condições começam a ameaçar a sobrevivência.

A coleta de gases externos foi efetuada a cada 6 minutos, próximo as três barreiras colocadas a 3,00 m de distância do protótipo para simular edificações vizinhas. As barreiras serviram de proteção para as equipes responsáveis pela coleta dos gases, conforme pode ser observado nas Figuras 5.31 e 5.32. Foi possível fazer 3 coletas durante o ensaio. Os resultados das coletas dos gases externos (O₂ e CO) em relação as três barreiras são apresentadas nas Figuras 5.33 e 5.34.

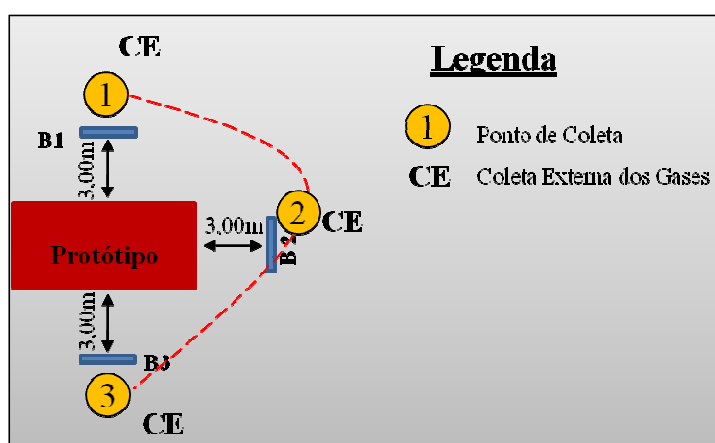


Figura 5.31: Posição das coletas dos gases no ambiente externo e localização das três barreiras: B₁, B₂ e B₃.



Figura 5.32: Coleta dos gases externos: (a) próximo a barreira B₃ e (b) na barreira B₂.

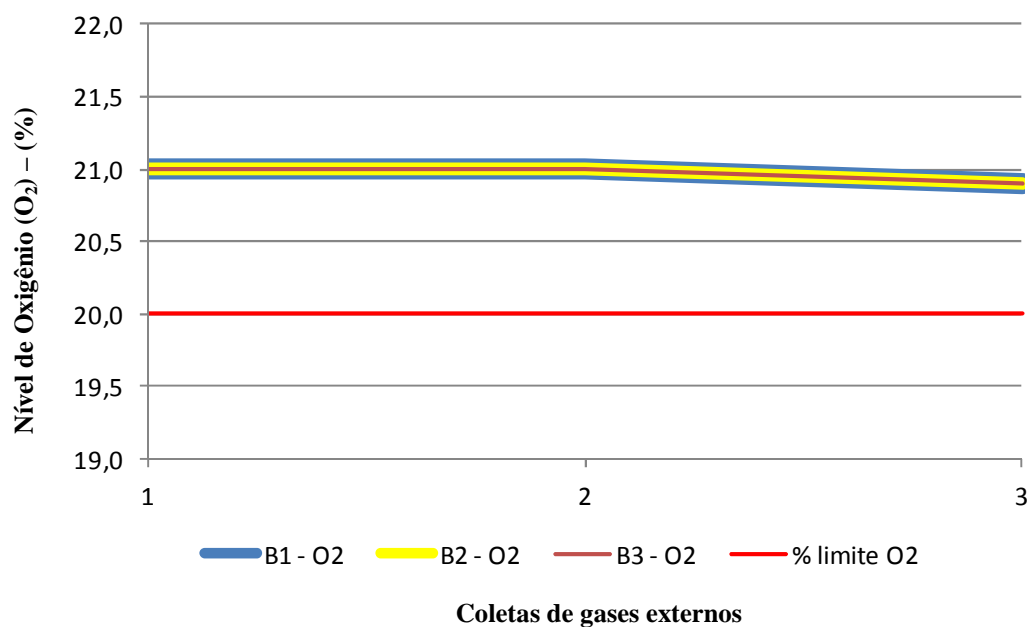


Figura 5.33: Gráfico da concentração de oxigênio (O₂) no ambiente externo localizado nas três barreiras: B₁, B₂ e B₃.

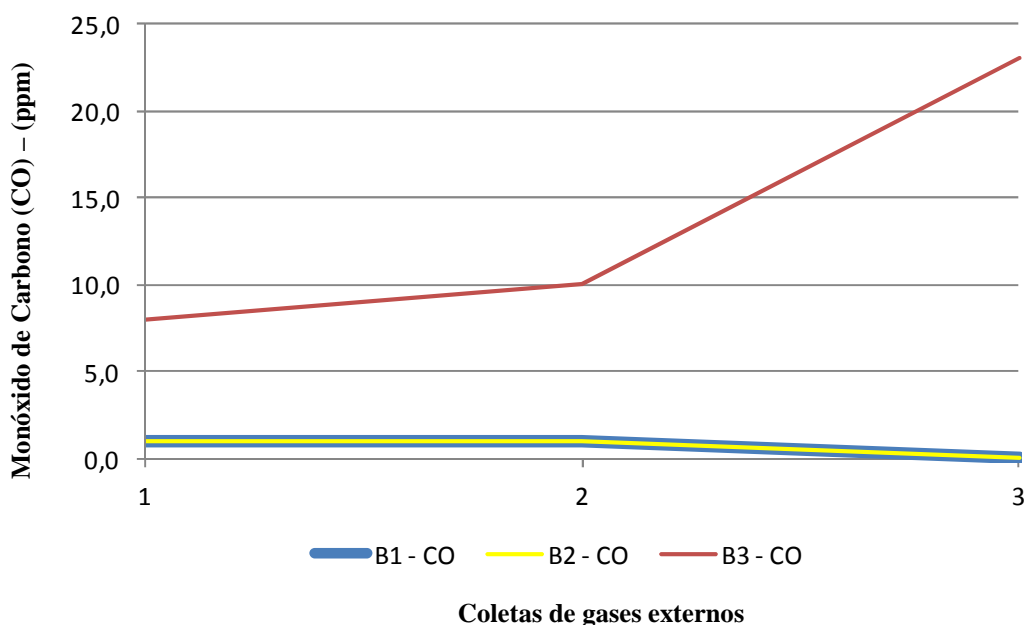


Figura 5.34: Gráfico da concentração de monóxido de carbono (CO) no ambiente externo localizado nas três barreiras: B₁, B₂ e B₃.

Nas três coletas de gases externos, o comportamento da concentração de oxigênio (O₂) praticamente permaneceu inalterado, sendo mantidos níveis acima de 20%. O monóxido de carbono (CO) teve uma pequena variação, sendo que o máximo de concentração foi registrado na 3ª coleta, próximo a barreira B₃, com 23 ppm. Não colocando em risco a vizinhança.

5.4.4.6 Colapso da estrutura

Para obter conhecimento aprofundado sobre o desempenho do estado limite último (ELU) e o mecanismo de ruína do sistema, optou-se por levar o ensaio até o colapso, sem intervenção por parte da brigada de incêndio, para obter dados mais abrangentes sobre o comportamento do sistema em situação de incêndio real.

O final do ensaio ficou caracterizado pelo colapso da estrutura, ocorrido às 10h08min, após 31 minutos de ensaio. A temperatura ambiente era de 24,3°C e o vento de 1,93 m/s com rajadas de até 2,42 m/s. Na Figura 5.35, é possível observar o momento logo após o colapso com vista natural e por meio do termógrafo.

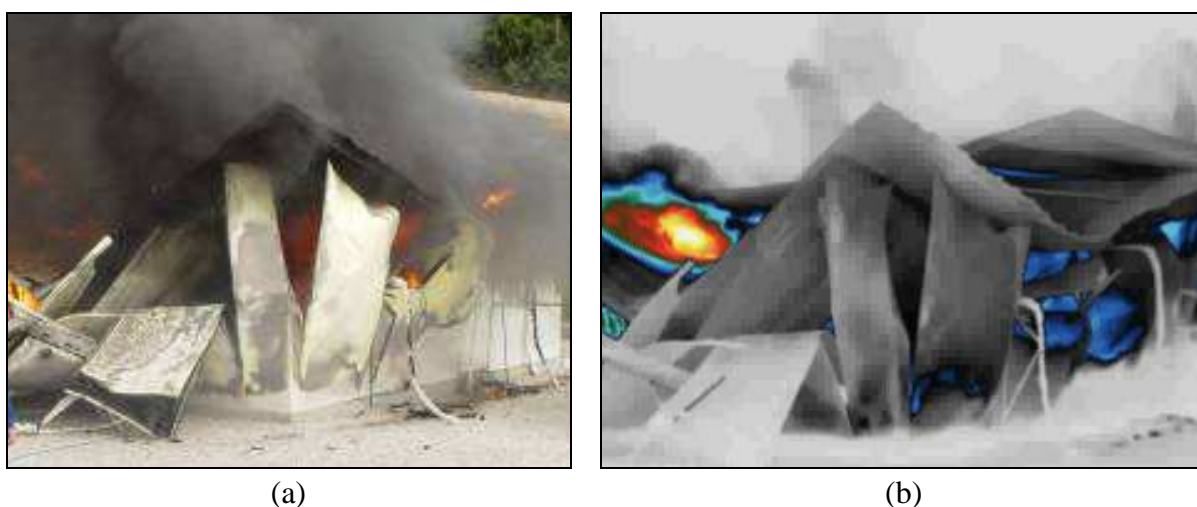


Figura 5.35: Vista logo após o colapso do protótipo: (a) vista natural e (b) vista do termógrafo.

5.4.4.7 Análise dos Resultados

A seguir apresenta-se a análise dos resultados focada nos objetivos do ensaio: possibilidade dos usuários escaparem com vida, extensão de danos à vizinhança e a estabilidade global da edificação frente à ação do fogo.

Tempo de fuga

Analisando os dados coletados, verifica-se que a qualidade do ar no interior do protótipo teve comportamento semelhante ao das temperaturas, sendo registradas concentrações reduzidas de gases nocivos nos primeiros 4 minutos do ensaio e mantidos níveis de oxigênio acima de 20%. No intervalo entre 4 e 7 minutos, ocorre uma mudança brusca na qualidade do ar no interior do protótipo, com a elevada concentração de gases nocivos a sobrevivência humana.

Evidenciou-se que o principal fator que explica a liberação de gases após 6 min30s de ensaio foi a ignição do EPS, núcleo das telhas sanduíche usadas no telhado. O restante do sistema apresenta um desempenho melhor frente ao fogo. Dessa forma, após a queima do EPS, as temperaturas e concentrações de gases se reduzem consideravelmente, até voltarem a aumentar somente após 19 minutos de ensaio.

A análise da dinâmica de evolução dos gases e das temperaturas indica que o tempo disponível para fuga do protótipo, em situação de incêndio é de, no máximo, 6min30s, a partir do início do incêndio, para a pior situação (portas dos dormitórios abertas para a sala/cozinha).

Tomando-se como base a IT 37 (2010) do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais que considera tempo máximo de saída de 2,5 minutos para edificações com grau de risco de propagação de fogo e fumaça, onde se conclui que o tempo de 6min30s é adequado para a fuga dos ocupantes da edificação do modelo D.

Danos à vizinhança

Os dados coletados indicam que o protótipo da edificação do modelo D apresenta um comportamento adequado quanto à vizinhança em caso de incêndio, pois as paredes laterais e o telhado não liberam fagulhas e pedaços incandescentes, que poderiam provocar a ignição de edificações habitacionais no entorno. Esses dados correspondem à pior situação que ocorre quando não há operação de combate ao incêndio.

Também foi avaliada a possibilidade das temperaturas geradas pelo protótipo, durante o incêndio, levar a autoignição os materiais de edificações vizinhas e a qualidade do ar no ambiente externo. As temperaturas geradas a 3,00 m do protótipo não são suficientes para provocar a autoignição de materiais de edificações próximas, constatou-se que as máximas temperaturas radiantes registradas pelos termógrafos ficaram em torno de 240°C, inferior ao patamar crítico que provoca a autoignição da maioria dos materiais de construção.

A qualidade do ar no entorno não foi degradada de forma marcante, apresentando níveis percentuais de oxigênio nunca abaixo de 20%, quantidade mínima de Oxigênio estabelecida como limite pela Norma Reguladora de Atividades e Operações Insalubres – NR 15 (2011) para ambientes saudáveis.

Estabilidade da estrutural

Segundo EN 1991-1-2 (2010) a resistência ao fogo é a capacidade de uma estrutura desempenhar as funções de suporte de cargas e/ou de compartimentação, para um nível de carga específico, quando sujeita a uma situação de incêndio específica e durante um período de tempo especificado.

O protótipo do modelo D entrou em colapso após 31 minutos do início do ensaio e 24 minutos de atuação plena do fogo. Tomando-se como base a ANBT NBR 14432 (2001) o tempo mínimo de resistência ao fogo deve ser de 30 minutos e a IT 8 (2004) do Corpo de Bombeiros de São Paulo estabelece que para edificações do mesmo porte do modelo D o tempo requerido equivalente de resistência ao fogo deve ser de 15 minutos.

Os tempos estipulados tanto pela ABNT NBR 14432 (2001) quanto pela IT 8 (2004) são para o tempo requerido equivalente de resistência ao fogo que está associado a ensaios laboratoriais de elementos (pilares, vigas, lajes, paredes), ou seja, tempos de resistência para parte da estrutura de uma edificação.

Para o protótipo do modelo D o tempo até o colapso foi 30 minutos e o tempo de ação plena do fogo foi de 24 minutos. Levando em consideração que a ABNT NBR 14432 (2001) estabelece 30 minutos e a IT 08 (2004) 15 minutos para os tempos requeridos, entende-se que o comportamento do protótipo pode ser considerado adequado para a resistência ao fogo.

Quanto ao ensaio de simulação em campo na escala real

A estratégia adotada para o ensaio de simulação de incêndio no protótipo de uma edificação na escala real (1:1), inédita no país, possibilitou obter resultados precisos, fidedignos e representativos sobre o comportamento do sistema em análise em situação real de incêndio. Considera-se que os resultados obtidos evidenciam que essa é uma estratégia adequada e confiável para avaliar habitações térreas isoladas em situação de incêndio, pois permite avaliar as interações entre as partes do sistema e não apenas os elementos isolados (pilar, viga, laje, paredes).

5.4.5 Proposições de Inovação ao Item de Desempenho Contra Incêndio estabelecido na NBR 15575 (2013)

Diante do exposto existe a possibilidade de melhorias a serem incorporadas na avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio para edificações isoladas até dois pavimentos. A seguir, são apresentadas proposições de inovação quanto à inclusão de requisitos, critérios e método de avaliação (ensaio experimental em campo) para avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio de edificações térreas isoladas.

As mesmas foram propostas e sistematizadas pela autora com o objetivo de superar limitações observadas na prática da avaliação de desempenho atual, e se baseiam no registro efetuado durante ensaio experimental desenvolvido, conforme descrito no item 5.4.4. Busca-se, dessa forma, contribuir para o avanço dos métodos de avaliação usados para avaliar o comportamento em situação de incêndio de edificações habitacionais térreas.

5.4.5.1 Proposição 1 – Com base nas possibilidades de monitoramento e coleta de dados decorrentes da adoção de um ensaio experimental, propõe-se a incorporação de novos requisitos, critérios e parâmetros de aceitabilidade, mais abrangentes e que avaliam o desempenho global da estrutura em situação de incêndio. A seguir se descrevem em maior detalhe as modificações propostas, e apresentam-se os novos limites mínimos sugeridos para orientar a avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio de edificações habitacionais tipo HIS térreas.

a) Requisitos:

- Os requisitos foram estabelecidos a partir do objetivo precípua da segurança contra incêndio, que é de garantir a estabilidade estrutural e das condições ambientais adequadas, durante o tempo suficiente, para a retirada segura das pessoas;
- Também foram utilizadas pesquisas publicadas pelos autores Arnaldos (2004), Oliveira (2005) e Codes (2008), que identificam que o maior risco à vida em situação de incêndio está associado à inalação de fumaça e de gases aquecidos e tóxicos, bem como pela deficiência de oxigênio. Essa afirmação também é confirmada pela “Estatísticas de Incêndios” do Corpo de Bombeiros de Porto Alegre-RS (2010) e no artigo publicado no *E-LP Engineering and Technology journal* por Primo (2013) onde relatam que a principal causa de morte, em um incêndio, é a intoxicação com a fumaça;
- Outro fator relevante levado em consideração para o estabelecimento dos requisitos, diz respeito à evolução tecnológica dos sistemas construtivos de edificações e dos próprios móveis e utensílios domésticos, utilizados atualmente, que acrescentaram um risco muito maior de incêndio, devido à inclusão de materiais sintéticos em suas composições, como por exemplo: isolantes térmicos, isolantes acústicos, colchões e roupas;
- Quanto ao foco do incêndio o Corpo de Bombeiros de Porto Alegre (2010) destaca que o local do início de incêndio não intencional, na grande maioria, ocorre na sala ou quarto, com a principal razão associada ao descuido com velas e aquecedores e Primo (2013) diz que o descuido é o grande responsável pelo início dos incêndios em edificações de habitações para a cidade do Porto

(Portugal), relacionando o foco do incêndio a velas, aparelhos de aquecimento, lareiras ou outras fontes de calor sem os necessários cuidados de segurança;

- Diante do exposto cria-se a necessidade de avaliar o desempenho global de edificações habitacionais térreas, isoladas, quanto à segurança contra incêndio, focado na:
 - o Reação ao fogo, na propagação de chamas e na resistência estrutural da edificação sob alta temperatura;
 - o Estanqueidade ao fogo e na fumaça, devido ao arranjo arquitetônico;
 - o Toxidade, na flamabilidade e nos limites de explosividade do material em pirólise.
- A resistência ao fogo dos elementos estruturais estabelecidos na NBR 15575 – Parte 1 (2013) está alinhada com os seguintes objetivos:
 - o Possibilitar a saída dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
 - o Garantir condições para o emprego de socorro público, onde se permita o acesso operacional de viaturas, equipamentos e seus recursos humanos, com tempo hábil para exercer as atividades de salvamento (pessoas retidas) e combate a incêndio (rescaldo e extinção);
 - o Evitar ou minimizar danos à própria edificação, às outras adjacentes, à infraestrutura pública e ao meio ambiente.

Foram utilizados o primeiro e o terceiro objetivo, citados acima, na composição dos requisitos de desempenho para avaliar edificações habitacionais térreas isoladas, conforme apresenta-se:

- **Requisito 1:** possibilidade dos usuários escaparem ao incêndio.
- **Requisito 2:** potencial de extensão de danos à vizinhança imediata do local de origem do incêndio.
- **Requisito 3:** estabilidade global da edificação para dar condições de saída dos ocupantes e acesso das operações do Corpo de Bombeiros.

b) Critérios:

- Foram estabelecidos três critérios mensuráveis correlacionados aos requisitos, conforme se descreve a seguir:

○ **Critério 1: qualidade do ar e temperatura no ambiente interno da edificação em situação de incêndio**

Correlacionado ao requisito 1 tem a finalidade de identificar os gases tóxicos, nível de oxigênio e a temperatura no ambiente interno a edificação em situação de incêndio. O objetivo deste critério é verificar possíveis danos aos seres humanos quanto a inalação de gases tóxicos, deficiência de oxigênio e as temperatura geradas para avaliar a saída dos ocupantes da edificação em condições de segurança.

○ **Critério 2: qualidade do ar externo e temperatura no ambiente externo a edificação em situação de incêndio.**

Correlacionado ao requisito 2 tem a finalidade de identificar os gases tóxicos, nível de oxigênio e a temperatura no ambiente externo a edificação em situação de incêndio. O objetivo deste critério é verificar possíveis danos a vizinhança quanto à inalação de gases tóxicos, deficiência de oxigênio e as temperaturas geradas para avaliar a extensão da fumaça aos vizinhos e verificar a possibilidade de autoignição de edificações vizinhas .

○ **Critério 3: estabilidade global da edificação.**

Correlacionada ao requisito 3 tem a finalidade de identificar o tempo mínimo necessário para dar condições de saída dos ocupantes e acesso do Corpo de Bombeiro na operação de combate ao incêndio.

c) Parâmetro de Aceitabilidade

- Os parâmetros de aceitabilidade estão associados à qualidade do ar interno e externo a edificação, a temperatura interna e externa à edificação e ao tempo mínimo necessário de estabilidade global da edificação frente à situação de incêndio.

Qualidade do ar interno e externo a edificação em situação de incêndio

- A NTP 65 – *Toxicología de compuestos de pirólisis y combustión* (1982) afirma que o principal causador das intoxicações e mortes produzidas durante os incêndios é o monóxido de carbono (CO). A Tabela 5.16 expressa a correlação da concentração do monóxido de carbono no ar e os efeitos fisiológicos no ser humano.

Tabela 5.16: Concentração de monóxido de carbono no ar e os efeitos nos seres humanos (NTP 65, 1982).

Concentração na Atmosfera	
55 m/m ³ (50 ppm)	TLV ¹⁴
0,0 1%	Exposição durante várias horas sem efeito.
0,04 – 0,05 %	Exposição durante 1 hora sem efeito
0,06 – 0,07 %	Produz efeitos apreciáveis ao fim de 1 hora
0,12 – 0,15 %	Efeitos perigosos ao fim de 1 hora
165 mg/m ³ (1500 ppm)	IPVS ¹⁵
0,40 %	Mortal ao fim de 1 hora

- Arnaldos (2004) é da mesma opinião quando diz que, dentre todos os outros gases tóxicos produzidos nos incêndios, é o monóxido de carbono (CO) o que mais mata, de tal maneira que se estima que por volta de 50% das causas de mortalidade são atribuídas aos seus efeitos.
- Oliveira (2005a) diz que qualquer exposição ao monóxido de carbono (CO) na qual o produto da concentração (expresso em ppm) pelo tempo (expresso em minutos) exceda a cifra de 35.000 ppm/min é provavelmente perigosa e causa incapacidade a maioria dos indivíduos a ela exposta.
- Para Miranda (2006) o limite de tolerância do monóxido de carbono (CO) é de 40 ppm. O mesmo autor relata que uma concentração de monóxido de carbono (CO) no ambiente de cerca de 10 ppm pode determinar efeitos tóxicos após uma hora de exposição, e a concentração de 40 ppm pode ser fatal neste mesmo intervalo de tempo. A Tabela 5.17 apresenta concentrações de monóxido de carbono no ambiente em % e ppm e os sintomas nos seres humanos. A Norma Reguladora de Atividades e Operações Insalubres – NR 15 (2011) tem como limite de tolerância em ambientes de trabalho como campânula e eclusa uma concentração de monóxido de carbono (CO) de 20 ppm e de oxigênio (O₂) maior de 20%, conforme é apresentado pela Tabela 5.18.

