

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

**Fernanda Ramos Moraes**

**SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNO  
COMPOSTO POR CONCRETO E PVC FRENTE AO ENSAIO  
DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO – NORMA  
DE DESEMPENHO NBR 15575/2013**

Porto Alegre  
julho 2015

**FERNANDA RAMOS MORAES**

**SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNO  
COMPOSTO POR CONCRETO E PVC FRENTE AO ENSAIO  
DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO – NORMA  
DE DESEMPENHO NBR 15575/2013**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Luciani Somensi Lorenzi**

Porto Alegre

julho 2015

**FERNANDA RAMOS MORAES**

**SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNO  
COMPOSTO POR CONCRETO E PVC FRENTE AO ENSAIO  
DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO – NORMA  
DE DESEMPENHO NBR 15575/2013**

Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 03 de julho de 2015

Profa. Luciani Somensi Lorenzi  
Dra. pelo PPGEC/UFRGS  
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt  
Dra. pelo PPGA/UFRGS  
Coordenadora

Prof. Jean Marie Désir  
Dr. pelo COPPE/UFRJ  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Luciani Somensi Lorenzi**  
(UFRGS)  
Dra. pelo PPGEC/UFRGS

**Profa. Luciane Fonseca Caetano**  
(UFRGS)  
Msc. pelo PPGEC/UFRGS

**Morgane Bigolin**  
Msc. pelo PPGEC/UFRGS

**Profa. Vanessa Fátima Pasa Dutra**  
(UFRGS)  
Dra. pelo PPGEC/UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Brasilino (*in memoriam*)  
e Maria da Conceição, que sempre me apoiaram  
e me incentivaram a trabalhar duro para  
alcançar os meus objetivos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para enfrentar todos os obstáculos que encontrei ao longo dessa caminhada.

Agradeço aos meus pais, Brasilino (*in memoriam*) e Maria da Conceição, por todo o amor que me dedicaram, pelas palavras de incentivo durante essa jornada e pelo conhecimento que me proporcionaram durante toda minha vida. Agradeço ao meu irmão, Matheus, pela amizade, e por compreender a minha ausência durante todos esses anos.

Agradeço ao meu namorado, Giovane, pelo amor que me dedica, pelo companheirismo durante toda essa jornada, pela ajuda na realização deste trabalho e pela compreensão quando precisei dedicar boa parte do meu tempo aos estudos.

Agradeço aos meus avós maternos, Floriano (*in memoriam*) e Carmela (*in memoriam*), pelo amor incondicional que me dedicaram, pela preocupação com meus estudos e por todos os bons exemplos que vivenciei ao lado deles, fazendo de mim uma pessoa melhor. E, aos meus avós paternos, Gregório e Eli, agradeço pelo carinho que sempre me dedicaram, pelo apoio em momentos difíceis e pela alegria que me transmitem sempre que posso estar perto deles.

Agradeço aos meus sogros, Jesus e Margarete, por estarem sempre torcendo por mim, pelo incentivo e pela ajuda durante toda a graduação.

Agradeço à minha orientadora, Luciani Somensi Lorenzi, pela oportunidade de ser sua orientanda, pelo apoio e pelo tempo que dedicou à realização deste trabalho.

Agradeço a todos da equipe do LEME que permitiram o uso do espaço físico e dos aparelhos para a realização dos ensaios. Agradeço aos técnicos Edgar Wallace Pereira e Eurípedes Brasil Fontes pela atenção e disposição em ajudar sempre que precisava. Agradeço à Morgane Bigolin pelo apoio e pelo tempo dedicado ao aprimoramento deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas de graduação Guilherme V., Guilherme C., Luísa, Rodrigo, Taís, Thaís e Vanessa por terem sido meus companheiros durante essa jornada, cuja a amizade ficará para a vida toda.

Agradeço a todos os professores que me acompanharam durante a graduação, especialmente à professora Carin Maria Schmitt pelo auxílio no aperfeiçoamento deste trabalho.

O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar de novo com mais inteligência.