¹⁴ TLV é o termo americano que tem o mesmo significado que o nosso “limite de tolerância” com a exceção de que o TLV é para 8 horas/dia, 40 horas/semana, e o “LT” brasileiro é para 8 horas diárias e 48 horas semanais, (REGAZZI, 2002).

¹⁵ IPVS (Atmosfera Imediatamente Perigosa à Vida ou à Saúde) é qualquer atmosfera que apresente risco imediato à vida ou produza imediato efeito debilitante à saúde, (Norma Reguladora – NR33, 2012).

Tabela 5.17: Concentração de monóxido de carbono (CO) no ambiente e sintomas nos seres humanos, (MIRANDA, 2006).

Proporção de CO no ar		%HbCO ¹⁶	Sintomas
%	ppm (ml/m ³)		
0,001	10	1	Sem sintoma
0,01	100	10	Ligeira cefaleia
0,05	500	30 – 40	Cefaleia intensa, vertigens, tendência ao colapso. Raramente fatal.
0,10	1000	50 – 60	Aceleração da respiração e do pulso, síncope ¹⁷ . Morte possível.
0,20	2000	65 – 70	Depressão da respiração, coma. Morte habitual.
0,50	5000	80 – 90	Morte rápida.

Tabela 5.18: Limite de tolerância a contaminantes, (NR 15, 2011)

Contaminante	Limite de tolerância
Monóxido de carbono	20 ppm
Dióxido de carbono	2.500 ppm
Óleo ou material particulado	5mg/m ³ (PT>2Kgf/cm ²) 3 g/m ³ (PT<2Kgf/cm ²)
Metano	10% do limite inferior de explosividade
Oxigênio	Mais de 20%

Temperatura interna e externa a edificação

- A radiação térmica provocada pelas altas temperaturas desenvolvidas durante um incêndio produzem efeitos no ser humano de acordo com o tempo de exposição. Segundo Dehann (2006) a evolução das temperaturas traz danos aos seres humanos que podem variar de uma simples dor ou ardência na pele até queimaduras de 2º grau, que podem levar a óbito. A Figura 3.34 apresenta efeitos da radiação térmica em sólidos densos como madeira, plástico e tecido humano em ar calmo a partir de 20 °C.

¹⁶ HbCO é a carboxiemoglobina, o limite para indivíduos não fumantes não pode ultrapassar o valor de 5%, (MIRANDA, 2006).

¹⁷ Síncope é a perda temporária da consciência, devido à má irrigação sanguínea cerebral, (FERREIRA, 2008) Aurélio.

<i>Source</i>	<i>Radiant Heat Flux (\dot{q}'') (kW/m²)</i>	<i>Equilibrium Surface Temperature*</i>	<i>Observed Effect</i>
Direct summer sun	1	100°F (40°C)	None
Distance from fireplace	2–4	120°F (45°C)	Pain after 30 s
Proximity to fireplace	4–6	130°F (54°C)	Pain after 8–10 s 2nd degree burns to skin 20–30 s
Near proximity to fireplace	10	200–300°F (100–200°C)	Scorching of some materials Melting of some thermoplastics
Face of fireplace	20	400–500°F (200–300°C)	Some cellulose and synthetics ignite in < 60 s
Inside of fireplace	30	600–800°F (300–400°C)	Autoignition of many fuels in 0–30 s (wood in > 60 s)
Adjacent to flames	50	800°F (400°C)	Autoignition of nearly all materials in < 5 s
Post-flashover	120–150	>800°F (>500°C)	Rapid combustion

*Estimated from various sources including ASTM E1321-97: Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties.

Figura 5.34 – Efeitos da radiação térmica em sólidos densos (madeira, plástico, tecido humano) em ar calmo – 20 °C, (DEHAAN, 2006)

- A temperatura externa no entorno de uma edificação em situação de incêndio pode gerar a autoignição da edificação vizinha. A Tabela 5.19 apresenta alguns exemplo de materiais e as temperaturas de ignição e autoignição.

Tabela 5.19 – Temperaturas de ignição e autoignição de alguns materiais, SILVA (2010).

Materiais	Temperatura de Ignição [°C]	Temperatura de Autoignição [°C]
Algodão	210	400
Lã	220	260
Papel	200 - 250	220 - 260
Madeira de Pinho	230 - 300	260 - 300
Poliestireno Expandido	280 - 360	480
Poliuretano Rígido Expandido	320 - 420	420 - 550

Estabilidade global da edificação

- Em ensaios de incêndio laboratoriais se toma o tempo equivalente de exposição ao fogo. Para a ABNT NBR 14432 (2001) o tempo requerido de resistência ao fogo é o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quanto sujeito ao incêndio–padrão e IT 03 (2004) conceitua como sendo o

tempo de duração de resistência ao fogo dos elementos construtivos de uma edificação estabelecido em normas.

- Segundo a EN 1991-1-2 (2010) o tempo equivalente de exposição ao fogo é o tempo de exposição à curva de incêndio padrão supostamente com o mesmo efeito de aquecimento de um incêndio real no compartimento. A mesma norma conceitua a análise global para ação de incêndio como a análise da estrutural de toda a estrutura quando, quer a estrutura completa, quer apenas parte dela, está exposta ao fogo. As ações indiretas de incêndio são tidas em conta em toda a estrutura
- As edificações habitacionais térreas isoladas de acordo com a ABNT NBR 14432 (2001) enquadram-se no Grupo A-1 (Ocupação ou Uso Residencial - unidades unifamiliares) e quanto a altura é P₁ (casas térreas ou de dois pavimentos até 6 metros) e o tempo requerido de resistência ao fogo para elementos construtivos é de 30 minutos.
- A IT 08 (2004) classifica edificações habitacionais térreas isoladas como A-1 e P₁ com as mesmas características da ANBT NBR 14432 (2001) e estabelece que o tempo requerido de resistência ao fogo para edificações deste porte não podem ter valores inferiores a 15 minutos.
- Em casos de incêndio real não se analisa apenas um elemento construtivo isolado e sim a estabilidade global da edificação. Assim se pode trabalhar com um tempo corrido calculado a partir do momento em que o fogo se encontra atuando plenamente, até o colapso da estrutura.
- Kirk e Dehann (2007) publicaram testes teste de fogo em compartimento (quarto) na escala real (1:1) realizado por *Building Research Establishment* (BRE) em 1991, onde mostram que um incêndio na escala real tem, em média, um tempo corrido de duração de 30 minutos e que o *flashover*¹⁸ acontece após 10 minutos do início do incêndio, conforme pode ser observado na Figura 5.35.

¹⁸ Combustão generalizada: ignição simultânea de todos os elementos combustíveis num compartimento, EN 1991-1-2 (2010).

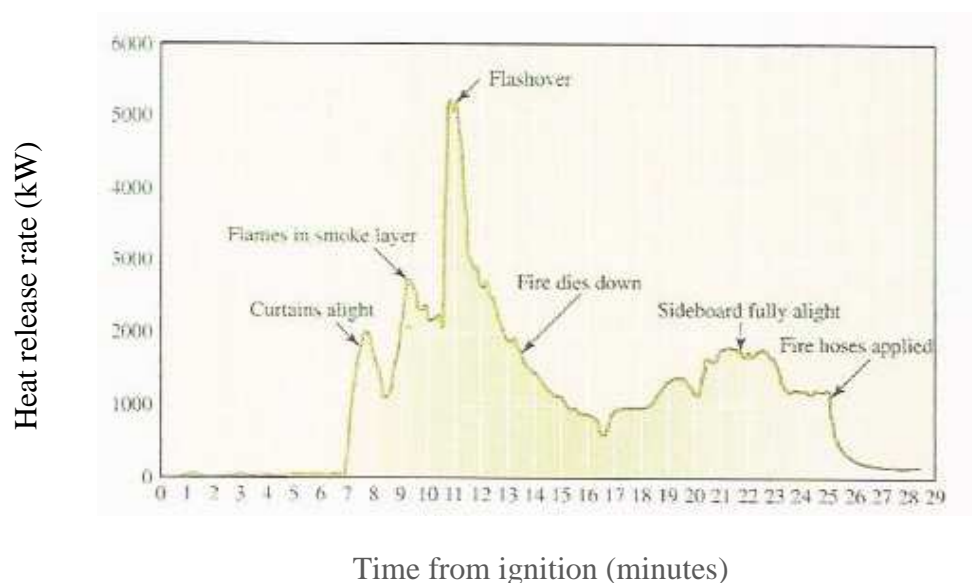


Figura 5.35 - Curva de liberação de calor para ensaio teste de fogo em compartimento (quarto) na escala real (1:1) realizado pelo BRE, Garston, U.K¹⁹, (KIRK e DEHANN, (2007).

Diante do exposto foram adotados parâmetros de aceitabilidade e estabelecidos limites para cada parâmetro. A Tabela 5.20 apresenta os limites mínimos para cada parâmetro de aceitabilidade e a Tabela 5.21 apresenta um resumo da correlação entre os três fatores para avaliação de desempenho de edificações habitacionais térreas, isoladas, frente à ação do fogo.

5.4.5.2 Proposição 2 – Incluir um ensaio experimental em campo de simulação de incêndio, escala real (1:1) à NBR 15575 (2013) como alternativa para avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio de edificações térreas isoladas.

O ensaio foi concebido com a finalidade de obter dados experimentais suficientes para subsidiar uma análise da dinâmica de incêndio em um protótipo representativo do sistema construtivo de uma edificação habitacional com o objetivo de avaliar: a possibilidade dos usuários escaparem do incêndio, a extensão sobre a vizinhança e quanto a estabilidade global da edificação.

A estratégia utilizada para compor o ensaio foi instrumentar um protótipo de edificação, escala real (1:1), e submetê-lo a uma condição de incêndio induzido. Ensaios em real

¹⁹ U.K.: Reino Unido

grandeza são extremamente raros devido ao custo e complexidade, mas são os únicos que podem fornecer dados reais sobre a dinâmica de evolução do incêndio e a resposta do sistema construtivo. O Apêndice D apresenta uma proposta de procedimento de ensaio experimental em campo de simulação de incêndio na escala real (1:1).

Tabela 5.20 – Limites mínimos para os parâmetros de aceitabilidade adotados para os critérios de desempenho de edificações habitacionais térreas.

Parâmetro de Aceitabilidade		Limite Mínimo
Qualidade do ar	Interno	O nível de oxigênio (O ₂) no interior do protótipo da edificação não pode ser < 20%, NR15 (2006). A concentração de monóxido de carbono (CO) no exterior não pode ser ≥ 40 ppm, Miranda (2006).
	Externo	O nível de oxigênio (O ₂) no exterior do protótipo não pode ser < 20%, NR15 (2006); A concentração de monóxido de carbono (CO) no exterior não pode ser ≥ 0,01% ou 100 ppm, (NTP 65, 1982 e MIRANDA, 2006).
Temperaturas externas à edificação até um raio máximo de 3 metros		As temperaturas máximas radiantes não podem ser superiores ao patamar crítico que provoca a autoignição dos materiais de construção civil T(exterior a 3 metros) ≤ 260°C, PURCOM® (2010).
Tempo mínimo de estabilidade global da edificação		Tempo corrido de 30 minutos (KIRK e DEHAAN, 2007).

Tabela 5.21 – Requisitos, critérios e parâmetros de aceitabilidade para avaliação de desempenho contra incêndio de edificações habitacionais térreas, isoladas.

Requisito	Critério	Parâmetro de aceitabilidade e limites
Possibilidade dos usuários escaparem ao incêndio	Qualidade do ar interno da edificação	O ₂ > 20% CO ≤ 40 ppm
Potencial de extensão de danos à vizinhança imediata do local de origem do incêndio	Qualidade do ar externo	O ₂ > 20% CO ≤ 100 ppm
	Temperatura externa	T(exterior a 3 metros) ≤ 260°C
Estabilidade global da edificação para dar condições de saída dos ocupantes e acesso das operações do Corpo de Bombeiros.	Tempo mínimo corrido até falha global (ruína)	30 minutos

Capítulo 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse capítulo resume as principais considerações e apresenta as conclusões derivadas do trabalho realizado. Além disso, apresenta algumas sugestões para trabalhos futuros.

O levantamento bibliográfico efetuado pela autora indicou que existem lacunas de conhecimento e de disseminação no meio técnico das técnicas de EED propostas na NBR 15575 (2013) e uma ausência de estudos detalhados sobre a influência de parâmetros de aceitabilidade e seus limites sobre correlações entre procedimentos de ensaio e sobre faixas esperadas de resultados.

A realização desse tipo de análise é vista como fundamental para dar suporte à implementação da NBR 15575 (2013). Por isso, se justifica a realização do presente estudo, que se baseou numa meta-análise dos dados do acervo técnico LEME/UFRGS.

Essa tese se propõe, de forma pioneira dada a recente entrada em vigor da NBR 15575 (2013) (julho de 2013), a reavaliar práticas atuais e estruturar proposições de avanço nas metodologias experimentais da NBR 15575 (2013), com o intuito de contribuir para maior qualidade, robustez e precisão na avaliação do desempenho de edificações, especialmente as HIS térreas, que constituem uma importante parcela do mercado atual da construção civil, impulsionado pelo Governo Federal por meio do programa Minha Casa Minha Vida.

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de apresentar as conclusões e recomendações, cabem fazer algumas considerações sobre a natureza, contribuições e aprendizados do presente trabalho.

6.1.1 Considerações sobre o escopo do trabalho

Diversas análises e manifestações recentes indicam que a norma NBR 15575 (2013) deve se constituir como um importante divisor de águas na evolução da construção do Brasil. A consolidação da noção de desempenho e o estabelecimento de requisitos bem definidos e

claramente estipulados estão provocando uma verdadeira revolução, que impacta desde a concepção, o projeto, a execução e até a conservação de edificações. Para que todo o potencial da norma efetivamente seja alcançado, é necessário que a mesma seja aceita e mantida como uma referência respeitada.

Dada sua complexidade e a ausência de conhecimento prévio bem estruturado sobre alguns dos aspectos fundamentais de interesse, existe uma necessidade de avaliação e revisão permanente dos critérios e especificações da norma, para que se possa ir, gradualmente, melhorando e ajustando o escopo e as exigências normativas.

Visando cooperar com esse relevante e fundamental processo, a presente pesquisa foi concebida com o intuito de contribuir técnica e cientificamente para o avanço das metodologias de avaliação experimental de requisitos de desempenho de sistemas construtivos. Em particular, dada a grande demanda gerada pelo programa Minha Casa Minha Vida, se tomou como foco para o trabalho a melhoria da avaliação de desempenho de edificações HIS térreas.

A proposta de desenvolvimento da tese envolveu, inicialmente, uma revisão da evolução da norma NBR 15575, entre as versões 2008 e 2013, focada nos métodos de avaliação de desempenho, para análise de suas exigências e a identificação de quais requisitos demandam avaliação por meio de ensaios experimentais.

Em seguida, dentre todos os itens considerados na norma, foram selecionados quais seriam os ensaios de interesse para o presente trabalho, com base na experiência acumulada na realização de vários ensaios em edificações HIS térreas acompanhados pela autora e disponíveis no acervo técnico do LEME/UFRGS.

Esse conjunto de ensaios de interesse incluía aqueles nos quais foram detectados problemas ou oportunidades de avanço, seja no procedimento experimental, nos equipamentos, nos requisitos e critérios ou nos parâmetros de aceitabilidade e seus limites.

É importante destacar que a estratégia de abordagem escolhida se baseou na realização de uma meta-análise (ou seja, na reanálise de dados disponíveis) ao invés de em um novo programa experimental, desenhado particularmente para o trabalho. Embora mais complexa e desafiante, a realização de trabalhos dessa natureza está se tornando cada vez mais frequente e é uma das demandas fundamentais do meio científico para que se possa extrair mais valor dos dados acumulados e consolidar o conhecimento em varias áreas onde se dispõem de muitos dados experimentais.

Com base nessa meta-análise, a autora desenvolveu uma análise crítica detalhada de cada ensaio selecionado e elaborou, de forma estruturada, propostas de mudanças e adaptações, justificando os motivos para sua adoção. Todo o esforço foi articulado de forma a valorizar e incrementar as potencialidades de uso dos ensaios experimentais da NBR 15575 (2013).

A hipótese de trabalho fundamental foi que avanços nas metodologias de EED resultariam em dados mais precisos e melhor representação do comportamento esperado em uso dos sistemas construtivos propostos para construção de edificações HIS térreas.

6.2 RESULTADOS E APRENDIZADOS PRINCIPAIS

Para testar a hipótese de trabalho apresentada nos itens anteriores, se estabeleceu uma estratégia de abordagem com três etapas básicas:

- Na primeira etapa, foram levantados e analisados os EED recomendados na NBR 15575 (2013), aplicáveis hoje a Edificações HIS Térreas. Para tanto, foi efetuado um mapeamento dos métodos de avaliação da NBR 15575 (2013);
- Numa segunda etapa, foram coletados e analisados dados do acervo técnico do LEME/UFRGS (complementados, quando necessário, por dados da literatura e por resultados de ensaios adicionais realizados em modelos de edificações térreas), visando identificar dificuldades e lacunas de conhecimento na aplicação de alguns ensaios. Paralelamente, se desenvolveram critérios de análise da eficiência dos EED, que serviram de apoio para a seleção do conjunto de interesse: ensaio de ação de calor e choque térmico, ensaio de impacto de corpo mole em SVVE, ensaio de desempenho térmico em SVVE e ensaio de simulação de incêndio em campo para protótipo de edificação, em escala real (1:1);
- Na terceira etapa, a principal delas, a autora elaborou um conjunto de proposições de avanço nas metodologias do conjunto de EED selecionados, propondo ajustes e a incorporação de novos métodos, com o intuito de qualificar a avaliação de desempenho de edificações HIS térreas à luz da NBR 15575 (2013).

Os principais aprendizados de cada etapa do processo são discutidos a seguir.

6.2.1 Considerações sobre o uso de Ensaio Experimentais para Avaliação de Desempenho

O trabalho se iniciou com um detalhado exame dos requisitos de desempenho para edificações empregados pela CEF, que resultaram na criação da NBR 15575 e na evolução da norma até a consolidação e entrada em vigor da versão 2013. Esse exame evidencia que, desde o princípio, o uso de ensaios experimentais é um dos pilares fundamentais para operacionalização da norma.

A análise da literatura de Borges (2008 e 2012) e Thomaz (2013) efetuada pela autora indica que, em muitos casos, somente ensaios experimentais conseguem avaliar com precisão o desempenho em condições específicas, próximas das reais. Mais ainda, expõe que a adequada interpretação dos dados obtidos, através de ensaios experimentais, demanda que se considerem as múltiplas e diversas influências que podem afetar os resultados dos mesmos. Essa é uma tarefa complexa e que requer conhecimento de interdependência entre sistemas ensaiados. Por isso tudo, a revisão crítica e permanente das metodologias dos ensaios experimentais se torna necessária, buscando seu avanço e aperfeiçoamento.

6.2.2 Considerações sobre a Análise Crítica dos Ensaio Experimentais de Desempenho (EED) Recomendados na NBR 1557/2013

A análise crítica realizada nos EED recomendados na NBR 15575 (2013), com foco nas edificações HIS térreas, evidenciou que existem problemas de interpretação para alguns ensaios em função da falta de informação e detalhamento, bem como se constatou a falta de EED que auxiliem no conhecimento do comportamento em uso dos sistemas construtivos das edificações.

Esses aspectos prejudicam a avaliação de desempenho de edificações no contexto geral, pois dão margens à ocorrência de equívocos quanto à forma de proceder nos ensaios, sobre qual a norma a ser utilizada e, até, sobre a interpretação dos resultados.

O resultado da análise constatou que a eficiência dos EED depende diretamente da clareza do procedimento de ensaio, do detalhamento dos equipamentos e da adoção adequada de parâmetros de aceitabilidade e seus limites. E a avaliação contribuiu para elencar critérios de interpretação dos EED com o intuito de demonstrar o quanto estão sendo entendidos e compreendidos no momento de sua aplicação.

O trabalho buscou analisar criticamente os EED recomendados na NBR 15575 (2013) e propor avanço nas metodologias de um subconjunto dos mesmos onde foram diagnosticadas necessidades de ajuste. Esse diagnóstico foi baseado na meta-análise realizada nos dados do acervo técnico do LEME/UFRGS e orientado por critérios de interpretação, criados e adotados pela autora, relativos à aplicabilidade, exequibilidade, fidedignidade e representabilidade dos resultados e de adequabilidade.

O uso desses critérios de interpretação estruturou e objetivou a análise, mas deve-se salientar que os mesmos são embasados em interpretações subjetivas da autora, se constituindo numa visão da mesma acerca do problema.

Partindo-se desse princípio, foram identificados os EED recomendados na NBR 15575 (2013) que não atendiam aos critérios propostos (ensaios: ação de calor e choque térmico, impacto de corpo mole em SVVE, desempenho térmico por medição em campo), demandando ajustes.

Observou-se, durante a apreciação, que existe uma tendência de caráter originário das metodologias dos EED e dos parâmetros de aceitabilidade e seus limites, recomendados na NBR 15575 (2013), a sistemas construtivos que utilizam tecnologia convencional na sua composição e que, por muito, não são compatíveis às novas tecnologias atualmente introduzidas nos sistemas construtivos das edificações habitacionais.

Em princípio, para o problema postulado nesta tese, se recomenda ampliar e ajustar a gama de EED e os parâmetros de aceitabilidade e seus limites, a fim de agregar o maior número possível de sistemas construtivos, inovadores ou não, a ser avaliado quanto ao desempenho.

Cabe ressaltar, ainda, que os EED abordados nesta tese podem ser considerados uns dos primeiros a serem estudados com o intuito de aperfeiçoá-los. Essa postura deve repetir-se na medida que se aumenta a cultura de utilização de ensaios experimentais para avaliação de desempenho de edificações habitacionais.

6.2.3 Considerações sobre Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho (EED) para Avaliação de Desempenho em Edificações HIS térreas

A aplicação dos ensaios nos modelos de edificações HIS térreas, no qual se utilizaram, na grande maioria, protótipos de edificações na escala real (1:1), permitiu entender melhor como procedimento de ensaio e equipamentos afetam os resultados, bem como a falta de parâmetros de aceitabilidade e a adoção inadequada de limites podem comprometer a avaliação.

A seguir, apresentam-se as considerações a respeito das proposições de avanço de metodologias dos EED de ação de calor e choque térmico, impacto de corpo mole, desempenho térmico por medição em campo e em SVVE e ensaio de simulação de incêndio em campo, em protótipo de edificação HIS térrea isolada, na escala real (1:1), estudados nesta tese.

6.2.3.1 Considerações quanto ao Ensaio Experimental de Desempenho de Ação de Calor e Choque Térmico em SVVE

Foram A aplicação do ensaio de ação de calor e choque térmico, nos SVVE dos modelos D, E, F e G, possibilitou compreender melhor o que esperar como resultado em relação ao comportamento em uso de sistemas construtivos, inovadores ou não, a serem submetidos a temperaturas ambientais extremas e resfriamento brusco com água.

Constatou-se, como esperado, que o EED, por não possuir um histórico consistente de utilização e de disseminação de resultados, é bastante impreciso na descrição do procedimento de ensaio e no detalhamento dos equipamentos necessários para realizá-lo e, de certa forma, possui parâmetros de aceitabilidade insuficientes para uma avaliação de desempenho mais precisa.

Diante disso, fizeram-se proposições de avanço na metodologia do EED indicando as dimensões mínimas para os corpos de prova e a área mínima de exposição do corpo de prova ao aquecimento e resfriamento. Quanto aos equipamentos utilizados no ensaio, foi acrescentado o controle de temperatura e a vazão e pressão da água para o resfriamento, bem como foi orientada a reutilização a água.

Cabe destacar, em particular, que foi desenvolvido equipamento automático para radiar calor e jatos d'água para o ensaio. Considerando-se o ineditismo do equipamento, iniciou-se, junto ao INPI – Instituto Nacional de Propriedade Intelectual –, um pedido de patente relativo a um *“Equipamento de Radiação de Calor e Choque Térmico com resfriamento com jatos d'água”*, que, atualmente, se encontra na fase de solicitação de busca em bancos de patente do INPI.

Já quanto aos parâmetros de aceitabilidade, evidenciou-se que a forma da medição dos deslocamentos horizontais instantâneos adotados não representa o real deslocamento do corpo de prova e, conseqüentemente, não representa o deslocamento potencial que um sistema construtivo em condições reais de exposição poderá sofrer. Diante disso, propôs-se a fixação do defletômetro, medidor do deslocamento horizontal, em suporte independente do corpo de

prova e o confinamento das extremidades do corpo de prova, simulando situação próxima da real, por meio da utilização de pórtico metálico ajustável.

Identificou-se, pelos resultados dos ensaios, que o limite do parâmetro de aceitabilidade de deslocamento horizontal instantâneo (d_h) adotado na NBR 15575 (2013) encontra-se excessivo, evidenciado pelos resultados encontrados nos ensaios em diferentes sistemas construtivos, inovadores ou não, ficando próximo a 25% do limite adotado. Dessa forma, propôs-se diminuí-lo em 50%, passando de $d_h < h/300$ para $d_h < h/600$.

Constatou-se, também, que apenas o deslocamento horizontal instantâneo (d_h) como parâmetro de aceitabilidade não é suficiente para avaliar o comportamento do sistema construtivo e propôs-se acrescentar o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) e o ensaio de estanqueidade à água da chuva a ser aplicado no corpo de prova, antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico.

Propôs-se, portanto, para o deslocamento horizontal residual (d_{hr}), um limite de $d_{hr} < h/3000$, baseado na correlação entre limites adotados na NBR 15575 (2013) – Parte 4 quanto ao desempenho estrutural frente a impactos de corpo mole, que estabelece uma relação de 1/5 entre o d_h e o d_{hr} e, principalmente, nos resultados dos ensaios de ação de calor e choque térmico que evidenciaram um ótimo comportamento dos sistemas construtivos, PESADOS e LEVES, para o deslocamento horizontal residual ficando, em média, em 10% do limite proposto de $d_{hr} < h/3000$.

Embora não se tenha feito proposições quanto à inspeção visual e aos números de ciclos estabelecidos a que um corpo de prova deva ser submetido, observou-se, nos ensaios realizados, a necessidade de critérios, parâmetros e limites para melhor avaliá-los nas inspeções visuais, principalmente direcionados a pontos críticos da composição do sistema construtivo ensaiado. Em particular, no modelo D, foi constatado, durante inspeção visual, que ocorreu degradação nos corpos de prova, demandando uma análise minuciosa nos resultados do ensaio auxiliar de compressão excêntrica, que manifestou similar degradação, para identificar se a degradação sofrida no ensaio de ação de calor e choque térmico interferiria ou não nas condições de uso do mesmo.

Em relação às proposições propostas, acredita-se que contribuem significativamente para que o ensaio de ação de calor e choque térmico possa levar em conta as inter-relações de efeitos, permitindo uma melhor estimativa de comportamento em uso do sistema construtivo, inovadores ou não.

6.2.3.2 Considerações quanto ao Ensaio Experimental de Desempenho de Impacto de Corpo Mole em SVVE

O ensaio foi aplicado ao SVVE dos modelos A, B, C e D e permitiu melhor entendimento e compreensão do comportamento desses sistemas frente a impactos acidentais, intencionais ou não. Embora, o ensaio de impacto de corpo mole recomendado na NBR 15575 (2013) tenha um histórico satisfatório de utilização e de disseminação de resultados, apresentou lacunas no procedimento de ensaio e incoerência no limite do parâmetro de aceitabilidade quanto ao deslocamento horizontal instantâneo (d_h) para sistemas LEVES com função estrutural.

Constatou-se que o ensaio é impreciso na descrição do procedimento de ensaio, tendo como consequência resultados não fidedignos ao comportamento em uso do SVVE. Com o intuito de promover o ajuste, neste ensaio; propôs-se incorporar ao procedimento as dimensões mínimas para os corpos de prova e a forma como os mesmos devem ser fixados, quando o ensaio é realizado em laboratório.

No que diz respeito ao limite adotado na NBR 15575 (2013) para o parâmetro de aceitabilidade de deslocamento horizontal instantâneo (d_h) frente a sistemas LEVES com função estrutural, evidenciou-se que o limite adotado para $d_h \leq h/125$ é restritivo para sistemas construtivos flexíveis e resilientes, e propôs-se que apenas o limite de deslocamento horizontal residual ($d_{hr} \leq h/1250$) deva ser o parâmetro de aceitabilidade no nível de desempenho mínimo (M) para avaliação de desempenho quanto à segurança estrutural de SVVE LEVES, com função estrutural.

Cabe destacar que a proposição quanto aos deslocamentos horizontais, instantâneo e residual, (d_h e d_{hr}), para SVVE LEVES com função estrutural propostos nesta tese estão previstos para serem incorporados à Diretriz SINAT s/nº – *Sistemas Construtivos Formados por Painéis Pré-Fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido* –, com publicação prevista ainda para este ano.

Estima-se que as proposições devam ajudar para que o ensaio de impacto de corpo mole tenha resultados mais precisos e coerentes com o real comportamento em uso de diferentes sistemas construtivos.

6.2.3.3 Considerações quanto ao Ensaio Experimental de Desempenho Térmico por medição *in loco* ou em campo e o Novo Ensaio de Desempenho Térmico em SVVE

O ensaio de desempenho térmico por medição, *in loco* ou em campo, realizado nos modelos A, B e D, permitiu entender como diferentes composições de SVVE em conjunto com os demais sistemas da edificação (piso, cobertura, aberturas, entre outros), afetam os resultados do ensaio e constatar a importância de se conhecer o real comportamento em uso da edificação a condicionantes de exposição ambiental.

Destaca-se que este ensaio é reconhecido na NBR 15575 (2013) como meramente informativo, não se sobrepondo a procedimentos de simulação computacional e simplificado, método de cálculo para transmitância térmica e capacidade térmica em SVVE e coberturas, conforme estabelecido pela mesma.

O ensaio não apresenta falhas de entendimento e compreensão do procedimento e equipamentos, sendo de fácil aplicação, adequado a diferentes sistemas construtivos e apresenta resultados fiéis e representativos do comportamento em uso da edificação. Todavia, é um ensaio oneroso por precisar de um protótipo da edificação em escala real (1:1), e seus resultados, embora precisos, são restritos ao local de aplicação do ensaio em função das condicionantes de exposição ambiental.

Outro fator importante deste ensaio diz respeito aos parâmetros de aceitabilidade, temperaturas internas para inverno e verão e seus limites admissíveis. Foi constatado que as temperaturas internas para condições de inverno têm seu limite para as zonas bioclimáticas 1 a 5, estabelecido na NBR 15575 (2013) com o nível mínimo de desempenho sendo a temperatura interna da edificação igual a temperatura externa acrescida de 3°C, $[T_{i,min} \geq T_{e,min} + 3^{\circ}C]$.

Identificaram-se, pelos resultados dos ensaios, que as temperaturas internas podem ser consideradas baixas para edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 1 a 3, as mais frias do Brasil. As temperaturas internas registradas ficaram entre 10,3°C e 19°C. Embora, 19°C possa ser considerada uma temperatura agradável aos seres humanos, Reid (1992), o RCCTE 80 (2006) a considera baixa para edificações habitacionais, e muito mais baixa, ainda, a temperatura de 10,3°C, que implica na presença de fonte interna de calor para o aquecimento do ambiente e, por consequência, em um gasto mais elevado de energia e, possivelmente, eleva o risco de incêndios.

Diante do exposto, faz-se a proposição de incorporar o ensaio de desempenho térmico por medição em campo como método efetivo de avaliação de desempenho de edificações, visto que se mostrou um método eficaz para determinar o comportamento em uso de edificações frente às condições de exposição ambientais.

Também é proposto o aumento da temperatura interna nas edificações para as condições de inverno, nas zonas bioclimáticas 1 a 3, com acréscimo de 2°C nos limites estabelecidos na NBR 15575 (2013), elevando as temperaturas internas, em média, de 15°C para 17°C, minimizando meios alternativos de aquecimento do ambiente interno das edificações, revertendo em economia de energia.

Portanto, entende-se que o ensaio de desempenho térmico por medição em campo tem papel fundamental na avaliação de desempenho de edificações habitacionais, merecendo maior destaque na NBR 15575 (2013), não apenas como método informativo, mas como método efetivo de avaliação de desempenho de edificações HIS térreas.

Outra questão abordada e discutida nesta tese diz respeito à proposta de incorporar à NBR 15575 (2013) o ensaio de desempenho térmico em SVVE, visto que a mesma não se refere a métodos experimentais para o conhecimento prévio do comportamento em uso do sistema. Para tanto, foram utilizados os dados dos ensaios de desempenho térmico em SVVE realizados nos modelos B e C a fim de demonstrar a eficiência do ensaio e a importância dos resultados como auxílio na tomada de decisão do tipo de sistema construtivo a ser aplicado a determinadas situações.

O LEME/UFRGS realiza este ensaio há mais de dez anos, com larga experiência em desempenho de SVVE para HIS térreas, em linha com as exigências da CEF. Os resultados evidenciam que este ensaio é capaz de reproduzir o comportamento em uso de SVVE frente a temperaturas de calor ambientais severas e, de certo modo, levar de forma rápida e precisa a interpretação dos resultados em relação ao comportamento térmico de SVVE.

Constatou-se, no ensaio dos SVVE dos modelos B e C, que os sistemas ensaiados possuem um excelente desempenho térmico, apresentando comportamento similar de isolante térmico, onde a variação de temperatura entre as faces (aquecida e não aquecida) ficaram em 63,6°C e 66,6°C para os modelos B e C, respectivamente.

Conclui-se que as proposições apresentadas têm caráter de auxiliar a avaliação de desempenho térmico, tornando-a mais eficaz quando da estimativa do potencial comportamento das edificações HIS térreas.

6.2.3.4 Considerações quanto ao Novo Ensaio Experimental de Desempenho de Simulação de Incêndio em Campo para protótipos de edificações HIS térreas, em escala real (1:1)

O ensaio de simulação de incêndio em campo foi aplicado ao protótipo de edificação do modelo D e permitiu obter uma visão holística e precisa do comportamento da edificação frente à ação do fogo. Os requisitos, os critérios e os parâmetros de aceitabilidade e seus limites, elaborados para o ensaio, apresentam inter-relação e atendem às principais demandas quanto à segurança contra incêndio, estabelecidas na NBR 15575 (2013).

O ensaio permite avaliar as interações entre os sistemas construtivos da edificação e coletar dados sobre a segurança estrutural (estabilidade da edificação) e a evacuação dos usuários (registro de temperaturas e distribuição de fumaça, gases tóxicos e nível de oxigênio no interior do protótipo, dados raros e de grande valia que permitem avaliar qual o tempo real de evacuação disponível para a fuga dos usuários e a evolução dos gases nocivos à sobrevivência humano gerados durante um incêndio real).

O ensaio também avalia possíveis danos à vizinhança (registro das temperaturas, dos gases tóxicos e do nível do oxigênio na área externa ao protótipo, dados que permitem avaliar a possibilidade de autoignição de edificações vizinhas e a qualidade do ar externo). A adoção da estratégia de ensaio possibilita obter resultados fidedignos e confiáveis sobre o comportamento da edificação em situação real de incêndio, pois reproduz a dinâmica de fogo completa e permite analisar o desempenho efetivo de edificações térreas isoladas em situação de incêndio.

Infelizmente, em função dos elevados custos envolvidos e a escassez de equipes qualificadas para realização desse tipo de ensaio, o mesmo ainda não se justifica economicamente para sistemas construtivos com tecnologia convencional, embora a realização desse tipo de ensaio seja fundamental para obter dados efetivos sobre segurança contra incêndio e para fornecer um padrão de referência para comparação com os sistemas inovadores.

Quanto a aplicação do ensaio, em particular, o realizado no protótipo do modelo D, evidenciou-se que a forma escolhida é uma das mais agressivas, visto que a combustibilidade de móveis (sofás) e cortinas, além da proximidade da janela com o foco do incêndio, faz com

que o fogo tenha excelentes condições de desenvolvimento, em termos de presença de combustível e comburente (oxigênio).

Destaca-se que um princípio de incêndio numa instalação elétrica ou numa cozinha teria desenvolvimento bem mais lento. Dessa forma, considera-se que a forma de ignição escolhida representa um cenário pessimista, pois supõe-se, inclusive, que não haveria tentativa de combate, pois os usuários estariam dormindo. Ademais, segundo as Estatísticas de Incêndio (2010) do Corpo de Bombeiros de Porto Alegre/RS e de Primo (2013), o uso de velas para iluminação ou por razão religiosa é efetivamente uma das causas mais frequentes de incêndio em edificações, especialmente, em HIS térreas.

Quanto à estabilidade da edificação, estima-se que o tempo de 31 minutos até o colapso foi suficiente para o sistema construtivo, visto que esse resultado não tem influência nenhuma sobre a segurança dos ocupantes da edificação, porque, muito antes disso, já não existem condições de sobrevivência devido à fumaça e ao calor. Os tempos requeridos em outros tipos de ensaios são normalmente aplicáveis a edificações de vários pisos, onde é necessário garantir a evacuação e o acesso das equipes de combate a incêndio.

Também, ressalta-se o fato, em particular, de que praticamente não foram liberadas fagulhas aéreas, e o colapso do protótipo não provocou espalhamento de material em combustão no entorno da edificação, o que representaria risco às edificações lindeiras. Em relação às temperaturas no entorno do protótipo, constatou-se que, em nenhum momento do ensaio, tiveram valores a ponto de induzir a autoignição de edificações vizinhas, e, quanto ao resultado da análise da qualidade do ar externo, evidenciou-se que o nível de oxigênio, durante o ensaio, não baixou de 20%.

A fumaça gerada no interior do protótipo, inicialmente, causada pela combustão de materiais poliméricos e celulósicos existentes na mobília e próximo ao foco do incêndio atinge pequenos níveis tóxicos e pode ameaçar a segurança dos ocupantes. Mas, de fato, a ignição das telhas da cobertura, aos sete minutos, agrava consideravelmente a situação, devido à forte liberação de calor e fumaça.

As temperaturas no interior do protótipo tiveram comportamento semelhante ao da qualidade do ar interno. Até os quatro minutos iniciais, o incêndio gerou temperaturas amenas, e o nível de oxigênio ficou superior a 20%, na média. Já aos sete minutos de ensaio, as temperaturas apresentavam, na média, 57,3°C, a 1,20 m de altura, longe do foco do incêndio (quartos e

cozinha), os níveis de oxigênio ficaram abaixo de 20%, e a concentração de CO, elevadíssima.

Portanto, o tempo máximo aferido para evacuação do protótipo ficou em 6 minutos e 30 segundos, a partir do início do incêndio, tempo bem superior ao estipulado pela IT 37 (2013) do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais (MG), que indica tempo máximo de saída para edificações de grau de risco de propagação de fogo e fumaça em 2 minutos e 30 segundos.

Ensaio de incêndio são raros e, por isso, a maioria das pessoas não está, naturalmente, acostumada com a rapidez e a agressividade da dinâmica de um incêndio real. Para fins de comparação, cabe salientar que, em ensaios similares de incêndio em compartimentos realizados no NIST (2003), os tempos registrados desde a ignição, localizada, até a saturação com CO₂ e o *Flashover*, foram muito parecidos, e até inferiores, aos registrados no ensaio do protótipo do modelo D.

De fato, a experiência acumulada indica que o horizonte de tempo efetivo para o escape das zonas próximas ao ponto de ignição de um incêndio fica normalmente em torno do intervalo de 5 a 7 minutos.

Diante dos excelentes resultados obtidos com o ensaio de simulação de incêndio em campo para protótipo de edificações térreas isoladas, evidencia-se que este é um ensaio eficiente e eficaz para avaliar por completo o comportamento em situação de incêndio, pois permite uma análise do desempenho do conjunto e não apenas de seus elementos isolados.

Capítulo 7 – CONCLUSÕES

7.1 CONCLUSÕES

- A meta-análise realizada evidencia que os métodos experimentais são ferramentas úteis para avaliação de desempenho de sistemas construtivos, inovadores ou não. A revisão de dados de ensaios realizados pelo LEME/UFRGS indica que se pode obter resultados importantes para a tomada de decisão a respeito da utilização ou não de determinados sistemas. Ou seja, conclui-se que a adoção de estratégias de avaliação mediante a aplicação de EED é positiva e deve ser estimulada na norma de desempenho, pois pode contribuir positivamente para a qualidade e o desempenho das edificações geradas, incluindo edificações HIS térreas.
- Em geral, constata-se que os EED recomendados na NBR 15575(2013) são eficientes para comprovar o potencial comportamento em uso de sistemas construtivos. Porém, há necessidade de os mesmos estarem em constante evolução tecnológica, visto que a introdução de novos materiais à composição de componentes, elementos e sistemas construtivos às edificações habitacionais é uma realizada atual no cenário brasileiro.
- Os EED precisam de procedimentos de ensaio claros e da descrição detalhada de equipamentos para serem efetivos e proporcionarem resultados eficazes a fim de auxiliar a avaliação de desempenho com propriedade. O ensaio de ação de calor e choque térmico retrata muito esta situação, a falta de um histórico de aplicação do ensaio e da disseminação dos resultados gerou muitas dúvidas e, conseqüentemente, ajustes necessários para proporcionar melhores resultados.
- Os novos ensaios propostos como inovações à avaliação de desempenho comprovam a lacuna existente quanto à forma de avaliar os sistemas construtivos, atualmente estabelecida na NBR 15575(2013). O ensaio de desempenho térmico de SVVE estimula o conhecimento prévio do comportamento em uso do

elemento, principalmente para sistemas que utilizam novos materiais, ainda não caracterizados por vias normalizadas. Já em relação ao ensaio de simulação de incêndio em campo para protótipo, na escala real (1:1), mostrou-se ser completo e preciso para estabelecer um nível de segurança contra incêndio adequado à satisfação do usuário. A proposição de inclusão de novos ensaios à NBR 15575(2013) fortificou as opiniões de Borges (2012) e Thomaz (2103) quando dizem que o avanço nas metodologias de ensaio é essencial para avaliação de desempenho e, sem dúvida, para acompanhar a evolução tecnológica.

- Constatou-se que os EED se constituem em um meio rápido, preciso e confiável de prever o potencial comportamento em uso de sistemas construtivos.
- Em relação à infraestrutura laboratorial brasileira, conclui-se que há necessidade imediata de capacitação tanto a nível laboratorial como de recursos humanos para melhor servir à demanda gerada de avaliação de desempenho de edificação. Atualmente, no Brasil, são poucos os laboratórios que dispõem de uma infraestrutura adequada e de profissionais qualificados.

Essas conclusões deixam evidente o potencial dos EED para estimativa do comportamento em uso de sistemas construtivos, contribuindo significativamente para avaliação de desempenho de edificações. Acredita-se que esse comportamento promissor pode dar origem à concepção de muitos EED inovadores com o avanço tecnológico aplicado à construção civil.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho finaliza com a apresentação de algumas sugestões de desenvolvimento futuro no que diz respeito à investigação de aperfeiçoamento e de novos EED e de pesquisas referentes aos parâmetros de aceitabilidade e seus limites. Acredita-se que o prosseguimento dos estudos contribuirá para o aprimoramento e a consolidação da utilização de EED na construção civil, em especial, nas edificações habitacionais.

Dentre as várias pesquisas adicionais possíveis, sugere-se:

- Criação de uma rede para coleta de dados de EED realizados por outros pesquisadores em outras instituições, de forma a melhorar a abrangência do banco de dados e fomentar meta-análises mais amplas dos resultados obtidos através dos EED.