*Henry Ford*

## RESUMO

A industrialização vem conquistando espaço na construção civil, possibilitando ganho na produtividade, redução do custo total da obra e redução da geração de resíduos. Levando isso em consideração, foi escolhido um sistema construtivo inovador que já está sendo usado, mas ainda é pouco conhecido e se encaixa nas características citadas acima. Este trabalho versa sobre a verificação do comportamento de elementos de vedação vertical externos constituídos de painéis de PVC preenchidos com concreto quando submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico de acordo com o estabelecido na NBR 15575-4. Se, após o ensaio, todos os critérios estabelecidos pela NBR 15575-4 forem atendidos, optou-se pela continuação dos ensaios, ou seja, seguir submetendo o corpo de prova à ação de calor e choque térmico até que fossem verificadas mudanças significativas no comportamento do sistema, mas agora levando em consideração a Diretriz SINAT 004 (2010), que estabelece uma temperatura de aquecimento menor se comparada com a estabelecida pela NBR 15575-4. Primeiramente, foi elaborado um plano experimental com o intuito de detalhar os procedimentos e equipamentos necessários para dar início aos ensaios, que foram realizados no Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME). Posteriormente, com a conclusão dos ensaios, foi possível verificar que após serem submetidas aos 10 ciclos, de acordo com a NBR 15575-4, as paredes de Concreto/PVC atenderam a todos os parâmetros de aceitabilidade, não apresentando deslocamentos horizontais instantâneos superiores ao exigido pela referida Norma e não apresentando danos aos painéis de PVC. Por fim, como resultado para os ensaios realizados seguindo as recomendações da Diretriz SINAT 004 (2010), foi possível concluir que os deslocamentos horizontais instantâneos ficaram dentro do permitido, mas no processo de avaliação visual as paredes apresentaram danos ao revestimento de PVC, deixando de atender os parâmetros de destacamento.

Palavras-chave: NBR 15.575. Sistema Concreto/PVC.  
Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa .....	19
Figura 2 – Painéis de PVC para a construção de paredes .....	21
Figura 3 – Esquema de montagem da parede .....	23
Figura 4 – Barras de espera para a ancoragem das paredes .....	24
Figura 5 – Processo de montagem dos perfis de PVC .....	25
Figura 6 – Construções diversas utilizando o sistema Concreto/PVC .....	28
Figura 7 – Composição do PVC .....	30
Figura 8 – Tempo aproximado de vida em serviço de produtos de PVC, em função do percentual de aplicação .....	32
Figura 9 – Barras de aço no interior dos perfis de PVC .....	36
Figura 10 – Posicionamento dos termopares na superfície do corpo de prova e do defletômetro .....	45
Figura 11 – Painel radiante utilizado para o aquecimento e resfriamento do SVVE .....	49
Figura 12 – Painel radiante utilizado para o aquecimento e resfriamento do SVVE .....	49
Figura 13 – Termopar .....	50
Figura 14 – <i>Field logger</i> , termopar adicional e controlador .....	51
Figura 15 – Fixação da parede na parte superior e inferior .....	52
Figura 16 – Defletômetro .....	53
Figura 17 – Transporte, colocação e fixação da parede .....	54
Figura 18 – Parede com o suporte inserido e termopares posicionados .....	54
Figura 19 – Esquema para o descarte da água de resfriamento .....	55
Figura 20 – Placas móveis do painel radiante .....	56
Figura 21 – Monitoramento da temperatura .....	57
Figura 22 – Corpo de prova instrumentado .....	58
Figura 23 – Etapa B da parede 1 .....	60
Figura 24 – Etapa B da parede 2 .....	60
Figura 25 – Disposição dos termopares no corpo de prova .....	61
Figura 26 – Legenda .....	64
Figura 27 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C .....	65
Figura 28 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C .....	66
Figura 29 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C .....	67
Figura 30 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C .....	68
Figura 31 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C .....	68