- Análise crítica dos demais EED propostos na NBR 15575(2013).
- Estudar o desenvolvimento de EED para análise de itens de desempenho da NBR 15575(2013) que não apresentam ensaios específicos para comprovar o atendimento ao requisito especificado, por exemplo, EED quanto ao desempenho higrotérmico.

REFERÊNCIAS

AMBIENTEC. (2010). **Análises Ambientais: qualidade do ar inalável**. Laboratório de emissões atmosféricas, análises químicas e ambientais.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM. (2007). **C 1155: Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data**, USA.

_____. (2007). **E 800: Standard Guide for Measurement of Gases Present or Generated During Fires**. USA.

_____. (2010). **1678: Standard Test Method for measuring Smoke Toxicity for Use in Fire Hazard Analysis**, USA.

ARNALDOS, D. B. (2004) **Atmósferas adversas creadas en la combustión de materiales de interiorismo**. Disponível em: <http://www.belt.es/expertos/experto.asp?id=2049>. Acessado em: 5/12/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. (2001) **NBR 5628: Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da resistência ao fogo**.

_____. (1989). **NBR 10636: Paredes Divisórias sem Função Estrutural – Determinação da Resistência ao Fogo: Método de Ensaio**.

_____. (2001) **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: Procedimento**

_____. (2005) **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**.

_____. (2005) **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**.

_____. (2008). **NBR 15575: Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais**.

_____. (2008) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas de estruturais**.

_____. (2008) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho Parte 4: Sistema de Vedações Verticais Externas e Internas**.

_____. (2008) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho Parte 5: Requisitos para Sistemas de Coberturas.**

_____. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais.**

_____. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas de estruturais.**

_____. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Piso.**

_____. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedação Verticais Internas e Externas – SVVIE.**

_____. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas.**

_____. **NBR 16055 (2012). Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações — Requisitos e Procedimentos.**

_____. **NBR 16401-2 (2008). Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.**

AVISON, D; LAU, F.; MYERS, M.; NIELSEN, P. A. (1999). **Action Research.** Communications of the ACM, January 1999/Vol. 42, No. 1. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.58.4732&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em 2013.

BARRET, P., SEXTON, M., LEE, A. (2005). **Performance Based Building Innovation.** PeBBu DOMAIN 8 FINAL REPORT, UK,

BATLOUNI NETO, J. (2007). **As transformações do Ambiente de Negócios e o Impacto sobre a Estratégia e Gestão de Empresas do Mercado de Construção.** V SIBRAGEC – Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~sibragec2007/prog-pdfs/sibragec2007-painel02-TECNUM.pdf>. Acessado em: 05/06/2010.

BATTAGIN, I. L. S. (2010). **Projetar para o Desempenho: Premissa básica da nova Norma da Construção Habitacional Brasileira.** Disponível em: <http://www.caudf.org.br/portal/images/CAU-DF/pdfs/PalestraInesBataggin.pdf>. Acessado em: 05/01/2011.

BAUER, E. (1987). **Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos: Uma Análise de Desempenho.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social Têrreas.

BECKER, R. (2001). **Implementation of the performance approach in the investigation of innovative building systems**. National Building Research Institute, Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

BERNARDES, G.G. (2011). **Processo de revisão da Norma de Desempenho. Seminário Sinduscon**. Disponível em: http://www.sinduscon-rio.com.br/doc/georgia_cbic.pdf. Acessado em: 27/04/2011

BLACHÈRE, G. (1969). **Savoir bâtir : habitabilité, durabilité, économie des bâtiments**. Disponível em: <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.b4321525>. Acesso em: 27/04/ 2011.

BORGES C. A. (2008). **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da USP.

_____. (2011). **Mudanças no CB-02**. Disponível em: <http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-mobiliario/103/entrevista-mudancas-no-cb-02-161193-1.asp>. Acesso em: 27/04/ 2011.

_____. (2012). **Norma de Desempenho: Aplicação do Conceito de Desempenho será Lenta e Gradual, Porém irreversível**. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/norma-de-desempenho-aplicacao-do-conceito-de-desempenho-sera-lenta-e-gradua>. Acessado em: 15/09/2012.

_____. (2013). **Norma de Desempenho entra em vigor**. Disponível em: <http://www.secovi.com.br/noticias/norma-de-desempenho-entra-em-vigor/5957/>. Acessado em: 31/01/2013.

BRIGADA MILITAR. (2010). **Estatística de Incêndio**. Corpo de Bombeiros da Brigada Militar de Porto Alegre/RS.

CEN – COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, (1999). **EN ISO 10456: Building materials and products - Hygrothermal Properties - Tabulated Design Values and Procedures for Determining Declared and Design Thermal Values**.

_____. (2000). **BS EN 12524: Building Materials and Products – Hygrothermal Properties – Tabulated Design Values**.

_____. (2002). **EN 1745: Masonry and Masonry Products – Methods for Determining Design Thermal Values**.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. (1995). **Prediction of service life of building materials and components**. CIB Report Publication 96

CODES, F. V.(2008). **Aspectos Físico-Químicos y Toxicológicos de las: Intoxicaciones en Fuegos e Incendio**. Disponível em: <http://personal.telefonica.terra.es/web/cienciaenpoesia/ciencia/fuegos/index.htm>. Acesso em: 30/11/2010.

COVELO SILVA, M. A. (1996). **Metodologia de Seleção Tecnológica na Produção de Edificações com o Emprego do Conceito de Custos ao Longo da Vida útil**. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.

_____. (2010). **Dilemas da Construção**. Revista da Construção, nº 92.

_____. (2011). **Desafios da Aplicação Prática do Conceito de Desempenho e seu Impacto na Qualidade das construções**. 4º Seminário de Patologia das Construções.

_____. (2013). **Especificação por desempenho e os dados de caracterização de desempenho disponibilizados pelos fabricantes**. Seminário: Projeto, especificações e controle de execução para atender a norma de desempenho de edificações.

DEHANN, J. D. (2006). **Kirk's Fire Investigation**. 6ª. ed. Prentice Hall PTR.

DIEHL, A. A. (2004). **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. Prentice Hall.

DIRETRIZ SINAT Nº 001 – REVISÃO 002. (2011). **Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local**. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php. Acessado em: 10/10/2011.

FACHIN, O. (2003). **Fundamentos de metodologia**. 4ª. ed. São Paulo: Saraiva.

FERREIRA, M. A. (1989). **Sistemas Construtivos Inovadores**. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/58100977/08-Sistemas-construtivos-inovadores>. Acessado em: 18/12/2011.

FERRERIA, A. B. H. (2008) **O Dicionário da Língua Portuguesa**. Curitiba: Ed. Positivo.

FORMOSO, C. T. (2009). **Introdução à Metodologia da Pesquisa**. Anotações de Aula.

GONÇALVES et al. (2003). **Normas Técnica para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitação**. Normalização e Certificação na Construção Habitacional. Coletânea Habitare, Vol. 3.

HAVAC. (2008). **Thermal Comfort by Innova**. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/26886870/HVAC-Handbook-Thermal-Comfort-by-INNOVA>. Acessado em: 12/08/2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). (1988). **Tecnologia de Edificações**.

Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social Têrreas.

_____. (1998). Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. Publicação IPT n. 156.

_____. (2000). **Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitações.**

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1984). **ISO 6241.** Performance standards in building -- Principles for their preparation and factors to be considered.

_____. (1998). **ISO 7726.** Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities. Geneva International Standards Institution.

ISAIA, G. C. (2011). **A Ciência e a Engenharia de Materiais de Construção Civil.** Concreto: Ciência e Tecnologia.

KIRK, P. L., DEHANN, J. D., (2007). **Kirk's Fire Investigation.** The Nature and Behavior of Fire (6th Edition)

KLAVDIANOS, D. (2012). **Norma de Desempenho define claramente papéis e responsabilidades na construção e conservação das obras.** Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/norma-de-desempenho-define-claramente-papeis-e-responsabilidades-na-constru>. Acessado em: 05/01/2013.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES – LABEÉE/UFSC. (2004). **Desempenho Térmico de Edificações. Aula12: Diretrizes Construtivas para Habitações no Brasil – NBR 15575.** Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%2012%20-%20NBR15575%2013%20-%20Diret%20const%20habit%20Brasil.pdf>. Acessado em: 05/05/2013.

LABORATÓRIO DE MODELOS E ENSAIOS ESTRUTURAIS – LEME/UFRGS (2002). **Laudo Técnico de Avaliação do Sistema.** Relatório Técnico nº 04.

_____. (2009). **Considerações sobre o Desempenho de Painéis de Concreto.** Relatório Técnico nº 01.

_____. (2009). **Considerações Sobre o Desempenho de Painéis de PVC Preenchidos com Concreto Leve com Adoção de EVA.** Relatório Técnico nº 22.

_____. (2009). **Considerações Sobre o Desempenho do Sistema Construtivo de Residência de Painéis de Concreto Armado quanto ao Conforto Térmico.** Relatório Técnico nº 29.

_____. (2010). **Considerações sobre o Desempenho de Painéis com Chapas de Aço Galvalume e preenchimento de Poliuretano.** Relatório Técnico nº 06

_____. (2010). **Ensaio de Compressão de Painéis com Chapas de Aço Galvalume e preenchimento de Poliuretano.** Relatório Técnico nº 22.

_____. (2010). **Considerações sobre o Desempenho de Edificação HIS Térrea em Situação de Incêndio.** Relatório Técnico nº 31.

_____. (2012). **Avaliação de Desempenho do Sistema Construtivo Residência de Concreto.** Relatório Técnico nº 01.

_____. (2012). **Avaliação de Desempenho do Sistema Construtivo de Residência de Concreto Armado quanto ao Conforto Térmico.** Relatório Técnico nº 02.

_____. (2012). **Considerações sobre o Desempenho quanto a Estanqueidade à Água e a Ação de Calor e Choque Térmico de Sistema Construtivo.** Relatório Técnico nº 11.

_____. (2012). **Considerações sobre o Desempenho quanto a Estanqueidade à Água e a Ação de Calor e Choque Térmico de Sistema Construtivo.** Relatório Técnico nº 23.

_____. (2012) **Considerações sobre o Desempenho quanto a Estanqueidade à Água e a Ação de Calor e Choque Térmico de Sistema Construtivo.** Relatório Técnico nº 47.

_____. (2013) **Considerações sobre o Desempenho quanto a Estanqueidade à Água e a Ação de Calor e Choque Térmico de Sistema Construtivo.** Relatório Técnico nº 01.

LABORATÓRIO DE FÍSICA E TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. LFTC. (2012). **Ensaio Experimental para Avaliar o Desempenho Térmico de Paredes de Madeira.** Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Portugal.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC). (2011). **As Aprovações Técnicas Europeias (ETA).** Disponível em: http://www.lnec.pt/qpe/eta/Folheto_ETA.pdf. Acessado em: 31/03/2011.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S. ; DE VECCHI, R. (2013). Conforto e Stress Térmico. Disponível em : http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20T%C3%A9rmico%202013_0.pdf. Acessado em:10/08/2013.

LIRA, R. (2011). **Apresentações sobre a Revisão da NBR 15.575 - Norma de Desempenho.** Disponível em: http://www.ademi.org.br/article.php3?id_article=41245. Acessado em 27/04/2011

MATEUS, R. F. M. S. (2004). **Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção.** (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Portugal.

MICHALSKI, R.L.X.N., FERREIRA, D.P. F., NABUCO, M. (2008). **Incerteza em Medição em Campo de Isolamento Sonoro Aéreo**. XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica.

MIRANDA, C. R. (2006). **Gases Tóxicos**. Disponível em: <http://www.higieneocupacional.com.br/download/gases-toxicos.pdf>. Acessado em: 12/12/2010.

MITIDIARI FILHO, C. V. (1998). **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MITIDIARI, C. V., (2007). **Qualidade e desempenho na Construção Civil**. Materiais de Construção Civil e os Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais.

MITIDIARI, C. V., HELENE, P. R. (1998). **Avaliação de Desempenho de Componentes e Elementos Construtivos Inovadores Destinados a Habitação. Proposições Específicas à Avaliação do Desempenho Estrutural**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP- Departamento de Engenharia de Construção Civil.

MILKE, J. A., HILL, A.M. (1996) **Full-Scale Room Fire Experiments Conducted at the University of Maryland**. University of Maryland, Department of Fire Protection Engineering, USA.

MORENO JUNIOR, A.L., MOLINA, J. C. (2012). **Considerações de interesse sobre a avaliação em laboratório de elementos estruturais em situação de incêndio: contribuições à revisão da NBR 5628:2001** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 4.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. NIST (2003). **Smoke Component Yields From Room-Scale Fire Tests**. Technology administration, Department of Commerce, USA. NIST 1453.

NORMA REGULAMENTADORA. NR 15 (2011) Atividades e Operações Insalubres. Disponível em: [http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20\(atualizada_2011\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20(atualizada_2011).pdf). Acessado em: 15/12/2010.

_____.NR 17 (2007). Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-17-1.htm>. Acessado em: 15/12/2010.

NORMA PORTUGUESA – NP EM 1991-1-2. (2010). **Eurocódigo 1 – Acções em estruturas Parte 1-2: Acções gerais – Acções em estruturas expostas ao fogo**.

NPT 65 (1982). **Toxicología de Compuestos de Pirólisis y Combustión**. Ministerio de Trabajo Y asuntos Sociales España – Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en El Trabajo.

OLIVEIRA, M. (2005). **Estudo sobre Incêndios de Progresso Rápido**. Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. (Monografia). Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVERIA, M. (2005a). **Manual de estratégias, táticas e técnicas de combate a incêndio estrutural**. Comando e controle em operações de incêndio. Florianópolis, SC.

OLIVEIRA, M., SILVA, S., BRANCO, J. M., BRAGANÇA, L. M., LOURENÇO, P. B. (2012) **Avaliação em Laboratório do Comportamento Térmico de Soluções Construtivas em Madeira**. 4º Congresso Nacional de Construção 2012, Coimbra, Portugal.

PEACOCK, R. D., JONES, W. W., BUKOWSKI, R. W. (1993). **Verification of a Model of Fire and Smoke Transport**. . USA. Fire Safety Journal n 21: 1993, pg 89 – 129.

Pe BBU. (2005). Performance Based Building: Conceptual Framework. Disponível em: http://www.pebbu.nl/resources/allreports/downloads/04_framework_final.pdf. Acessado em: 17/07/2011.

PEC 2277.(2001) **Avaliação de Sistema Construtivo Alternativo**. COPPE/UFRJ.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2004). **Terminologia de Segurança contra Incêndio: Instrução Técnica n°03**. Corpo de Bombeiros de São Paulo/SP.

_____. (2000). **Segurança Estrutural nas Edificações: Resistência ao Fogo dos Elementos de Construção: Instrução Técnica n°08**. Corpo de Bombeiros de São Paulo/SP

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE MINAS GERAIS. (2010). **Centros Esportivos e de Exibição: Requisitos de Segurança Contra Incêndio e Pânico: Instrução Técnica n°37**. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais/MG.

PRIMO, V. M. (2013). **Segurança Contra Incêndios em Edifícios**. E-LP Engineering and Technology jornal. Universidade Lusófona do Porto, Portugal.

REID, E. (1992). **Como Funcionam os Edifícios**. Manuais CETOP, Portugal.

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS. RCCTE 80 (2006). **Decreto Lei n° 80**. Portugal.

SEITO, A. I., SILVA, V. P. (2006) **A necessidade de Infra-estrutura de Ensaios de Resistência ao Fogo**. NUTAU.

SILVA, G. C. P. (2010). **Características Gerais de Poliuretanos Rígidos em Relação à Flamabilidade**. PURCON®, Baureri/SP

SINDICATO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINDUSCON/SP). (2010). **Análise crítica do processo de revisão da Nova Norma de Desempenho NBR 15575**. Disponível em: <http://www.ecosilenzio.com.br/blog/ler/analise-critica-do-processo-de-revisao-da-nova-norma-de-desempenho-nbr-15575>. Acessado em 27/04/2011

SOUZA, R. (1983). **A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: aplicação às janelas de uso habitacional**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

_____. (2010). **Encontro sobre Habitação de Interesse Social: Programas e Inovações Tecnológicas**. Disponível em: http://www.cte.com.br/site/evento_visualizar.php?idEvento=25. Acessado em: 20/09/2010.

_____. (2011). **O Vai e Vem da Norma de Desempenho**. Disponível em: <http://www.revistafinestra.com.br/tecnologia/294-nbr-15575-o-vai-e-vem-da-norma-de-desempenho-28-02-2011.html>. Acessado em 27/04/2011.

THOMAZ, E. (2012). **Tendências de Materiais, Tecnologias e Processos de Construção de Edifícios**. Seminário: Tecnologia, Desempenho e Sustentabilidade na Construção Civil. Disponível em: <http://pinieventos.pini.com.br/seminarios/seminario-manaus/o-evento-244443-1.asp>. Acessado em: 02/04/2013.

_____. (2013). **O que é preciso fazer para atender a norma quanto ao desempenho de pisos**. Seminário: Projeto, especificações e controle de execução para atender a norma de desempenho de edificações.

TSO – INFORMATION & PUBLISHING SOLUTIONS. (2008): **Guide to Safety at Sports Grounds**. Department for Culture, Media and Sport on Behalf of the Controller of Her Majesty's Stationery Office. UK.

VILLAS BOAS, F. (2011). **Novo adiamento à vista!** Disponível em: <http://www.asbea.org.br/escritorios-arquitetura/noticias/entrevista-com-fabio-villas-boas-norma-de-desempenho-243476-1.asp>. Acessado em: 09/02/2012.

_____. (2013). **O que precisa mudar nos processos desde a concepção do empreendimento para trabalhar com a metodologia de desempenho e atender a norma**. Seminário: Projeto, especificações e controle de execução para atender a norma de desempenho de edificações.

WEBER, M. S. (2010). **Correção de Rumo**. Revista da Construção n° 92.

ZIGMANTAS L; G., (2009). **Construção e Investimentos**. Disponível em: http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional_direita.asp&secao=10&id=65&revista=2WA004509087EWRTXLZ873BDG28. Acessado em: 12/12/2009.

APÊNDICE A – Mapeamento dos Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013).

O mapeamento dos métodos de avaliação a luz da NBR 15575 (2013) foi realizado com enfoque em edificações HIS térreas, comportando a Parte 1 Requisitos Gerais, Parte 2 Sistemas Estruturais, Parte 4 e as Partes 4 Sistemas de Vedação Vertical Interna e Externa e Parte 5 Sistema de Cobertura. A Parte 3 Requisitos para Sistemas de Piso Internos e a Parte 6 Sistemas Hidrossanitários não foram contemplados.

O mapeamento foi realizado por meio de uma leitura dinâmica dos requisitos e critérios indicando os métodos de avaliação estabelecidos pela NBR 15575 (2013). As Tabelas A.1 a A.11 apresentam os requisitos, critérios, métodos de avaliação e a descrição de cada método de avaliação correlacionando-os ao item de desempenho da NBR 15575 (2013).

Tabela A.1 – Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação: **Desempenho Estrutural**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Sistema Estrutural	Estabilidade e resistência do sistema estrutural e demais elementos com função estrutural	Estado- limite último	• Análise de Projeto	• Para análise de projeto utilizar: ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6122, ABNT NBR 6123, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8681, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 14762, ABNT NBR 15961, ABNT NBR 15812.
			• Ensaio Técnico	• Para ensaios técnicos, considerar: Pode-se estabelecer a resistência mínima de projeto por meio de ensaios destrutivos e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento, aplicado apenas a edifícios habitacionais até cinco pavimentos, conforme procedimento especificado na ABNT NBR 15575 – Parte 2 (Anexo A).
	Deformação ou estados de fissuras do sistema estrutural	Estados- limites de serviço	• Análise de Projeto	• Para análise de projeto utilizar: ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6122, ABNT NBR 6123, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8681, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 14762, ABNT NBR 15961, ABNT NBR 15812.
			• Ensaio Técnico	• Para ensaios técnicos, considerar: Pode-se estabelecer a modelagem matemática do comportamento conjunto para as deformações de serviço por meio de ensaios destrutivos e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento, de forma a serem caracterizados em cada ensaio pelo deslocamento que primeiro estabelecer uma falha, aplicado apenas a edifícios habitacionais até cinco pavimentos, conforme procedimento especificado na ABNT NBR 15575 – Parte 2 (Anexo B).

Tabela A.1 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Estrutural**,
ABNT NBR 15575 (2013), continuação.

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Sistema Estrutural	Impacto de Corpo Mole	Não podem sofrer ruptura ou instabilidade;	• Ensaio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 - Parte 2 (Anexo C) • ABNT NBR 11675 • ABNT NBR 14718
		Não podem causar danos a outros componentes acoplados aos componentes sob ensaio.		
Sistema Estrutural	Impacto de Corpo Duro	Os componentes estruturais não podem sofrer ruptura ou traspasse, por qualquer energia aplicada.	• Ensaio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 - Parte 2 (Anexo D) • ABNT NBR 14718
		É tolerada a ocorrência de fissuras, lascamentos e outros danos em impactos de segurança.		
Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo	Estabilidade e resistência estrutural	Estado- limite último	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575- Parte 2 (Item 7.2).
	Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos <i>SVVIE</i> .	Limitação de deslocamento, fissuração e descolamentos.	• Análise de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575- Parte 2 (Item 7.3).
			• Ensaio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Anexo G) • Para <i>SVVE</i> sem função estrutural realizar ensaio-tipo considerando também os esforços que simulam as ações horizontais devidas ao vento, recomenda-se o uso da ABNT NBR 10821- Parte 3.
			• Inspeção em protótipo	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Item 7.2.1.1.3)
	Solicitações de Cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos <i>SVVIE</i>	Capacidade de suporte das cargas	• Ensaio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Anexo A).
	Impacto de corpo mole nos <i>SVVIE</i> com ou sem função estrutural	Resistência a impacto de corpo mole	• Ensaio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 11675
	Ações transmitidas por portas	Ações transmitidas por portas internas ou externas	• Ensaio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15930 – Parte 2

Tabela A.1 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Estrutural**,
ABNT NBR 15575 (2013), continuação.

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
SVVIE	Impacto de corpo duro incidente nos SVVIE, com ou sem função estrutural.	Resistência a impactos de corpo duro	• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Anexo B) • ABNT NBR 11675.
	Carga de ocupação incidente em guarda-corpos e parapeitos de janelas	Ações estáticas horizontais, estáticas verticais e de impactos incidentes em guarda-corpos e parapeitos.	• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 14718 • ABNT 15575 e normas complementares
Sistema de Cobertura	Resistência e deformidade	Comportamento estático	• Análise Projeto	• ABNT NBR 15575 – Parte 2 (item 7.2.2.1 e 7.3.2.1)
			• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 2 (item 7.2.2.2 e 7.3.2.2)
		Risco de arrancamento de componentes do sistema de cobertura sob ação do vento	• Análise Projeto	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (anexo J)
			• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo L) • ABNT NBR 9574
	Solicitações de montagem ou manutenção	Cargas concentradas	• Análise Projeto	• ABNT NBR 6118, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062 e ABNT NBR 14762.
			• Ensaio Técnico	• Ensaio tipo
		Cargas concentradas em sistemas de cobertura acessíveis aos usuários.	• Análise Projeto	• O cálculo dos deslocamentos e da resistência deve ser elaborado com base nas propriedades dos materiais.
			• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo A)
	Solicitações dinâmicas em sistemas de cobertura e em coberturas – terraço acessíveis aos usuários	Impacto de corpo mole em sistemas de cobertura – terraço acessíveis aos usuários	• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 2 (Item 7.4.1.1)
		Impacto de corpo duro em sistemas de cobertura acessíveis aos usuários	• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 2 (Item 7.4.2.1)
	Solicitações em forros	Peças fixadas em forros	• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo B)
	Ação do granizo e outras cargas acidentais em telhados	Resistência ao Impacto	• Ensaio Técnico	• ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo C)

Tabela A.2 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Contra Incêndio**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Dificultar a princípio do Incêndio	Proteção contra descargas atmosféricas	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto • Inspeção em Protótipo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 5419 • Normas Brasileiras aplicáveis
		Proteção contra risco de ignição nas instalações elétricas		<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 5410 • Normas Brasileiras aplicáveis -
		Proteção contra risco de vazamentos nas instalações de gás		<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 13523 • ABNT NBR 15526
	Facilitar a fuga em situação de incêndio	Rotas de Fuga	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto • Inspeção em Protótipo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9077
	Dificultar a inflamação generalizada	Propagação superficial de chamas	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • Normas Brasileiras específicas
	Dificultar a propagação do incêndio	Isolamento de risco à distância	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto • Inspeção em Protótipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Normas Brasileiras específicas
		Isolamento de risco por proteção		<ul style="list-style-type: none"> • Normas Brasileiras específicas
		Assegurar estanqueidade e isolamento		<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 14432 • ABNT NBR 15575
	Segurança estrutural em situação de incêndio	Minimizar o risco de colapso estrutural	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 14323 (aço) • ABNT NBR 15200 (concreto) • Aplica-se o Eurocódigo
	Sistema de extinção e sinalização de incêndio	Equipamento de extinção, sinalização e iluminação de emergência.	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 17240 • ABNT NBR 13434 (Partes 1, 2 e 3).
<ul style="list-style-type: none"> • Inspeção em Protótipo 			<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 12693 • ABNT NBR 13714 • ABNT NBR 10898 	

Tabela A.2 – Requisitos, Critérios e Ensaio de Experimentais: **Desempenho Contra Incêndio**, ABNT NBR 15575 (2013), continuação.

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo	Dificultar a ocorrência da inflamação generalizada	Avaliação da reação ao fogo da face interna dos SVV e respectivos miolos isolantes térmicos e absorventes acústicos	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • EN13823
	Dificultar a propagação do incêndio	Avaliação da reação ao fogo da face externa dos SVV que compõem a fachada	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • EN13823
	Dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação	Resistência ao fogo de elementos estruturais e de compartimentação	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 5628 • ABNT NBR 10636 • Ensaio tipo
			<ul style="list-style-type: none"> • Inspeção Técnica 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 14432 • ABNT 15200 (concreto) • ABNT NBR 14323 (aço e mista aço/com creto)
Sistema de Cobertura	Reação ao fogo dos materiais de revestimento e acabamento	Avaliação da reação ao fogo da face interna do sistema de cobertura das edificações	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo K)
		Avaliação da reação ao fogo da face externa do sistema de cobertura das edificações	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 9442 • ENV 1187 – Método 1
	Resistência ao fogo do sistema de cobertura	Resistência ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 5628 • Ensaio tipo
			<ul style="list-style-type: none"> • Inspeção Técnica 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 14432 • ABNT 15200 (concreto) • ABNT NBR 14323 (aço e mista aço/concreto)

Tabela A.3 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Uso e Operação**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Segurança na utilização do imóvel	Segurança na utilização dos sistemas	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Inspeção em Protótipo 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575-2 ABNT NBR 15575-3 ABNT NBR 15575-4 ABNT NBR 15575-5 ABNT NBR 15575-6 ABNT NBR 14718
	Segurança das instalações	Segurança na utilização das instalações	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Inspeção em Protótipo 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 5410 ABNT NBR 5419 ABNT NBR 13523 ABNT NBR 15526 ABNT NBR 15575-6
Sistema de Cobertura	Integridade do sistema de cobertura	Risco de deslizamento de componentes	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo E)
	Manutenção e Operação	Guarda-corpos em coberturas acessíveis aos usuários	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 14718
		Platibandas	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo F)
		Segurança no trabalho em sistemas de coberturas inclinadas	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Item 9.2.3.1)
		Possibilidade de caminhamento de pessoas sobre o sistema de cobertura	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 5 (item 9.2.4.2)
			<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Anexo G)
Aterramento de sistemas de coberturas metálicas	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 13571 ABNT NBR 5419 		

Tabela A.4 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Estanqueidade à água**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação	Estanqueidade à água de chuva e à umidade do solo e do lençol freático	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Ensaios Técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 3 ABNT NBR 15157- Parte 4 ABNT NBR 15157- Parte 5 ABNT NBT 9575
	Estanqueidade a fontes de umidade internas à edificação	Estanqueidade à água utilizada na operação, uso e manutenção do imóvel	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Ensaios Técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 3 ABNT NBR 15157- Parte 4 ABNT NBR 15157- Parte 5
Sistema de Vedação Vertical	Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachada)	Estanqueidade à água de chuva, considerando-se a ação de ventos, em sistemas de vedações verticais externas (fachada)	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 4 (Anexo C) ABNT NBR 10821 – Parte 3.
	Umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel	Estanqueidade de vedações verticais internas e externas com incidência direta de água – Áreas molhadas	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 4 (Anexo D)
		Estanqueidade de vedações verticais internas e externas em contato com áreas molháveis	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Inspeção Técnica 	-
Sistema de Cobertura	Condições de salubridade no ambiente habitável	Impermeabilidade	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 5642
		Estanqueidade do sistema de cobertura	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 5 (Item 10.1.3.2)
			<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 5 (Anexo D)
		Estanqueidade das aberturas de ventilação	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 5 (Item 10.1.4.2)
		Captação e escoamento de águas pluviais	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 5 (Item 10.1.5.2)
		Estanqueidade para sistema de cobertura impermeabilizado	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15157- Parte 5 (Item 10.1.6.2)
<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 9575 			

Tabela A.5 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Térmico**,
ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Desempenho no verão	Valores máximos de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Simulação Computacional • Análise de Projeto - Cálculo • Ensaios Técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo A) • ABNT NBR 15575 – Parte 4 • ABNT NBR 15575 – Parte 5 • ABNT NBR 15220 – Parte 3
	Desempenho no inverno	Valores mínimos de temperatura		
Sistema de Vedação Vertical	Adequação de paredes externas	Transmitância térmica de paredes	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto - Cálculo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15220 – Parte 2
		Capacidade Térmica de paredes externas	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto - Cálculo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15220 – Parte 2
	Aberturas para ventilação	Área de ventilação de acordo com a legislação local da edificação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto - Cálculo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Item 11.3.1.1) • Legislação específica do local da obra, incluindo Códigos de Obras, Códigos Sanitários e outros -
Sistema de Cobertura	Isolação térmica da cobertura	Transmitância térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto - Cálculo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15220 – Parte 2

Tabela A.6 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Acústico**,
ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Isolação acústica de vedações externas	Desempenho acústico das vedações externas	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 • ABNT NBR 15575 – Parte 5
	Isolação acústica entre ambientes	Isolação ao ruído aéreo entre pisos e paredes internas	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 3 • ABNT NBR 15575 – Parte 4
	Ruídos de impacto	Ruídos gerados por impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 3 • ABNT NBR 15575 – Parte 5
Sistema Vedação Vertical	Níveis de ruído permitidos na habitação	Diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação externa (fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada, nos edifícios multipiso), verificada em ensaio de campo	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Item 12.2.1)
		Diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação entre ambientes, verificada em ensaio de campo	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Item 12.2.1)
Sistema de Cobertura	Isolamento acústico da cobertura devido a sons aéreos	Isolamento acústico da cobertura devido a sons aéreos	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Item 12.2.1)
	Nível de ruído de impacto nas coberturas acessíveis de uso coletivo	-	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 5 (Item 12.2.1)

Tabela A.7 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Lumínico**,
ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Iluminação natural	Níveis mínimos de iluminância natural	Simulação	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15212 – Parte 3 (algoritmo)
		Fator de luz diurna	Ensaio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 5034 – Parte 1
	Iluminação artificial	Níveis mínimos de iluminação artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto • Inspeção em Protótipo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo B) • ABNT NBR 10898
Sistema de Cobertura	Direcionados a ABNT NBR 15215 – Parte 1 a 4		<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto • Inspeção em Protótipo 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15215 – Parte 1 • ABNT NBR 15215 – Parte 2 • ABNT NBR 15215 – Parte 3 • ABNT NBR 15215 – Parte 4

Tabela A.8 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Durabilidade e Manutenibilidade**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Vida útil de projeto do edifício e dos sistemas que o compõem	Vida útil de projeto	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo C e D) ISO 15686 – Parte 1 ISO 15686 – Parte 3 ISO 15686 – Parte 5 ISO 15686 – Parte 7
		Durabilidade	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Ensaios Técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> Normas brasileiras relacionadas com a durabilidade, como: ABNT NBR 6118, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 14762, ABNT NBR 5649, ABNT NBR 6136, ABNT NBR 8491, ABNT NBR 9457, ABNT NBR 10834, ABNT NBR 11173, ABNT NBR 13281, ABNT NBR 13438, ABNT NBR 13858 – Parte 2, ABNT NBR 15210 – Parte1, ABNT NBR 15319, ABNT NBR 6565, ABNT NBR 7398, ABNT NBR 7400, ABNT NBR 9781, ABNT NBR 13528, ABNT NBR 8094, ABNT NBR 8096. Na inexistência de Normas Brasileiras sugere-se a utilização: ASTM G154-06, ASTM E424-71, ASTM D1413-07 e outras. Análise em estações de ensaios de durabilidade do sistema, desde que seja possível comprovar sua eficácia.
	Manutenibilidade do edifício e de seus sistemas	Facilidade ou meios de acesso	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 14037 ABNT NBR 5674

Tabela A.8 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Durabilidade e Manutenibilidade**, ABNT NBR 15575 (2013), continuação.

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Sistema Estrutural	Durabilidade do sistema estrutural	Vida útil de projeto do sistema estrutural	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Ensaios Técnicos Simulação 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo C) Ensaios físico-químicos e ensaios de envelhecimento acelerado, tais como: Porosidade, absorção de água, permeabilidade, dilatação térmica, choque térmico, expansão higroscópica, câmara de condensação, câmara de névoa salina, câmara CUV, câmara de SO₂, <i>Wheater-O-Meter</i> (Intemperismo Acelerado) e outros. Aplicação de modelos para previsão do avanço de frentes de carbonatação, cloretos, corrosão e outros.
	Manutenção do sistema estrutural	Manual de uso, operação e manutenção.	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo D) ABNT NBR 5674 ABNT NBR 14037
Sistema de Vedação Vertical	Paredes externas SVVE	Ação de Calor e Choque Térmico	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 4 (Anexo E)
	Vida útil de projeto dos SVVIE	Vida útil de projeto	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo C)
	Manutenibilidade dos SVVIE	Manual de uso, operação e manutenção dos SVV	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo D) ABNT NBR 5674 ABNT NBR 14037
Sistema de Cobertura	Vida útil de projeto dos sistemas de coberturas	Vida útil de projeto	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo C)
		Estabilidade da cor de telhas e outros componentes da cobertura	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR ISO 105 – A02 (escala cinza) ABNT NBR 15575 – Parte 5 – (Anexo H)
		Manual de uso, operação e manutenção das coberturas	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 5674

Tabela A.9 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Saúde, Higiene e Qualidade do Ar**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Saúde, Higiene e Qualidade do Ar	Proliferação de micro-organismos	O requisito mencionado deve atender aos critérios fixados na legislação vigente.	Ensaios Técnicos	<ul style="list-style-type: none"> Métodos de ensaio estabelecidos na legislação vigente.
	Poluentes na atmosfera interna à habitação			
	Poluentes no ambiente da garagem			

Tabela A.10 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Funcionalidade e Acessibilidade**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Altura mínima pé-direito	Altura mínima de pé-direito	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	-
	Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação	Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 15575 – Parte 1 (Anexo F) – apenas informativo
	Adequação para pessoas com deficiências físicas ou pessoas com mobilidade reduzida	Adaptações de áreas comuns e privativas	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 9050
	Possibilidade de ampliação da unidade habitacional	Ampliação de unidades habitacionais evolutivas	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	-
Sistema de Cobertura	Manutenção dos equipamentos e dispositivos ou componentes constituintes e integrantes do sistema de cobertura	Instalação, manutenção e desinstalação de equipamento e dispositivos da cobertura.	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT NBR 9575 ABNT NBR 5419 ABNT NBR 10844 ABNT NBR 13532

Tabela A.11 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Conforto tátil e antropodinâmico**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Conforto tátil e adaptação ergonômica	Adequação ergonômica de dispositivos de manobra	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ABNT 15575 – Parte 6 Parta análise de projeto utilizar os métodos especificados nas Normas Brasileiras de cada componente.
	Adequação antropodinâmica de dispositivos de manobra	Força necessária para o acionamento de dispositivos de manobra	<ul style="list-style-type: none"> Análise de Projeto Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> Para os ensaios técnicos utilizar os métodos especificados nas Normas Brasileiras de cada componente

Tabela A.12 – Requisitos, Critérios e Ensaios de Experimentais: **Desempenho Adequação Ambiental**, ABNT NBR 15575 (2013).

Parte da Norma	Requisito	Critério	Métodos de Avaliação	Norma / Procedimento
Requisitos Gerais	Utilização e reuso de água	-	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de Projeto • Ensaio Técnico 	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 15575 – Parte 1 (item 18.4.2) • Para a análise de projeto e ensaios técnicos utilizar os métodos especificados nas Normas Brasileiras de cada componente

APÊNDICE B – Evolução dos Métodos de Avaliação entre as versões 2008 e 2013 da ABNT NBR 15575 (2013)

Este trabalho foi iniciado antes da publicação da NBR 15575 (2013) e a parte experimental utilizada nesta tese esta baseada na NBR 15575 (2008). Para atualizar e analisar a versão 2013 em relação aos métodos de avaliação da versão 2008 apresenta-se a seguir a Tabela B.1 com uma visão geral da evolução dos métodos de avaliação mostrando para cada requisito os métodos de avaliação da versão 2013 e observações em relação as diferenças a versão 2008 da NBR 15575.

Tabela B.1 – Principais mudanças em relação aos métodos de avaliação entre a versão 2008 e 2013 da NBR 15575 para edificações HIS térreas.

Item	Requisito	Método de Avaliação	Observações
Desempenho Estrutural	Estabilidade e resistência do sistema estrutural e demais elementos com função estrutural	Cálculo e Ensaio Técnico	Alterações: textualização do método expressa de forma mais detalhada e inclusão de Normas técnicas nacionais e internacionais vigentes.
	Deformação ou estados de fissuras do sistema estrutural	Cálculo e Ensaio Técnico	Alterações: textualização do método expressa de forma mais detalhada e inclusão de Normas técnicas nacionais e internacionais vigentes.
	Impacto de Corpo Mole	Ensaio Técnico	Alterações: apenas textuais com indicação de Norma Técnica para o ensaio técnico.
	Impacto de Corpo Duro	Ensaio Técnico	Alterações: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
Segurança Contra Incêndio	Dificultar a princípio do Incêndio	Análise de Projeto ou inspeção em protótipo	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
	Facilitar a fuga em situação de incêndio	Análise de Projeto ou inspeção em protótipo	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
	Dificultar a inflamação generalizada	Inspeção em protótipo e/ou Ensaio Técnico	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
	Dificultar a propagação do incêndio	Análise de Projeto e inspeção em protótipo	Alterações: textualização do método expressa de forma mais detalhada e no caso de unidade habitacional unifamiliar, isolada, até 2 pavimentos, é requerida resistência ao fogo de 30 minutos para os SVVIE somente na cozinha e ambiente fechado que abrigue equipamento de gás.
	Segurança estrutural em situação de incêndio	Análise de Projeto e inspeção em protótipo	Sem alterações.
	Sistema de extinção e sinalização de incêndio	Análise de Projeto e inspeção em protótipo	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
Uso e Operação	Segurança na utilização do imóvel	Análise de Projeto ou inspeção em protótipo	Alterações: textualização do método expressa de forma mais detalhada e inclusão de Normas Técnicas.
	Segurança das instalações	Análise de Projeto ou inspeção em protótipo	Alteração textualização do método expressa de forma mais detalhada.
Estanqueidade	Estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação	Análise de Projeto e métodos de ensaios técnicos	Alterações: textualização do método expressa de forma mais detalhada e inclusão de Normas Técnicas.
	Estanqueidade a fontes de umidade internas à edificação	Análise de Projeto e métodos de ensaios técnicos	Alteração textualização do método expressa de forma mais detalhada.
Conforto Térmico	Desempenho no verão	Cálculo e/ou Simulação computacional	Alterações: apreço mais forte a hierarquia entre os métodos de avaliação, isto é, se a edificação não satisfizer os requisitos e critérios por meio de cálculo (ABNT NBR 15220-2), deve-se passar para a simulação computacional e o método de medição “ <i>in loco</i> ” é meramente informativo.
	Desempenho no inverno	Cálculo e/ou Simulação computacional	
Conforto Acústico	Isolação Acústica	Ensaio Técnico	
	Isolação Acústica entre ambientes	Ensaio Técnico	Alterações: algumas alterações nas normas a serem seguidas nos ensaios e a indicação para realizar os ensaios de campo.
	Ruído de impacto	Ensaio Técnico	

Tabela B.1 – Principais mudanças em relação aos métodos de avaliação entre a versão 2008 e 2013 da NBR 15575 para edificações HIS térreas, (continuação).

Item	Requisito	Método de Avaliação	Observações em relação a versão 2008
Lumínico	Iluminação Natural	Simulação e ensaio técnico.	Alterações: textualização do método expressa de forma mais detalhada e inclusão de ensaio técnico com luxímetro portátil.
	Iluminação artificial	Análise de Projeto e/ou inspeção em protótipo.	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
Durabilidade e Manutenibilidade	Vida útil	Análise de projeto	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
	Durabilidade	Análise de projeto e/ou inspeção em protótipo e/ou análise de resultados de ensaios de durabilidade	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada e inclusão.
	Facilidade ou meio de acesso	Análise de Projeto	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
Saúde, Higiene e Qualidade.	Proliferação de micro-organismos	Ensaio Técnico	Alteração: Recomendação mais específica quanto à realização de ensaios de desempenho e que os mesmos devem seguir as normas específicas vigentes da área de saúde, porém não citadas normas para serem atendidas.
	Poluentes na atmosfera interna à habitação	Ensaio Técnico	
	Poluentes no ambiente da garagem	Ensaio Técnico	
Funcionalidade e Acessibilidade	Altura mínima	Análise de Projeto	Alteração: Requisito incluído na versão 2013
	Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação	Análise de Projeto	Alteração: Requisito incluído na versão 2013
	Adequação para pessoas com deficiências físicas ou pessoas com mobilidade reduzida	Análise de Projeto	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
	Possibilidade de ampliação da unidade habitacional	Análise de Projeto	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
Conforto tátil e antropodinâmico	Conforto tátil e adaptação ergonômica	Análise de projeto, métodos especificados nas Normas brasileiras de cada componente.	Alteração: textualização do método expressa de forma mais detalhada.
	Adequação antropodinâmica de dispositivos de manobra	Análise de projeto, métodos especificados nas Normas brasileiras de cada componente.	Sem alterações
Adequação Ambiental	Utilização e reuso de água	Análise de projeto, métodos de ensaio relacionados às Normas brasileiras específicas.	Alterações textualização do método de avaliação expressa de forma mais detalhada e incluído um requisito e critério, porém sem Norma específica a ser atendida.

A Tabela B.2 apresenta o mapeamento dos itens de desempenho x métodos de avaliação estabelecidos na NBR 15575 (2013).

Tabela B.2 – Item de desempenho x métodos de avaliação, segundo a NBR 15575 (2013).

Item de desempenho	E	CSI	U e O	Estanq	CT	CA	Lu	D e M	S, H Q do Ar	F e A	CT e A	AA
Análise de Projeto	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Ensaio de Desempenho	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X
Inspeção de Protótipo		X	X				X	X				
Simulação					X		X					

Em uma primeira análise da NBR 15575 (2013) permite observar aspectos relevantes quanto à evolução dos métodos de avaliação ao qual são descritos a seguir:

- a) houve um aperfeiçoamento na forma escrita dos métodos de avaliação, constatada por textos mais explicativos, indicações de Normas técnicas vigentes e a inclusão de sistemas em itens de desempenho para serem avaliados, ensaios de desempenho e uma descrição mais detalhada de alguns procedimentos de ensaio,
- b) dentre os métodos de avaliação a análise de projeto está presente em quase todos os itens de desempenho com exceção do item de desempenho quanto a saúde, higiene e qualidade do ar, seguido pelo método de ensaio de desempenho, presente em 10 dos 12 itens de desempenho da Norma, e
- c) os sistemas construtivos são avaliados por mais de um método, com exceção do item de desempenho quanto a saúde, higiene e qualidade do ar (apenas ensaios de desempenho) e quanto a funcionalidade e acessibilidade (apenas análise de projeto).