Figura 32 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C .....	69
Figura 33 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C .....	70
Figura 34 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C .....	71
Figura 35 – PVC danificado ao final da etapa B na parede 1 .....	75
Figura 36 – PVC danificado ao final da etapa B na parede 2 .....	75
Figura 37 – PVC danificado ao final da etapa C na parede 1 e parede 2 .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Orçamento disponibilizado pela Differ Construção .....	27
Tabela 2 – Concreto leve: solução estudada pela UFRJ e aplicada pela Royal do Brasil Technologies .....	35
Tabela 3 – Deslocamentos da parede 1 .....	63
Tabela 4 – Deslocamentos da parede 2 .....	63
Tabela 5 – Tempo de aquecimento e resfriamento .....	73

## **LISTA DE SIGLAS**

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

EPS – Poliestireno Expandido

ETAG – *European Technical Approval Guidelines*

ISO – *International Organization for Standardization*

LEME – Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais

NBR – Norma Brasileira

PVC – Policloreto de Vinila

SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

SVVE – Sistemas de Vedação Vertical Externo

SVVIE – Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UV – Ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	16
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	16
<b>2.2.2 Objetivo Secundário</b> .....	16
2.3 PRESSUPOSTO .....	17
2.4 DELIMITAÇÕES .....	17
2.5 LIMITAÇÕES .....	17
2.6 DELINEAMENTO .....	17
<b>3 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL CONCRETO/PVC</b> .....	20
3.1 CONCEITOS BÁSICOS E CARACTERÍSTICAS .....	20
3.2 COMPONENTES DO SISTEMA CONCRETO/PVC .....	28
<b>3.2.1 PVC</b> .....	28
<b>3.2.2 Concreto</b> .....	31
<b>3.2.3 Armadura</b> .....	34
3.3 VANTAGENS DO SISTEMA CONCRETO/PVC .....	35
<b>4 NORMA DE DESEMPENHO</b> .....	38
4.1 INTRODUÇÃO .....	38
4.2 ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO .....	41
<b>4.2.1 Parâmetros de aceitabilidade</b> .....	43
<b>4.2.2 Procedimentos de ensaio</b> .....	43
<b>4.2.3 Relatório de ensaio</b> .....	44
<b>4.2.4 Vida útil de projeto</b> .....	45
<b>5 DIRETRIZ SINAT</b> .....	46
<b>6 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	47
6.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	47
<b>6.1.1 Painel radiante</b> .....	47
<b>6.1.2 Termopares e registrador das temperaturas</b> .....	49
<b>6.1.3 Dispositivo para fixação do corpo de prova</b> .....	51
<b>6.1.4 Defletômetro</b> .....	51
6.2 MONTAGEM DO ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO .....	52
6.3 REALIZAÇÃO DO ENSAIO .....	56

<b>7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
<b>8 CONCLUSÕES .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em um mercado competitivo como o da construção civil, existe uma grande variedade de soluções criadas para reduzir custos, otimizar processos ou melhorar a qualidade dos projetos de edificações e de infraestrutura. Um novo caminho que a construção no Brasil vem seguindo é o da industrialização nos canteiros de obra, substituindo o processo artesanal.

Uma alternativa que vem ganhando espaço no Brasil, podendo ser aplicado em construção para uso privado ou de interesse público e social, é o sistema construtivo formado por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto. Essa solução construtiva se caracteriza pelo uso dos painéis de PVC desempenhando a função de fôrma, revestimento e acabamento final, proporcionando uma maior simplicidade construtiva e, conseqüentemente, um maior nível de racionalização.

Esse sistema segue um conceito bem simples e prático, com diversas vantagens se comparada ao sistema convencional, apresentando uma nova maneira de projetar e construir. Trata-se de um sistema modular constituído por painéis leves de PVC, de encaixe simples e rápido dos módulos, com alturas e espessuras variáveis se adequando ao projeto. Após a montagem, o painéis são preenchidos internamente com concreto e aço estrutural.

Do ponto de vista da preservação do ambiente, o sistema Concreto/PVC torna a obra altamente sustentável, pois a economia no consumo de energia elétrica e no consumo de água durante a obra é significativa. A construção é limpa, sem entulho e sem desperdício, com a vantagem do PVC ser reciclável.