A seguir são apresentadas as análises para cada requisito de desempenho.

- a) segurança estrutural:
 - a alteração mais significativa ficou com a inclusão de sistemas considerados “LEVES com função estrutural” em casas térreas.

- b) segurança contra incêndio:
- percebe-se uma visão mais protecionista em relação à preservação da vida humana e das condições de trabalho dos profissionais que atuam na prevenção e combate de incêndios;
 - houve a inclusão de SVVIE de edificações habitacionais unifamiliares (isoladas) até dois pavimentos para serem avaliados quanto à dificuldade de propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação, sendo requerida resistência ao fogo de 30 minutos para os SVVIE (cozinha e ambiente fechado que abrigue equipamento de gás).
- c) segurança, uso e operação:
- teve a inclusão de Normas técnicas nas premissas;
 - houve a retirada de método de avaliação inspeção em protótipo.
- d) estanqueidade à água:
- o texto encontra-se mais detalhado explicando a correta posição de aplicação do ensaio de estanqueidade a água das chuvas nos SVVE, estabelecendo que devem ser ensaiadas as interfaces entre sistemas e juntas, incluindo a junção entre a janela e a parede;
 - observa-se a alteração da unidade de vazão da água passando de L/m²min para L/min/m²;
 - houve a retirada do método de avaliação inspeção em protótipo.
- e) conforto térmico:
- houve alteração do procedimento de simulação computacional, passando de informativo para método recomendado, e o procedimento de medição passa a ser considerado “meramente informativo” e não se sobrepõe aos procedimentos simplificado e de simulação;
 - as temperaturas máximas e mínimas para os dias típicos de verão e inverno, respectivamente, das cidades brasileiras, foram alterados.
- f) conforto acústico:
- os métodos de avaliação permanecem os mesmos, porém com direcionamento para serem realizados os métodos de avaliação de campo,

- houve a retirada do ambiente “sala” para ser avaliado quanto a níveis de ruídos permitidos pela habitação;
 - quanto aos parâmetros houve a classificação conforme a classe de ruído no qual a edificação esta inserida e um pequeno aumento da exigência quanto a isolamento sonora para alguns elementos.
- g) durabilidade e manutenibilidade:
- foi incluído no ensaio de desempenho quanto a ação do calor e choque térmico o limite de deslocamento horizontal.
- h) desempenho lumínico:
- foi incluído nos requisitos o fator de luz diurna para ser avaliado pelos métodos: simulação e de ensaio de desempenho (medição “in loco” com a utilização de luxímetro portátil).
- i) saúde, higiene e qualidade do ar:
- a alteração está na recomendação de ensaios de desempenho específicos da área, porém não foi citada nenhuma Norma técnica específica.
- j) conforto tátil e antropodinâmico:
- não houve alteração;
- k) funcionalidade e acessibilidade:
- as alterações ficaram a cargo da transformação de critérios em requisitos, fazendo a inclusão de dois critérios, sendo designado como método de avaliação a análise de projeto.
- l) adequação ambiental:
- foi incluído um requisito e um critério e o método de avaliação ficou a análise de projeto e ensaios de desempenho, relacionados a Normas técnicas brasileiras específicas, mas sem citá-las.

Foram identificados durante a análise fatores críticos que comprometem aplicabilidade e exequibilidade dos métodos de avaliação, onde se destaca:

- a) os métodos de avaliação remetem por vezes a elementos e em outras vezes a sistemas construtivos, confundindo o que deve ser avaliado;
- b) falta de correlação entre alguns critérios de ensaios de desempenho e a comprovação ao atendimento do requisito;
- c) falta de detalhamento de alguns ensaios e procedimentos de ensaios;
- d) falta de adequabilidade do nível de desempenho (parâmetros) em relação a tipologia de sistemas construtivos;
- e) são citados ensaios de desempenho sem Norma estabelecida sem citá-las, deixando em aberto a seleção das Normas;
- f) não aborda todos os sistemas construtivos em voga no Brasil e, como consequência, não estabelece critérios e parâmetros compatíveis para tais.

Percebeu-se uma melhoria significativa da abordagem da avaliação de desempenho através dos ajustes efetuados nos métodos de avaliação, na versão 2013 em relação a 2008. Entretanto, reforça-se a ideia de que a NBR 15575 estará em constante mudança, principalmente para o aperfeiçoamento dos métodos de avaliação e sua adequabilidade quanto à introdução de novas tecnologias aplicada as edificações habitacionais.

APÊNDICE C – Análise Interpretativa dos EED realizados no LEME/UFRGS para Avaliação de Desempenho de Edificações HIS Térreas

C 1. Análise Interpretativa dos EED aplicados nos Modelos de Edificações HIS Têrreas

A análise interpretativa dos EED que foram realizados nos Modelos de Edificações HIS Têrreas (vide Anexo B) focou em dois pontos fundamentais: procedimento de ensaio e equipamentos e nos parâmetros de aceitabilidade.

Os procedimentos e equipamentos foram analisados com base nos critérios de aplicabilidade, exequibilidade, fidedignidade e representabilidade dos resultados e adequabilidade e os parâmetros quanto à representabilidade e adequabilidade, conforme explicado no Capítulo 4.

A Tabela C – 1.1 apresenta o mapeamento do resultado da análise interpretativa dos EED x Modelos de edificações x critérios de análise interpretativa quanto aos procedimentos de ensaio e equipamentos e quanto aos parâmetros de aceitabilidade, o “x” identifica que o critério está atendido e o espaço pintado de cinza claro indica que o critério não está atendido.

O resultado da análise interpretativa indica que na grande maioria os EED aplicados nos Modelos de edificações HIS têrreas, recomendados na NBR 15575 (2013), atendem aos critérios especificados quanto aos procedimentos de ensaio e equipamentos e quanto aos parâmetros de aceitabilidade. Todavia, o resultado da análise também indicou que os ensaios de impacto de corpo mole, o ensaio de desempenho térmico por medição “in loco” e o ensaio de ação de calor e choque térmico precisam ser analisados criticamente, pois não atendem a totalidade dos critérios e, por consequência, podem estar comprometidos. A análise crítica dos ensaios citados está descrita no Capítulo 6 desta tese.

Tabela C 1.1 – Mapeamento dos resultados da análise interpretativa dos EED recomendados na NBR 15575 (2013) aplicados em modelos de edificações HIS térreas.

NBR 15575/2013	Item Desempenho	Ensaio Experimental de Desempenho - EED	Modelos de Edificações Térreas							Critérios						
										Procedimentos e Equipamentos				Parâmetro de Aceitabilidade		
			A	B	C	D	E	* F	* G	Local de Aplicação	Aplicabilidade	Exequibilidade	Fidedignidade e representabilidade	Adequabilidade	Representabilidade	Adequabilidade
Segurança	Estrutural	Impacto Corpo Mole em SVVE	x	x	x	x				Protótipo				x	x	
		Impacto Corpo Duro em SVVE	x	x	x	x				Protótipo	x	x	x	x	x	x
		Impacto Corpo Mole Porta	x			x				Protótipo	x	x	x	x	x	x
		Fechamento brusco porta	x			x				Protótipo	x	x	x	x	x	x
		Peças Suspensas em SVVE				x				Protótipo	x	x	x	x	x	x
Habitabilidade	Estanqueidade à água	Estanqueidade à água da chuva em SVVE	x	x	x	x				Protótipo	x	x	x	x	x	x
	Térmico	Ensaio por medição "in loco"	x	x		x				Protótipo	x	x	x	x	x	
	Acústico	Ensaio por medição "in loco"	x	x	x	x				Protótipo	x	x	x	x	x	x
Sustentabilidade	Durabilidade	Ação de Calor e Choque Térmico em SVVE				x	x	x	x	Corpo de Prova						

* Edificações Térreas para fins comerciais.

APÊNDICE D – Proposta de procedimento de ensaio experimental em campo de simulação de incêndio na escala real (1:1).

D.1 Procedimento de Ensaio em Campo de Simulação de Incêndio na escala real (1:1)

D. 1.1 Protótipo

O protótipo da edificação na escala real (1:1) é composto por dois compartimentos construídos e/ou montados por sistemas de vedação vertical interno e externo (SVVIE), sistema de piso, sistema de cobertura (SC) e sistemas de aberturas que representem fielmente o que é utilizado em obra.

O compartimento 1, representado sala/cozinha, deve ter dimensões internas de (5,00 x 4,00) m, largura e comprimento, respectivamente, e o compartimento 2, representado um quarto, deve ter dimensões de (3,00 x 3,00) m, largura e comprimento, respectivamente. O pé-direito nos compartimentos deve ser representativo do utilizado na edificação, mas nunca inferior a 2,50 m, conforme ABNT NBR 15575 – Parte 1 (2013).

As esquadrias utilizadas nos compartimentos 1 e 2 devem representar as janelas que serão colocadas na edificação, com dimensões que atendam ao requisito de ventilação estabelecido na ABNT NBR 15575- Parte 1 (2013). No compartimento 1 deve ser colocada uma porta externa e no compartimento 2 uma porta interna, ambas representativas das portas que serão colocadas na edificação.

O foco do incêndio é no compartimento 1 onde deve ter uma abertura de (0,6 x 0,6) m, para área de ventilação, representada por uma veneziana simples. A Figura D.1 ilustra o protótipo para o ensaio.

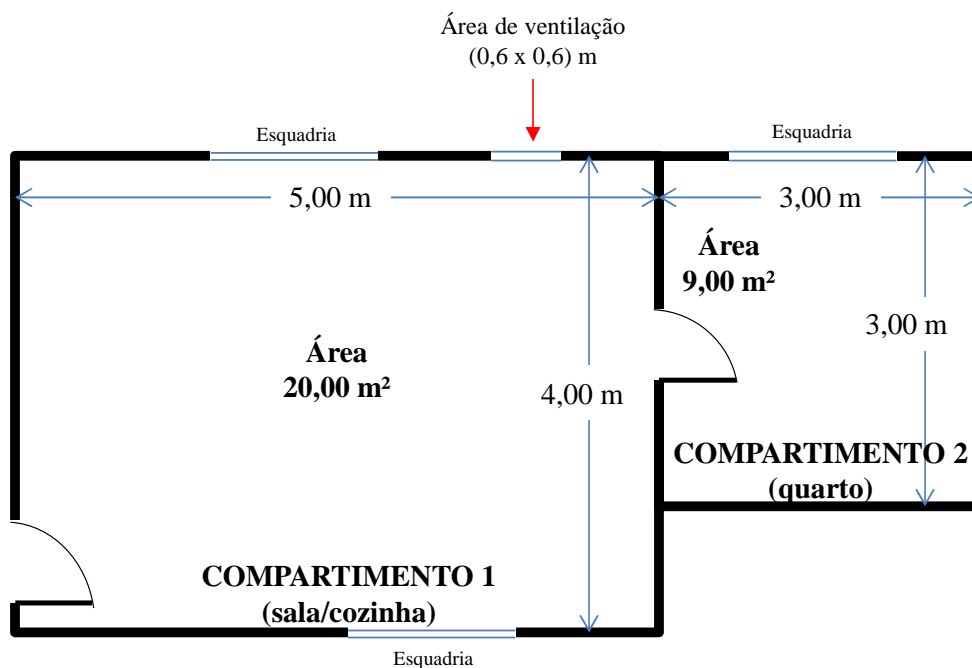


Figura D.1: Desenho ilustrativo de protótipo para ensaio de simulação de incêndio em campos na escala real (1:1).

As edificações vizinhas devem ser representadas por três barreiras com dimensões de (3,00 x 2,50) m, largura e altura, respectivamente, e construídas com a mesma composição do sistema construtivo em avaliação. As barreiras devem ser posicionadas a 3 metros do protótipo. A Figura D.2 apresenta desenho esquemático das barreiras.

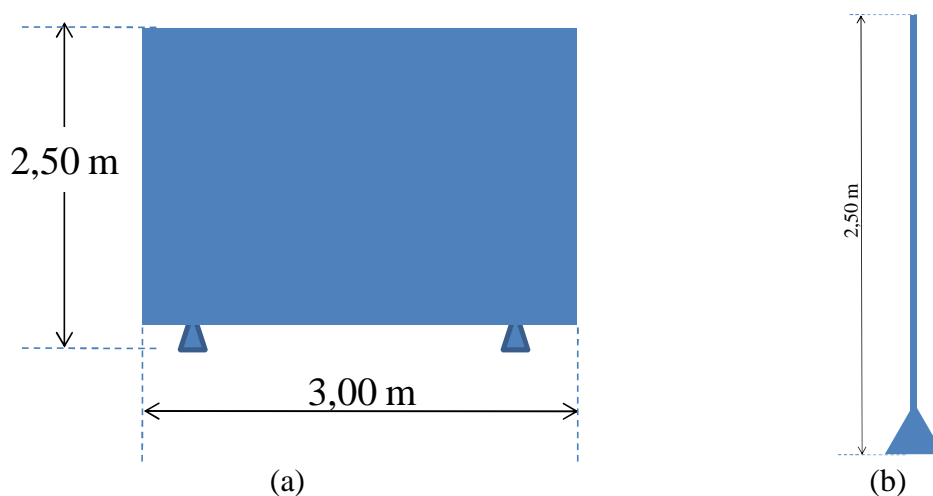


Figura D.2: Desenho esquemático das barreiras com as dimensões mínimas: (a) vista frontal e (b) vista lateral.

D. 1.2 Equipamentos

O protótipo deve ser instrumentado com câmeras filmadoras (internas e externas), termopares (agulhas e superfícies), coletores de gases (internos e externos) e, quando necessário, com termógrafos (fixo e móvel).

A Tabela D.1 apresenta os equipamentos utilizados para o ensaio experimental em campo de simulação de incêndio e o tempo de coleta das amostras para avaliação de desempenho quanto à segurança contra incêndio em edificações HIS térreas isoladas na escala real (1:1).

Tabela D.1: Relação de equipamentos e tempos de coleta para ensaio experimental em campo de simulação de incêndio em protótipo de edificação, em escala real (1:1).

Equipamento	Descrição
Filmagem:	Câmaras Externas: as imagens externas do ensaio podem ser realizadas por câmeras comuns e não necessitam de nenhuma proteção contra as altas temperaturas, devendo ficar a uma distância mínima de 5 m do protótipo. Tempo de coleta de imagens “tempo real”.
	Câmaras Internas: as câmeras utilizadas no interior do protótipo podem ser do tipo webcams, com boa resolução, e protegidas para altas temperaturas. Tempo de coleta de imagens “tempo real”.
Termografia	Termógrafo fixo e móvel: os termógrafos fixo e móvel devem ser calibrados para uma escala variável iniciando na faixa de 0°C a 500°C. No decorrer do ensaio, a escala deve ser ajustada para variar entre 350°C e 1500°C em função das altas temperaturas desenvolvidas pelo incêndio. A estratégia de captura de imagens deve ser de 1 quadro a cada 2 segundos.
Termopares	Termopares em árvores: os termopares de ponta tipo K (precisão de 13°C e temperatura máxima 1370°C) são colocados em árvores no centro de cada compartimento a altura de 60 cm, 120 cm, 180 cm e 240 cm (vide Figura D.3). Tempo de coleta das temperaturas a cada segundo.
	Termopares no local da coleta de gás: os termopares de ponta e de superfície tipo K (precisão de 13°C e temperatura máxima 1370°C) devem ser colocados ao lado de cada coleta de gás. Tempo de coleta das temperaturas a cada segundo.
	Termopares no foco do início do incêndio: os termopares de ponta e de superfície tipo K (precisão de 13°C e temperatura máxima 1370°C) devem ser dispostos próximo ao foco de início do incêndio. Tempo de coleta das temperaturas a cada segundo.
	Termopar nas barreiras: os termopares de ponta tipo PT 100 (precisão 0,1°C e temperatura máxima de 300°C) devem ser colocados nas barreiras. Tempo de coleta das temperaturas a cada segundo.
	Aquisição e registro dos dados: utiliza-se um sistema de aquisição de dados, <i>Dataloger</i> , e computador portátil com <i>software</i> para o monitoramento do registro das temperaturas.
Qualidade do Ar	Coleta de gases no interior do protótipo da edificação: a coleta dos gases é realizada através de canos metálicos e cerâmicos, mangueiras, bomba de vácuo EOS 1,8 CFM (vide Figura D.4). Tempo de coleta dos gases a cada 3 minutos. Os gases são acondicionados em câmaras de látex. A análise dos gases é feita por amostrador portátil de gases de combustão por metodologia de reação em células eletroquímicas.
	Coleta de gases na área externa ao protótipo da edificação: a coleta dos gases é realizada por amostrador portátil de gases de combustão por metodologia de reação em células eletroquímicas. Tempo de coleta dos gases a cada 6 minutos.

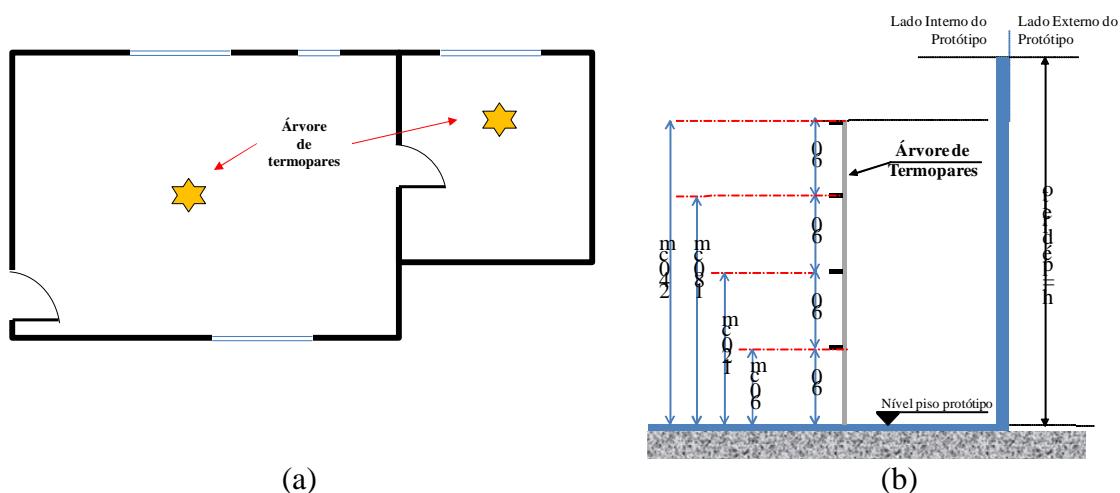


Figura D.3 – Árvore de termopares: (a) centro de cada peça do protótipo e (b) vista lateral.

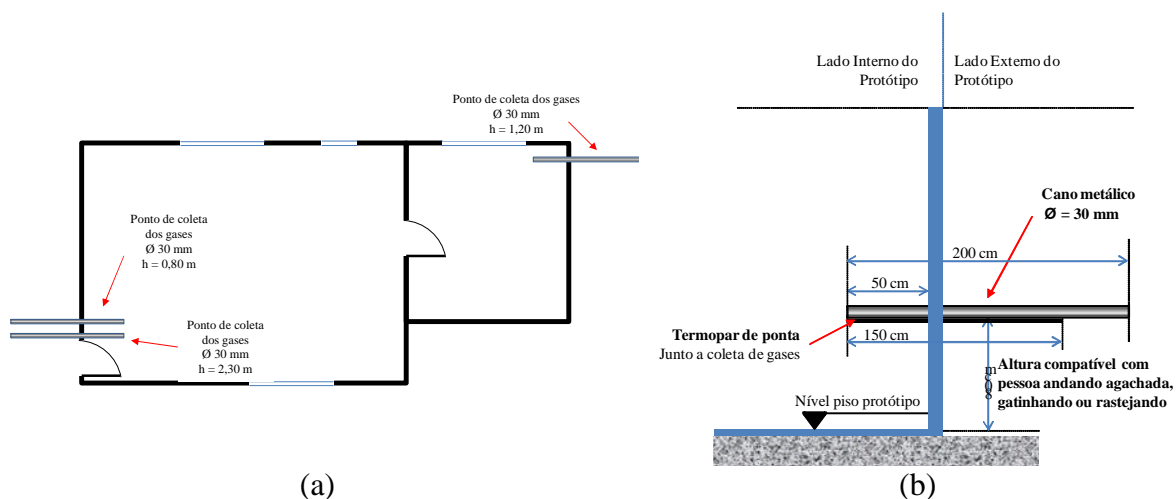


Figura D.4 – Posição dos coletores de gases: (a) Vista superior e (b) vista lateral.

D. 1.3 Procedimento de Ensaio

O protótipo da edificação deve estar com todas as aberturas (janelas e portas) fechadas, durante o ensaio, a entrada de ar é feita pela área de ventilação (vide Figura D.1). A carga de incêndio por metro quadrado (MJ/m^2) é representada, de preferência, por caixotes ou pallets de madeira de $400 \text{ MJ}/\text{m}^3$. Para o protótipo a carga de incêndio por metro quadrado (MJ/m^2) mínima necessária à realização do ensaio é de $300 \text{ MJ}/\text{m}^2$, estabelecida pela ABNT NBR 14432 (2001).

A Figura D.5 apresenta a disposição de pallets de madeira de 1m³. São necessários 22,5 pallets de madeira no compartimento 1 e 5,6 no compartimento 2, para atingir a carga de incêndio mínima por metro quadrado. O ponto de ignição do incêndio deve ser no local de maior incidência de propagação do fogo que é um dos cantos do compartimento 1, excetuando-se o canto da porta.

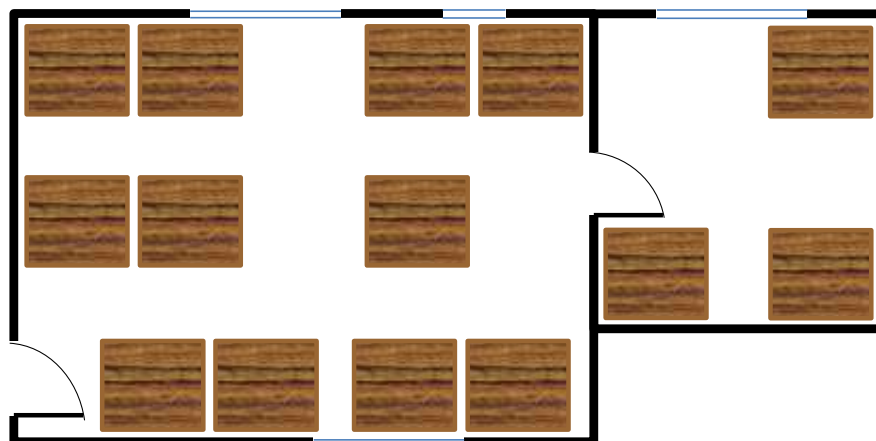


Figura D.5 – Desenho esquemático da distribuição da carga de incêndio.

Na sequência, faz-se a instalação dos equipamentos, sempre protegidos para altas temperaturas, como segue:

- a) Preparar a instalação dos termopares e ligá-los ao sistema de aquisição de dados;
- b) Preparar a instalação da coleta de gases e o local de análise dos gases;
- c) Preparar a instalação das câmeras internas e externas;
- d) Preparar a instalação das câmeras de termografia na área externa.

Após a preparação dos equipamentos deve ser realizada uma verificação do funcionamento de todos.

O ensaio tem início quando o ponto de ignição do fogo é ativado. A Tabela D.2 é representativa dos tipos de amostras que são coletadas durante o ensaio e adota-se como parâmetro o intervalo de 3 minutos em função do tempo de coleta dos gases, como exemplo.

Tabela D.2 – Tempo de Ensaio x Qualidade do Ar x Temperaturas dos Termopares x Imagens interna e externa (filmagem e termografia)

Tempo Ensaio (minutos)	Qualidade do Ar (%)		Termopares (°C)	Filmagem (30 minutos)	Termografia (Imagem x °C)
	Interna	Externas			
00:00	Coleta	Coleta	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:03	Coleta	-	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:06	Coleta	Coleta	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:09	Coleta	-	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:12	Coleta	Coleta	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:15	Coleta	-	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:18	Coleta	Coleta	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:21	Coleta	-	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:24	Coleta	Coleta	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:27	Coleta	-	Cada segundo	Tempo real	Tempo real
00:30	Coleta	Coleta	Cada segundo	Tempo real	Tempo real

D. 1.4 Parâmetro de Aceitabilidade

a) Qualidade do ar interno à edificação

- O nível de oxigênio (O₂) no interior do protótipo não pode ser < 20%, e o monóxido de carbono (CO) não pode ser ≥ 40 ppm.

b) Análise de temperaturas e qualidade do ar externa à edificação

- O nível de oxigênio (O₂) no exterior do protótipo não pode ser < 20%, e o monóxido de carbono (CO) não pode ser ≥ 100 ppm.
- As temperaturas máximas radiantes não podem ser superiores a 260°C [T_{exterior a 3 metros} ≤ 260°C].

c) Tempo de ruína da edificação

- Tempo corrido mínimo para estabilidade global da edificação deve ser ≥ 30 minutos.

ANEXO A – Estrutura da ABNT NBR 15575 (2013)

AA1. ESTRUTURA DA NBR 15575

A seguir é apresentada a estrutura da NBR 15575 (2013) com a divisão dos grupos de desempenho e uma abordagem das partes da norma. A seguir é apresentado um resumo das exigências dos usuários com abordagem dos requisitos de desempenho de acordo com a NBR 15575 - Parte 1: Requisitos Gerais (2013).

AA1.1. Estrutura da NBR 15575 (2013)

A NBR 15575 (2013) está estruturada em três grandes áreas, segundo as exigências dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Cada área é subdividida em responsabilidades, onde se atribui desempenho mínimo que deve ser atendido pelo edifício quando em uso, durante a vida útil, e desempenhando sua função no meio onde está inserido. Quando a totalidade das responsabilidades tiver desempenho comprovado à função que foi projetado, diz-se que, a edificação tem desempenho adequado.

Para melhor visualização das áreas de exigência do usuário e a subdivisão das responsabilidades traduzidas em requisitos é apresentada na Tabela AA.1 a relação entre elas.

Tabela AA.1 – Exigências dos Usuários expressas em requisitos, NBR 15575 (2013).

Exigências do Usuário	Requisitos
Segurança	Segurança Estrutural
	Segurança Contra o Fogo
	Segurança no Uso e na Operação
Habitabilidade	Estanqueidade à água
	Desempenho Térmico
	Desempenho Acústico
	Desempenho Lumínico
	Saúde, Higiene e Qualidade do Ar
	Funcionalidade e Acessibilidade
	Conforto Tátil e Antropodinâmico
Sustentabilidade	Durabilidade
	Manutenibilidade
	Impacto Ambiental

Para facilitar a compreensão e, conseqüentemente, sua implantação a NBR 15575 foi subdividida em seis partes que representam os sistemas básicos e fundamentais de uma edificação. A estrutura da NBR 15575 (2013) ficou estabelecida da seguinte forma:

- Parte 1 – Requisitos Gerais: responsável por um todo integrado da edificação.
- Parte 2 – Sistema Estrutural: responsável pela ereção e solidez da edificação.
- Parte 3 – Sistema de Pisos: responsável pela segmentação horizontal do edifício verticalizado.
- Parte 4 – Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo: responsável pela segmentação interna e a separação do exterior para o interior do edifício.
- Parte 5 – Sistema de Cobertura: responsável pela vedação na parte superior da edificação.
- Parte 6 – Sistema Hidrossanitário: responsável pelo abastecimento de água e escoamento do esgoto sanitário do edifício.

Destaca-se que a NBR 15575:

- Não se aplica a: obra já concluída, obra em andamento na data da entrada em vigor desta Norma, projetos protocolados nos órgãos competentes até a data da entrada em vigor desta Norma, obras de reformas, *retrofit* de edifícios e edificações provisórias.
- Não dispõe sobre sistemas elétricos das edificações habitacionais, pois esses fazem parte de um conjunto mais amplo de Normas com base na ABNT NBR 5410 e, portanto, os requisitos de desempenho para esses sistemas não são estabelecidos nesta parte da ABNT NBR 15575.
- Sempre que houver requisitos aplicáveis apenas às edificações de até cinco pavimentos são especificados em suas respectivas seções.

AA1.2.Requisitos Gerais da NBR 15575 (2013)

A Parte 1 da NBR 15575 é considerada referência para as demais partes da norma, pois apresenta uma lógica de abordagem quanto aos requisitos, critérios e métodos de avaliação.

Segundo Borges (2008) houve a preocupação do formato da Norma ser simples e de fácil aplicação, dando ênfase para os métodos de avaliação. A Figura AA.1 apresenta a estrutura da NBR 15575.

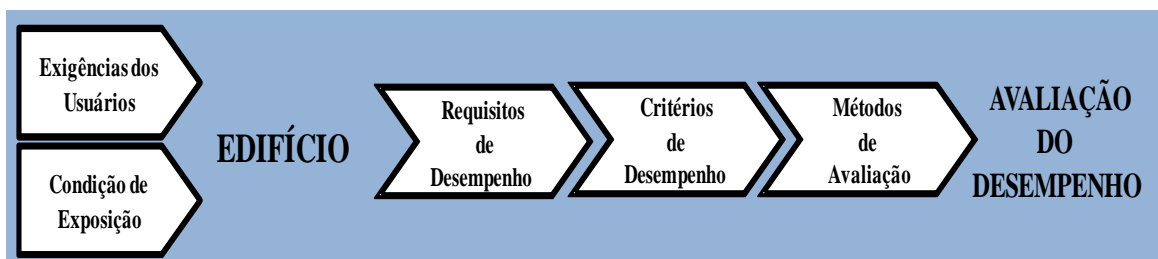


Figura AA.1 – Estrutura da Norma de Desempenho, (ABNT NBR 15575, 2013).

Os Requisitos Gerais expõem diretrizes para todos os treze requisitos e faz a correlação às demais partes da NBR 15575 (2013). Nesta parte da Norma são estabelecidos os requisitos e critérios de desempenho, os métodos de avaliação e alguns parâmetros. Outro ponto importante que é esclarecido nesta parte da Norma diz respeito à classificação dos níveis de desempenho: desempenho mínimo (*M*), desempenho intermediário (*I*) ou desempenho superior (*S*).

Borges (2011), Villas Boas (2011) e Thomaz (2012) são enfáticos em afirmar que durante o processo de elaboração da NBR 15575 procurou-se definir níveis de desempenho compatíveis com a realidade técnico-econômica brasileira e que grande parte da norma, mais de 80%, significa simplesmente atender a Normas técnicas já vigentes, considerado pela Norma como desempenho mínimo (*M*). Além disso, Thomaz (2012) ressalta que muitos incorporadores e construtoras já atendem a Norma.

AA1.3.Itens de Segurança da NBR 15575 (2013)

A NBR 15575 (2013) aborda como exigência do usuário quanto à segurança: a segurança estrutural, a segurança contra incêndio e a segurança do uso e operação. A segurança estrutural estabelece diretrizes para que o sistema estrutural da edificação apresente desempenho adequado às finalidades ao qual foi projetado. Os critérios de desempenho quanto à segurança estrutural estão alinhados com o Estado Limite de Serviço (ELS) e o Estado de Limite Último (ELU).

O ELS diz respeito à durabilidade das edificações quanto da utilização normal da estrutural,

onde deformações, fissurações e ocorrências de outras falhas não comprometem sua utilização. O ELU tem como objetivo prever que a edificação não apresente um comportamento de paralisação, no todo ou em parte, durante o uso da edificação.

Quanto à segurança contra incêndio os requisitos são pautados em: proteger a vida dos ocupantes das edificações, em caso de incêndio; dificultar a propagação do incêndio, reduzindo danos ao meio ambiente e ao patrimônio; proporcionar meios de controle e extinção do incêndio; e dar condições de acesso para as operações do Corpo de Bombeiros.

A segurança contra incêndio tem como objetivo principal garantir a resistência ao fogo dos elementos estruturais que devem: possibilitar a saída dos ocupantes da edificação em condições de segurança; garantir condições de socorro público, onde se permita o acesso operacional de viaturas, equipamentos e seus recursos humanos, com tempo hábil para exercer as atividades de salvamento e combate a incêndio; e evitar ou minimizar danos à própria edificação, às outras adjacentes, à infraestrutura pública e ao meio ambiente.

Já quanto à segurança do uso e operação a abordagem está direcionada a preservação das pessoas que usam e operam a edificação. Pode-se dizer que é o conceito mais novo atribuído a NBR 15575 (2013). A Tabela AA.2 apresenta os fatores a serem considerados quanto ao uso e operação de edificações.

Tabela AA.2 – Fatores a serem considerados quanto ao uso e operação de edificações.

Requisito	Descrição do Item	
Uso e Operação	1	Estrutura.
	2	Acessos não controlados aos riscos de quedas.
	3	Queda de pessoas em função de rupturas das proteções as quais deverão ser testadas conforme NBR 14718 ou possuírem memorial de cálculo assinado por profissional responsável que comprove seu desempenho
	4	Queda de pessoas em função de irregularidades nos pisos, rampas e escadas, conforme a ABNT NBR 15575-3.
	5	Ferimentos provocados por ruptura de subsistemas ou componentes, resultando em partes cortantes ou perfurantes.
	6	Ferimentos ou contusões em função da operação das partes móveis de componentes, como janelas, portas, alçapões e outros.
	7	Ferimentos ou contusões em função da dessolidarização ou da projeção de materiais ou componentes a partir das coberturas e das fachadas, tanques de lavar, pias e lavatórios, com ou sem pedestal, e de componentes ou equipamentos normalmente fixáveis em paredes.
	8	Ferimentos ou contusões em função de explosão resultante de vazamento ou de confinamento de gás combustível.

AA1.4. Habitabilidade da NBR 15575 (2013)

A exigência do usuário quanto à habitabilidade pode ser entendida por meio dos sete requisitos: estanqueidade à água, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico e, também, quanto à saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade e, por fim, o desempenho quanto ao conforto tátil e antropodinâmico.

A estanqueidade à água tem por objetivo evitar a penetração de água na edificação, pois a umidade acelera os mecanismos de deterioração e acarreta a perda das condições de habitabilidade e de higiene do ambiente construído.

Quanto ao desempenho térmico a Norma estabelece que a edificação habitacional deve reunir características que atendam aos requisitos de desempenho térmico, considerando-se as oito zonas bioclimática brasileiras, definidas na ABNT NBR 15220-3. Em relação ao desempenho acústico é estabelecido que a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes.

Para o desempenho lumínico de edificações habitacionais é estabelecido que: durante o dia, as dependências da edificação habitacional (sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço) devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes. Já para o período noturno, o sistema de iluminação artificial deve proporcionar condições internas satisfatórias para ocupação dos recintos e circulação nos ambientes com conforto e segurança.

Os requisitos relativos à saúde, higiene e qualidade do ar devem atender à legislação vigente para propiciar condições de salubridade no interior da edificação, considerando as condições de umidade e temperatura no interior da unidade habitacional, aliadas ao tipo dos sistemas utilizados na construção. Os sistemas empregados na edificação não podem liberar produtos que poluam o ar em ambientes confinados, originando níveis de poluição acima daqueles verificados no entorno. Enquadram-se nesta situação os aerodispersóides, gás carbônico e outros.

Quanto à funcionalidade e acessibilidade a Norma estabelece que, a edificação deve apresentar altura mínima de pé-direito e espaços mínimos dos ambientes da habitação compatíveis com as necessidades humanas, bem como deve prever o número mínimo de unidades para pessoas com deficiência física ou com mobilidade reduzida e o acesso à edificação de pessoas com mobilidade reduzida e para idosos. Para unidades habitacionais térreas e assobradadas de caráter evolutivo deve-se apresentar previsão de ampliação.

As diretrizes em relação ao conforto tátil e antropodinâmico, normalmente estabelecidas nas respectivas Normas prescritivas dos componentes, tem o objetivo de não prejudicar as atividades normais dos usuários, dos edifícios habitacionais, quanto ao caminhar, apoiar, limpar, brincar e ações semelhantes.

AA1.5.Sustentabilidade da NBR 15575 (2013)

A exigência relativa à sustentabilidade está subdividida na NBR 15575 em três requisitos: durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental. Quanto à durabilidade esta parte da norma enfatiza que o sistema estrutural deve conservar a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil e a manutenibilidade têm como função alavancar a durabilidade projetada para a estrutura com manutenções preventivas sistemáticas, e sempre que necessário, com manutenções corretivas.

A Tabela AA.3 apresenta o valor teórico para a Vida Útil de Projeto (VUP) para cada um dos sistemas que o compõem a edificação.

Tabela AA.3 – Vida Útil de Projeto (VUP*), (ABNT NBR 15575, 2013).

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Quanto ao impacto ambiental a Norma relata que técnicas de avaliação resultante das atividades da cadeia produtiva da construção civil ainda são objeto de pesquisa e, no atual estado da arte, não é possível estabelecer critérios e métodos de avaliação relacionados à expressão desse impacto. Porém, de forma geral, os empreendimentos e sua infraestrutura devem ser projetados, construídos e mantidos de forma a minimizar as alterações no ambiente.

A NBR 15575 (2013) faz recomendação quanto à exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de energia e de matérias-primas. Bem como, cita que as instalações elétricas devem privilegiar a adoção de soluções que minimizem o consumo de energia, entre elas a utilização de iluminação e ventilação natural e de sistemas de aquecimento baseados em energia alternativa.

AA2. PARTE 2 – SISTEMAS ESTRUTURAIS

Esta parte da NBR 15575 (2013) estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam somente ao sistema estrutural da edificação habitacional, onde estabelece que o sistema estrutural deve atender durante a sua vida útil de projeto, sob as diversas condições de exposição (ação do peso próprio, sobrecargas de utilização, atuações do vento e outros), aos seguintes requisitos gerais:

- a) não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;
- b) prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;
- c) não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, permitindo-se tal requisito atendido caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos nesta Norma;
- d) não repercutir em estados inaceitáveis de fissura de vedação e acabamentos;
- e) não prejudicar a manobra normal de partes móveis, tais como portas e janelas, nem prejudicar no funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais, e
- f) atender às disposições das ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682 e ABNT NBR 6122 relativas às interações com o solo e com o entorno da edificação.

AA3. PARTE 3 – SISTEMAS DE PISO

Esta parte da NBR 15575 (2013) estabelece os requisitos e critérios e os métodos de avaliação do desempenho de sistema de pisos da edificação habitacional, onde são estabelecidos requisitos e critérios que devem ser atendidos quanto à segurança estrutural, segurança contra incêndio e segurança do uso e operação, bem como estabelece requisitos e critérios de habitabilidade para o sistema de piso, como o desempenho quanto: a estanqueidade à água, acústico, funcionalidade e acessibilidade e conforto tátil e antropodinâmico. Por fim, a Norma também estabelece requisitos e critérios de sustentabilidade quanto à durabilidade e manutenibilidade de sistemas de pisos.

AA4. PARTE 4 – SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA E EXTERNA (SVVIE)

São estabelecidos nesta parte da NBR 15575 (2013) os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de edificações habitacionais ou de seus elementos. Nesta parte estabelecidos requisitos e

critérios que devem ser atendidos quanto à segurança estrutural e segurança contra incêndio. Também, estão estabelecidos requisitos e critérios de habitabilidade para o *SVVIE*, como o desempenho quanto: a estanqueidade à água, térmico e acústico. Por fim, a Norma estabelece requisitos e critérios de sustentabilidade quanto à durabilidade e manutenibilidade para *SVVIE*.

AA5. PARTE 5 – SISTEMA DE COBERTURA

Esta parte da NBR 15575 estabelece os requisitos e critérios e os métodos de avaliação de desempenho requeridos dos sistemas de coberturas para edificações habitacionais, onde são estabelecidos requisitos e critérios que devem ser atendidos quanto à segurança estrutural, segurança contra incêndio e segurança do uso e operação. Nesta parte da Norma também são estabelecidos requisitos e critérios quanto à habitabilidade: estanqueidade à água, desempenho térmico e acústico, funcionalidade e acessibilidade, e, por fim, estabelece requisitos e critérios quanto a sustentabilidade: durabilidade e manutenibilidade.

AA6. PARTE 6 – SISTEMA HIDROSSANITÁRIO

Esta parte da NBR 15575 (2013) estabelece os requisitos e critérios e os métodos de avaliação de desempenho que se aplicam ao sistema hidrossanitário da edificação habitacional. Cabe destacar que, para a grande maioria dos critérios a avaliação de desempenho remete às verificações do projeto. Os sistemas hidrossanitários devem atender aos requisitos e critérios à segurança estrutural, segurança contra incêndio e segurança do uso e operação.

Quanto aos requisitos e critérios de habitabilidade o sistema hidrossanitário deve atender ao desempenho quanto: a estanqueidade à água, acústico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade e o conforto tátil e antropodinâmico. Por fim, a Norma estabelece que o sistema hidrossanitário deve atender aos requisitos e critérios de sustentabilidade quanto à durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

ANEXO B – Modelos de Edificações Térreas com SVVE inovadores.

BB.1 MODELOS PARA ESTUDO DE CASO

A seguir são descritos os modelos de edificações HIS térreas e os dois modelos de edificações térreas destinados a escola/creches selecionados para compor o estudo de caso desta tese.

BB 1.1 Modelo A

O modelo A é considerado inovador e desde julho de 2009 possui Diretriz SINAT n°001 – *Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas Construtivos em Paredes de Concreto Armado Moldadas no Local* –, atualmente, já está na segunda revisão, datada de agosto de 2011. Durante o período de desenvolvimento deste trabalho, também, houve a homologação pela ABNT da NBR 16055 – *Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações — Requisitos e Procedimentos* – datada de maio de 2012.

O modelo A faz parte de um conjunto de quatro casas conjugadas, todas construídas com o mesmo sistema construtivo. A fundação é em radier de concreto armado, com espessura de 10 cm e viga de borda com altura de 30 cm. As paredes possuem função estrutural e de vedação e foram executadas em concreto armado moldado no local com fôrmas de alumínio, posteriormente retiradas. O concreto utilizado é autoadensável com resistência característica de 20MPa, aos 28 dias, e massa específica entre 1900 e 2100 kg/m³.

A cobertura é composta por perfis metálicos que são usados para formar tesouras e terças. As telhas são cerâmicas fixadas com arame na estrutura de cobertura. Logo abaixo das telhas é usado uma manta aluminizada com 2 mm de espessura. Os oitões externos e o fechamento da parte superior da fachada dos fundos é feito por placas cimentícias de espessura 10 mm e fixados por parafusos na estrutura da cobertura. O fechamento entre as casas, na cobertura, é de gesso acartonado de espessura de 12,5 mm. O forro é formado por placas de gesso acartonado com espessura de 12,5 mm.

As esquadrias são em PVC com vidros de 3 mm de espessura, sendo que a janela do dormitório é dotada de persiana. As portas externas são em madeira maciça e as internas em madeira semioca, todas pintadas e fixadas com parafusos e buchas.

O protótipo de ensaio do modelo A é constituído por: sala de estar/cozinha com área de 13,90 m², um dormitório com área de 9,69 m² e um banheiro com área de 3,19 m². O total de área construída em cada casa é de 29,70 m². O pé direito é de 2,60 m e o telhado tem 1,88 m de altura na cumeeira. As Figuras BB.1, BB.2 e BB.3 apresentam o projeto arquitetônico e os cortes AB e BB, respectivamente, e a Figura BB.4 mostra uma vista geral do conjunto de casas do modelo A construída no local do empreendimento para a realização da avaliação de desempenho.