Independente do sistema construtivo escolhido, o desempenho de um edifício é muito importante, pois está associado ao comportamento dos mesmos quando em utilização. A NBR 15575/2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, (Norma de Desempenho), traz mudanças significativas para a construção civil. A versão anterior era restrita a edifícios residenciais de até cinco pavimentos, sendo agora mais abrangente e contemplando projetos habitacionais de qualquer porte. O conjunto normativo traz também como novidade o conceito de comportamento em uso dos componentes e sistemas da edificação, sendo que a construção habitacional deve atender e cumprir as exigências dos usuários ao longo dos anos.

Ao contrário de outras normas técnicas, a Norma de Desempenho deixou de ser somente prescritiva, e passou a estabelecer requisitos mínimos de desempenho, ou seja, avaliando seu comportamento em uso, a função a que se destina e as condições de exposição. Em relação às partes envolvidas, a Norma segregou as obrigações e responsabilidades inerentes a cada uma delas. Iniciando pelo incorporador, projetista e construtor, atingindo os fabricantes que precisam desenvolver produtos que atendam os requisitos mínimos e traz aos usuários a incumbência das atividades de manutenção para a preservação da vida útil da edificação.

A Norma de Desempenho propõe diferentes métodos para a avaliação de desempenho: ensaios experimentais, simulações, análises teóricas e inspeções técnicas. Cada qual com sua importância para a análise dos requisitos mínimos. Cada parte da Norma foi organizada por sistemas construtivos, seguindo uma sequência de requisitos relativos à segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Este trabalho se concentra no grupo de requisitos relativos à sustentabilidade que é, por sua vez, dividida em durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

O presente trabalho destaca o item durabilidade, sendo que para a avaliação desse requisito uma das formas propostas pela ABNT NBR 15575 Parte 4, específica para Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE), sendo referenciada a partir daqui por NBR 15575-4, é através do ensaio de ação de calor e choque térmico, que objetiva verificar o comportamento de sistemas de vedação vertical externo (SVVE) quanto a ocorrência de degradações na superfície externa e os deslocamentos horizontais instantâneos do sistema. O SVVE é submetido a 10 ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento com a finalidade de simular as condições de exposição de uma edificação durante sua vida útil, sendo exigido que o ensaio seja realizado em pelo menos dois corpos de prova.

O ensaio de ação de calor e choque térmico é novo na construção civil e, à medida que ele se demonstra significativo torna-se maior a justificativa para seu aprimoramento, objetivando maior precisão e clareza dos seus resultados.

Em vista disso, este trabalho objetiva avaliar o comportamento do SVVE, constituído de painéis de PVC preenchidos com concreto, frente a sucessivos ciclos de aquecimento e resfriamento, a fim de analisar a possível degradação do sistema, bem como um deslocamento horizontal instantâneo além dos limites de norma. Esse ensaio foi escolhido por ter sido pouco

discutido e pela importância dos resultados referentes à durabilidade de uma edificação quando exposta à variação repentina de temperatura, assunto expressivo em países como o Brasil, onde as características climáticas podem apresentar situações de variação de temperatura extremas.

A escolha desse sistema construtivo, foi em função das inúmeras vantagens que o mesmo oferece em relação aos processos tradicionais. O fato desse sistema ser completo, ou seja, englobar a estrutura, vedação e revestimento de uma edificação, o torna vantajoso em muitos aspectos, como por exemplo, a redução do custo, menor diversidade de materiais empregados e maior rapidez e facilidade de construção. Outra razão que motivou a escolha por esse sistema, é o fato de não se ter grande conhecimento a respeito de seu comportamento durante a sua vida útil, devido ao seu surgimento recente na construção civil.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

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

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: submetendo o SVVE composto por concreto e PVC a ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento, de acordo com o estabelecido na NBR 15575-4, qual o comportamento apresentado pelo sistema?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal é a verificação do comportamento do SVVE de Concreto/PVC quando submetido a ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento de acordo com o estabelecido na NBR 15575-4.

#### **2.2.2 Objetivo secundário**

Os objetivos secundários são:

- a) submeter o SVVE de Concreto/PVC já ensaiado a 10 ciclos de ação de calor e choque térmico, conforme a NBR 15575-4, a novos ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento, de acordo com a Diretriz SINAT 004 (2010), até que mudanças significativas no comportamento deste sistema sejam observadas;

- b) registrar os resultados observados ao longo dos ciclos de aquecimento e resfriamento a fim de analisar os deslocamentos horizontais instantâneos e residuais e as possíveis degradações causadas pelo aumento de ciclos de aquecimento e resfriamento do SVVE.

## 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os procedimentos de ensaio para verificação do comportamento de SVVE exposto à ação de calor e choque térmico descritos na NBR 15575-4 são válidos para a definição da durabilidade desses sistemas.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a ensaios de ação de calor e choque térmico em SVVE de Concreto/PVC.

## 2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) os corpos de prova, submetidos aos ensaios de ação de calor e choque térmico, foram fabricados pela empresa A e doados ao Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME);
- b) os corpos de prova são compostos por fôrma perdida de PVC, com espessura de 1,7 mm e preenchidos com concreto de 20 MPa;
- c) os corpos de prova tem 1,20 m de largura, 2,40 m de altura e 0,07 m de espessura;
- d) o confinamento da parede, simulando uma situação próxima da real, foi feito por meio da utilização de um pórtico metálico ajustável na parte inferior e superior do corpo de prova.

## 2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração do plano experimental;
- c) realização dos ensaios, seguindo o número de ciclos estabelecidos pela Norma de Desempenho (Fase 1);
- d) análise dos resultados;
- e) continuidade aos ensaios até que mudanças significativas no comportamento deste sistema fossem identificadas, seguindo a Diretriz SINAT 004 (2010) (Fase 2);
- f) análise dos resultados;
- g) comparação dos resultados;
- h) conclusões.

Inicialmente foi realizada a **pesquisa bibliográfica**, visando aprimorar o conhecimento sobre o tema escolhido. Para isso, foi consultada a Norma de Desempenho e bibliografia técnica, como livros, trabalhos de conclusão, teses, dissertações e artigos. Esta etapa se desenvolveu durante todo o trabalho, mas com uma maior intensidade nas fases iniciais.