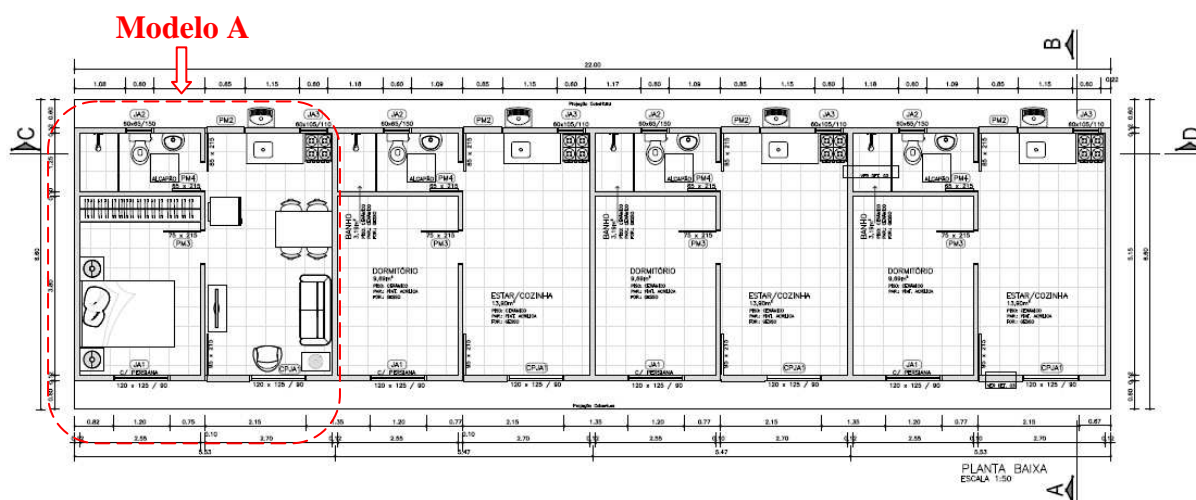


Figura BB.1 – Planta baixa do conjunto de quatro casas, destacando o modelo A usado para a realização dos ensaios técnicos.

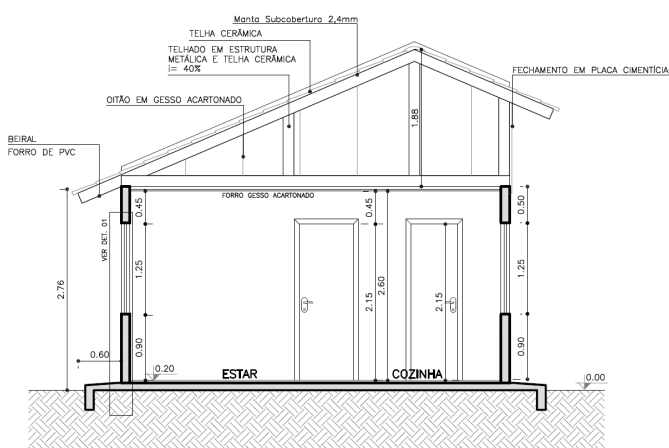


Figura BB.2 – Corte AB do modelo A.

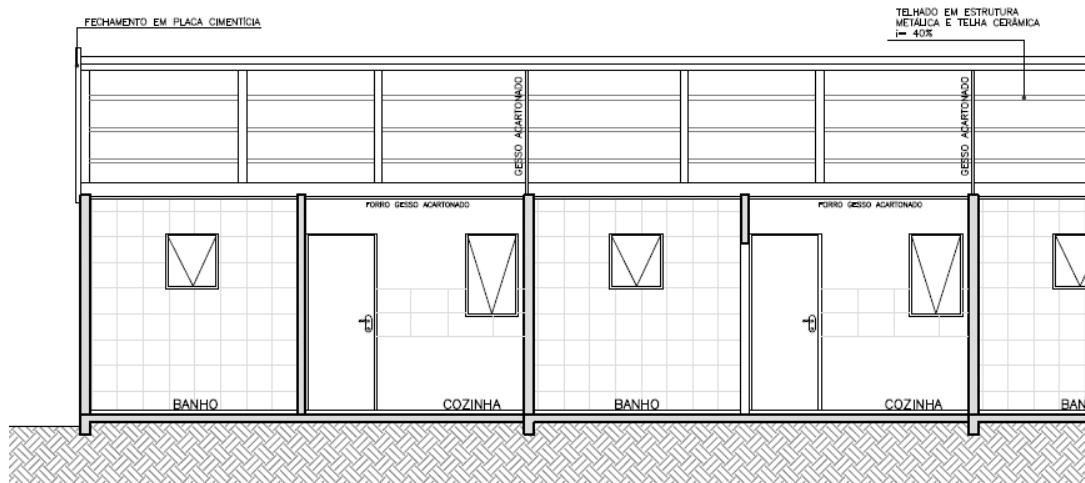


Figura BB.3 – Parte do Corte CD do modelo A.



Figura BB.4 – Vista geral do conjunto de quatro casas, destacando o modelo A usado para a realização dos ensaios técnicos.

BB 1.2 Modelo B

O modelo B é considerado inovador e desde novembro de 2009 possui Diretriz SINAT n°002 – *Sistemas construtivos integrados por painéis estruturais pré-moldados, para emprego em casas térreas, sobrados e edifícios habitacionais de múltiplos pavimentos* –, atualmente, apresenta uma revisão, datada de julho de 2012, intitulada: *Sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais*.

O modelo B foi realizado em concreto armado pré-moldado. A fundação é composta por vigas baldrames de concreto moldados no local e placas de concreto pré-moldado na espessura de 10 cm. O sistema estrutural é composto por componentes (pilares e vigas) pré-moldados em concreto armado, com resistência característica de 20 MPa, aos 28 dias, e massa específica próxima a 2.300 Kg/m³.

As paredes são compostas por placas pré-moldadas em concreto armado com a incorporação de ar, com resistência característica de 12 MPa, aos 28 dias, e massa específica próxima a 1800Kg/m³. As placas possuem dimensões de (350x2600x50) mm, largura, altura e espessura, respectivamente. Na montagem são intertravadas verticalmente e as juntas verticais rejuntadas com cimento cola. As paredes tem revestimento interno e externo. O interno tem uma camada de tinta acrílica e o externo é composto por três camadas (selante, textura e tinta emborrachada).

A cobertura é composta por tesouras e terças de madeira e o telhado com telha cerâmica. Os oitões externos são de placas cimentícias, espessura 10 mm, fixados por parafusos na estrutura do telhado. O forro é de madeira. As esquadrias são de madeira maciça e com vidros de 3 mm de espessura e as janelas possuem venezianas. As portas externas são madeira maciça e as internas em madeira semioca. As Figuras BB.5 e BB.6 apresentam o projeto na planta baixa e a vista da fachada principal do modelo B.

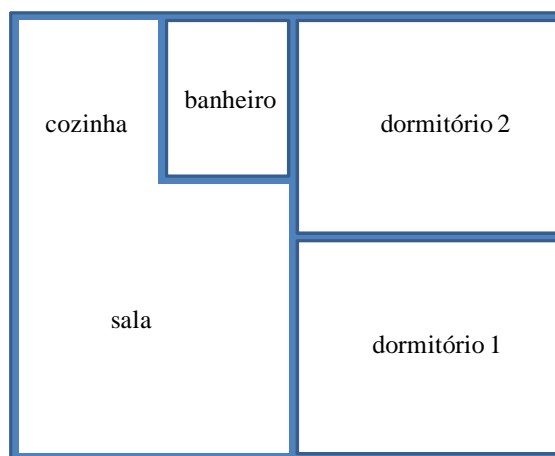


Figura BB.5 – Desenho esquemático da planta baixa do modelo B.



Figura BB.6 – Vista da fachada do modelo B.

BB 1.3 Modelo C

O modelo C é considerado inovador e desde 2002, é utilizado na construção de edificações HIS térreas, autorizado pela CEF, por intermédio da aprovação do Relatório Técnico RT 04, UFRGS/LEME (2002). Em setembro de 2010 foi publicada a Diretriz SINAT n°004 – *Sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas)*, onde estabelece o desempenho mínimo que o sistema deve atender para ser considerado adequado ao uso.

O modelo C é composto por paredes sanduíches (PVC + núcleo de concreto + PVC). A fundação é radier em concreto armado, com espessura de 10 cm. As paredes possuem 75 mm de espessura e 2,60 m de pé-direito. As paredes utilizam formas permanentes de PVC para moldagem do concreto que incorpora no seu traço resíduo industrial do setor calçadista E.V.A.¹, areia do processo de britagem de rocha basáltica e incorporador de ar. Essa mistura tem como resistência característica 3 MPa, aos 28 dias, e massa específica em torno de 1770kg/m³.

¹ O E.V.A. é obtido do Etileno com Acetato de Vinila, usado pelo setor calçadista na confecção de acessórios para calçados, suas aparas que resultam do processo são descartadas em aterros sanitários.

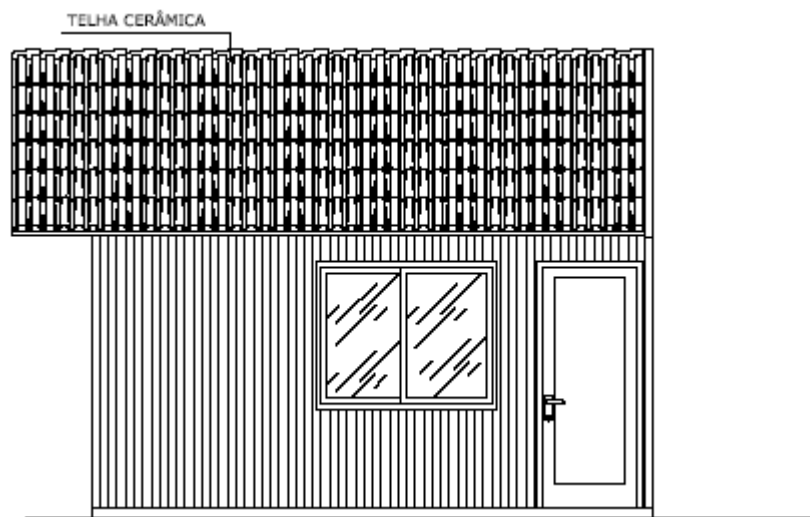


Figura BB.8 – Corte BB do modelo C.

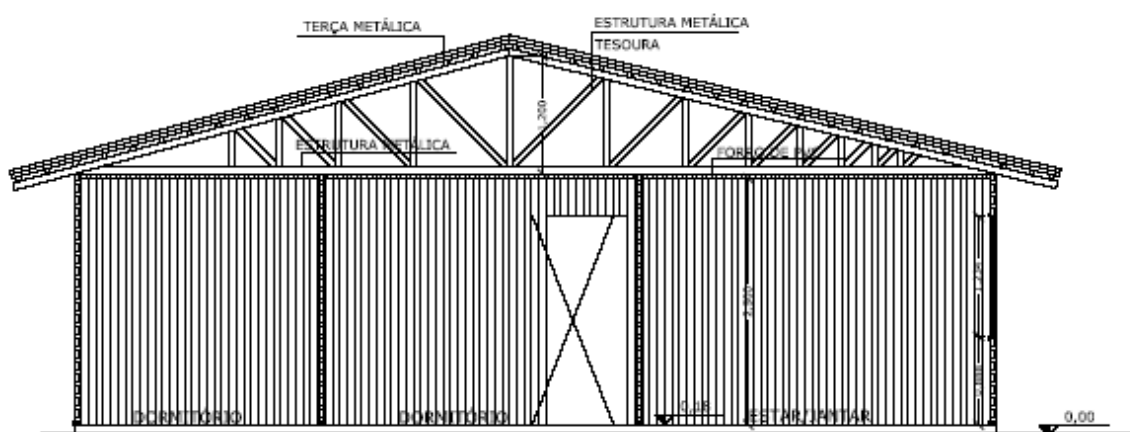


Figura BB.9 – Corte AA do modelo C.



(a)



(b)

Figura BB.10 – Vista das fachadas do protótipo do modelo C: (a) principal e (b) lateral.

BB 1.4 Modelo D

O modelo D é inovador e apresenta novos conceitos de estabilidade estrutural e material nada usual na composição de componentes e elementos do sistema construtivo, frente a edificações habitacionais do mercado brasileiro. Atualmente, encontra-se em discussão a Diretriz SINAT (s/nº) – *Sistemas construtivos formados por painéis estruturais pré-fabricadas constituídos por chapas delgadas e núcleo de isolante térmico rígido* –, com o objetivo de estabelecer o desempenho mínimo para sistemas, ainda sem data para ser publicada.

O modelo D é constituído de painéis sanduíches (placas de aço galvalume + núcleo de PU + placas de aço galvalume). A fundação é radier em concreto armado, com espessura de 10 cm. As paredes (internas e externas) são constituídas pelos painéis sanduíches com função estrutural e de vedação, com peso estimado em 11,13 Kg/m². Os painéis possuem larguras diferentes, mas preservam a altura e espessura, 2,50 m e 60 mm, respectivamente. Os painéis são encaixados com o sistema macho/fêmea e junta selada por fita adesiva de poliuretano. As paredes são enrijecidas por meio de cabos de aço tensores que atravessam os painéis na parte inferior e superior.

A cobertura é composta por telhas autoportantes do tipo sanduíche (chapa de aço galvalume + EPS + chapa de aço galvalume). Para o fechamento frontal (oitões) e no interior do protótipo (fechamento entre o final da parede central e a cumeeira) são utilizados painéis sanduíche (chapas de aço galvalume + EPS + chapa de aço galvalume). As esquadrias são em alumínio com vidros de 3 mm de espessura e as portas são formadas do próprio painel sanduíche (chapa de aço galvalume + PU + chapa de aço galvalume) e o acabamento nas laterais com perfis metálicos.

O protótipo do modelo D é constituído de dois quartos, um banheiro e uma sala/ cozinha integrada, totalizando 39,41 m², conforme pode ser observado na Figura BB.11. Já a Figura BB.12 apresenta-se duas vistas do protótipo construído.

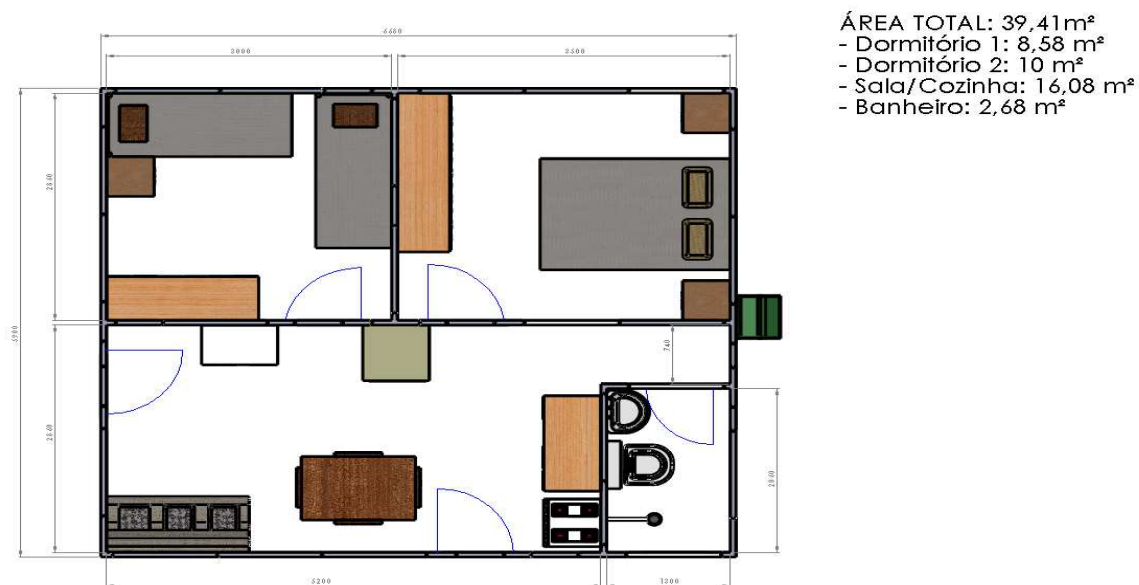


Figura BB.11 – Planta baixa do projeto arquitetônico do modelo D.

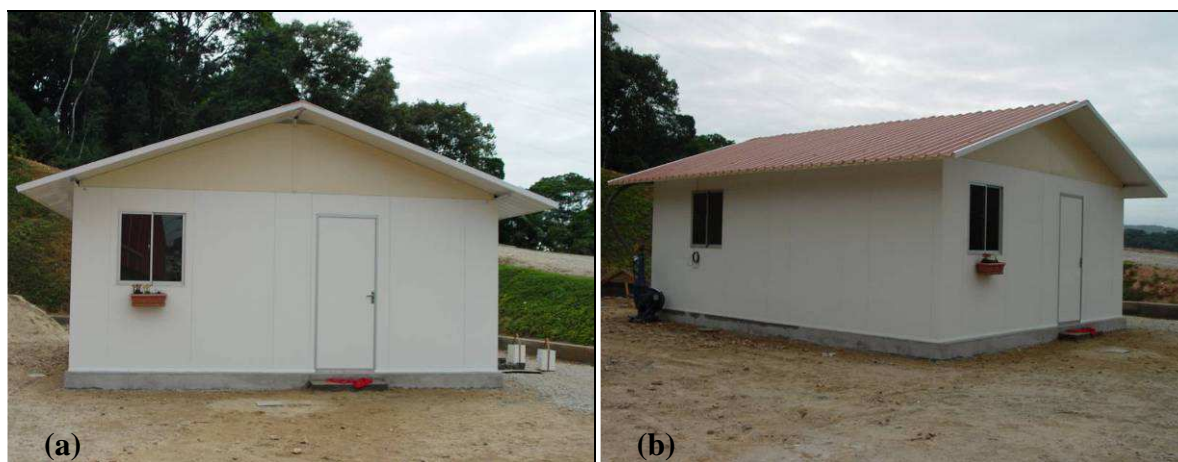


Figura BB.12 – Protótipo modelo D: (a) vista frontal e (b) vista em perspectiva.

BB 1.5 Modelo E, F e G

Cabe destacar que os modelos E, F e G foram utilizados para incorporar a base de dados do ensaio de ação de calor e choque térmico, visto que dentre os modelos apresentados acima (A, B, C e D) apenas no modelo D foi aplicado o ensaio referido. Destaca-se, também, que o modelo E tem sua utilização voltada a edificações HIS térreas e os modelos F e G tem como finalidade de utilização para edificações térreas como, por exemplo, escolas e creches.

BB 1.5.1 Modelo E

O modelo E embora seja construído com técnica construtiva convencional, alvenaria, é inovador nos materiais que compõem os blocos (componentes) e no encaixe dos mesmos. O principal componente constituinte do sistema de alvenaria são os blocos compostos por cinzas pesadas de carvão mineral, cal, cimento, areia e água, produzidos em dimensões de (30x15x12) cm.

O segmento de parede (corpo de prova), construídos de blocos compostos por cinzas pesadas de carvão mineral para ensaios, foram executados por encaixe simples dos blocos, juntas secas; posteriormente, as juntas são rejuntadas nas duas faces da parede com rejunte flexível. O acabamento das paredes é feito com uma camada de fundo reparador e três demãos de pintura acrílica. A Figura BB.13 apresenta os blocos compostos por cinzas pesadas de carvão mineral e a Figura BB.14 apresenta o rejuntamento dos blocos.



(a)



(b)

Figura BB.13 – Modelo E: (a) blocos de cinza pesada de carvão mineral e (b) segmento de parede sendo montado para os ensaios.



Figura BB.14 – (a) Segmento de parede do modelo E: (a) sendo rejuntado e (b) com a aplicação de três camadas de tinta acrílica.

BB 1.5.2 Modelo F

O modelo F é inovador na composição do SVVE que apresenta painel sanduíche (placas de *Glass Reinforced Concrete (GRC)* + núcleo de lã de vidro + placa de *Oriented Strand Board (OSB)* + placa de gesso acartonado). Os painéis possuem dimensões de (3,00 x 3,05) m, comprimento e altura, respectivamente, com espessura de 212 mm. A Figura BB .15 apresenta uma visão geral do painel ensaiado.



Figura BB. 15 – Vista geral do painel sanduíche do modelo F.

BB 1.5.3 Modelo G

O modelo G é inovador no SVVE composto de painel sanduíche (lâmina de PRFV² + placa de gesso acartonado + núcleo de EPS + placa de gesso acartonado + lâmina de PRFV) unidos por pilares e vigas de perfil pultrudado constituídos de matriz polimérica termofixa reforçada com fibra de vidro. O segmento de parede composto pelo painel, pilares e vigas (corpo de prova) para ensaio tem dimensões de (2,0 x 2,5) m, comprimento e altura, respectivamente, com espessura de 96 mm. A Figura BB.16 apresenta visão geral do segmento de parede ensaiado.



Figura BB.16 – Vista geral do painel sanduíche do modelo G.

²PRFV é uma lâmina de plástico reforçada com fibra de vidro

BB.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos selecionados possuem características distintas quanto à composição de seus SVVE, permitindo classificá-los em sistemas PESADOS ou LEVES. Para a NBR 15575 – Parte 2 (2013) um componente/elemento estrutural é considerado LEVE quando a massa específica for menor ou igual a 1.200 kg/m^3 ou o peso próprio menor ou igual a 60 kg/m^2 . A Tabela BB.1 apresenta os modelos, a descrição e função de cada SVVE e a classificação de PESADO ou LEVE quanto à massa específica ou peso próprio.

Tabela BB.1 – Classificação do SSVE de cada modelo quanto à massa específica ou ao peso próprio.

Mod	SVVE	Função Elemento	Massa Específica $\geq 1.200 \text{ kg/m}^3$	Peso Próprio		Classificação
				$\geq 60 \text{ kg/m}^2$	$\leq 60 \text{ kg/m}^2$	
A	Parede de concreto moldado no local	Estrutural /Vedação Vertical	X			PESADO
B	Placa de concreto pré-moldado	Vedação Vertical	X			PESADO
C	Parede de concreto moldada no local com forma permanente de PVC	Estrutural/ Vedação Vertical	X			PESADO
D	Painéis de chapas de aço e recheio de PU	Estrutural/ Vedação Vertical			X	LEVE
E	Parede de blocos de cinza pesada de carvão mineral	Vedação Vertical		X		PESADO
F	Painéis de placa de GRC, lâ de vidro, placa de OSB e placa de gesso acartonado.	Vedação Vertical		X		PESADO
G	Painéis de PRFV, gesso acartonado e EPS.	Vedação Vertical			X	LEVE