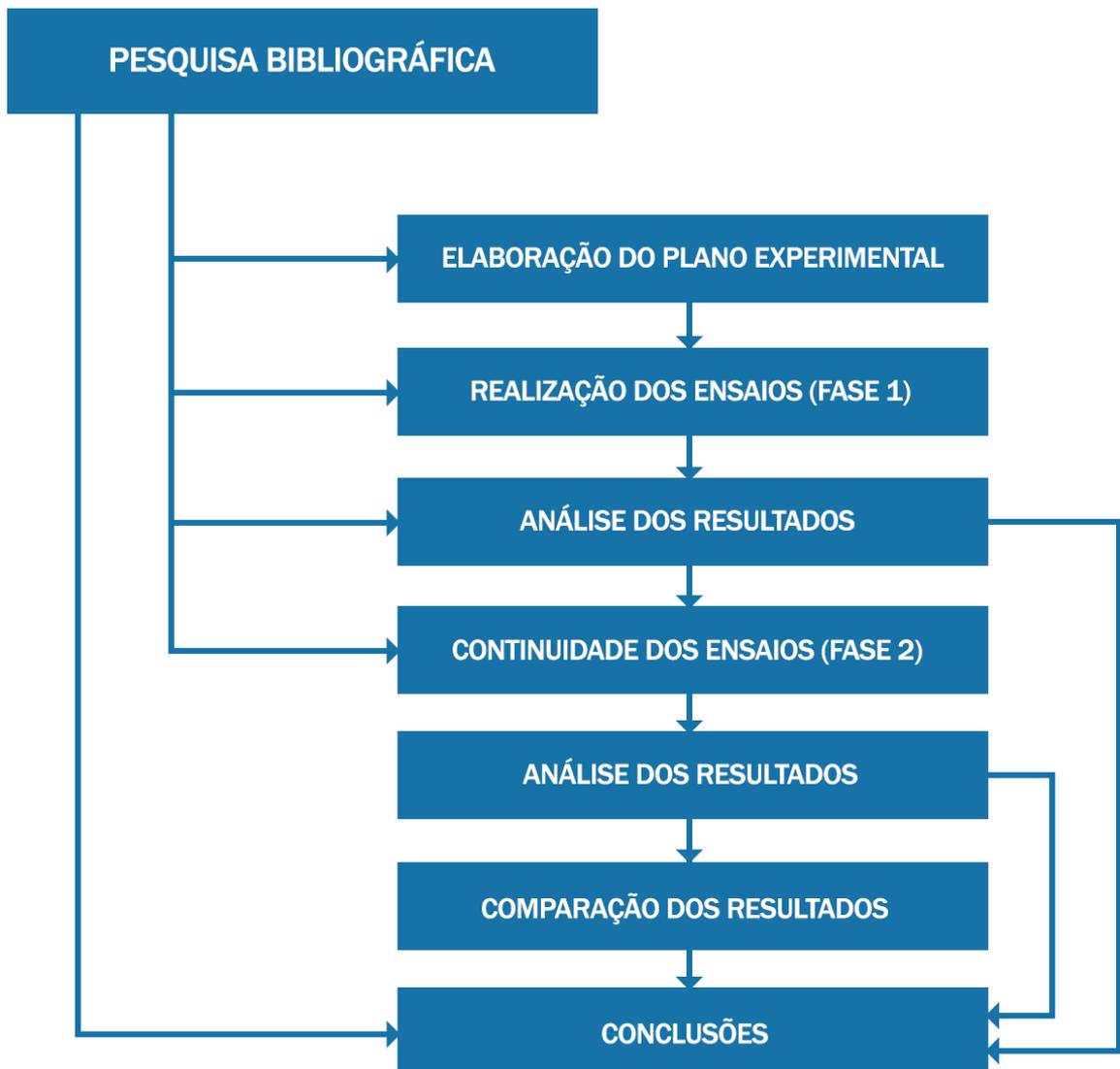
Posteriormente, na etapa **elaboração do plano experimental**, foram determinados os detalhes dos ensaios laboratoriais. Nessa fase, definiu-se as características dos corpos de prova a serem ensaiados, assim como, os procedimentos e instrumentação do ensaio de ação de calor e choque térmico. Definido o plano experimental, o próximo passo foi a preparação para o início dos ensaios conforme o planejado.

Na etapa seguinte, **realização dos ensaios, seguindo o número de ciclos estabelecidos pela Norma de Desempenho (Fase 1)**, os corpos de prova são submetidos a 10 ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento. Durante o ensaio e após o término, foi verificado se houve aparecimento de deteriorações em ambas as faces do corpo de prova e registrado o deslocamento horizontal. Com o término do ensaio e de posse dos dados foi realizada a **análise dos resultados**, quando é verificado o atendimento aos critérios apresentados pela Norma.

Caso não fossem verificadas mudanças significativas no comportamento do SVVE escolhido, deu-se **continuidade aos ensaios até que mudanças significativas no comportamento deste sistema fossem identificadas, seguindo a Diretriz SINAT 004 (2010) (Fase 2)**. Concluída essa etapa, é realizada a **análise dos resultados**.

Com os dados da Fase 1 e Fase 2 conhecidos, é concretizada a **comparação dos resultados** obtidos relacionando os dois ensaios, seguida das **conclusões** finais, completando dessa forma a pesquisa.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

### 3 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL CONCRETO/PVC

Neste capítulo é apresentada uma descrição do sistema construtivo formado por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto. Trazendo seus conceitos básicos e suas características, apresentação de seus principais componentes e vantagens desse sistema.

#### 3.1 CONCEITOS BÁSICOS E CARACTERÍSTICAS

Quanto ao sistema Concreto/PVC, Schmidt (2013, p. 43) afirma que:

[...] este sistema construtivo se caracteriza por apresentar um padrão alternativo aos elementos tradicionais de edificação de paredes estruturais. Ao passo que a construção convencional se utiliza predominantemente de tijolos e blocos, sejam eles cerâmicos, de concreto ou de qualquer outro material, o método construtivo neste caso está fundamentado na utilização de painéis ocios de PVC.

Em relação à origem desse sistema, Gonçalves (2010, p. 34) informa que:

[...] foi desenvolvido no Canadá por Vic de Zen e possui marca registrada pela *Royal Group Technologies Limited*. O grupo tem seis fábricas espalhadas pelo mundo, a matriz está situada no Canadá, e as filiais estão no México, China, Colômbia, Polônia e Argentina, sendo esta última a responsável por atender os países do Mercosul.

As primeiras casas construídas no Brasil utilizando o sistema Concreto/PVC “[...] foram as 130 unidades de um condomínio em Canoas (RS), entre 2001 e 2002. Os perfis de PVC, que ainda não eram produzidos no País, foram importados da Argentina.” (FARIA, 2008, p. 44).

De acordo com Guimarães (2014, p. 40), “No Brasil a primeira empresa especializada neste sistema construtivo foi implantada em 2002.”. Quanto ao propósito do surgimento do sistema Concreto/PVC, o autor declara que o mesmo “[...] foi concebido para diminuir a quantidade de materiais utilizados em uma obra e também para diminuir o tempo de execução de uma obra.”.

Referente ao tipo de edificação, “A tecnologia é indicada para a produção de paredes estruturais para casas isoladas ou geminadas, térreas ou assobradadas, podendo ser adotada em qualquer uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras.” (CICHINELLI, 2013, p. 42).

O sistema RBS, desenvolvido pela *Royal Group Technologies Limited*, trabalha com perfis modulares de duplo encaixe que são montados verticalmente na obra. Para a montagem das paredes são utilizados painéis com espessuras de 22 mm, 64 mm, 100 mm e 150 mm (figura 2), sendo este último para climas extremos.

O uso dos painéis de 100 mm e 150 mm de espessura possibilitam a construção de edificações de até 5 pavimentos (térreo mais 4 andares), sendo necessário o uso de concreto estrutural, mas dispensa as estruturas convencionais (vigas e pilares) (ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015).

Figura 2 – Painéis de PVC para a construção de paredes



(fonte: ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015)

De acordo com o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (2010, p. 5), “Para cada tipo de unidade habitacional e para cada local de implantação é essencial que seja elaborado um cálculo estrutural específico, por profissional habilitado, com a respectiva memória de cálculo.”

A Global Housing é uma empresa brasileira com sede em Santa Catarina que juntamente com a Brasken, uma das mais importantes corporações petroquímicas do mundo e a Dupont, reputada a maior e mais importante empresa de ciência e pesquisa, desenvolve soluções e sistemas construtivos em Concreto/PVC. Sendo que, a Brasken fornece a resina de PVC e a

Dupont fornece o dióxido de titânio, que são usados na composição da fórmula que dá origem aos perfis. A Global Housing teve a ideia de desenvolver o Concreto/PVC inspirada numa tecnologia semelhante existente no Canadá, aprimorando e adaptando essa tecnologia às condições ambientais e climáticas brasileiras e criando uma formulação para fabricar os módulos. Existem ainda outras empresas similares na Austrália, México e Venezuela.

A Braskem fornece cerca de 300 toneladas de produto por mês, o material chega em forma de pó que depois é fundido na fábrica da Global Housing juntamente com os outros componentes da formulação. A cor branca é dada pelo PVC e pelo dióxido de titânio, substância que também protege contra os raios ultravioleta do sol, evitando microrrachaduras e escamações do plástico, preservando o desempenho mecânico e aumentando a durabilidade do produto.

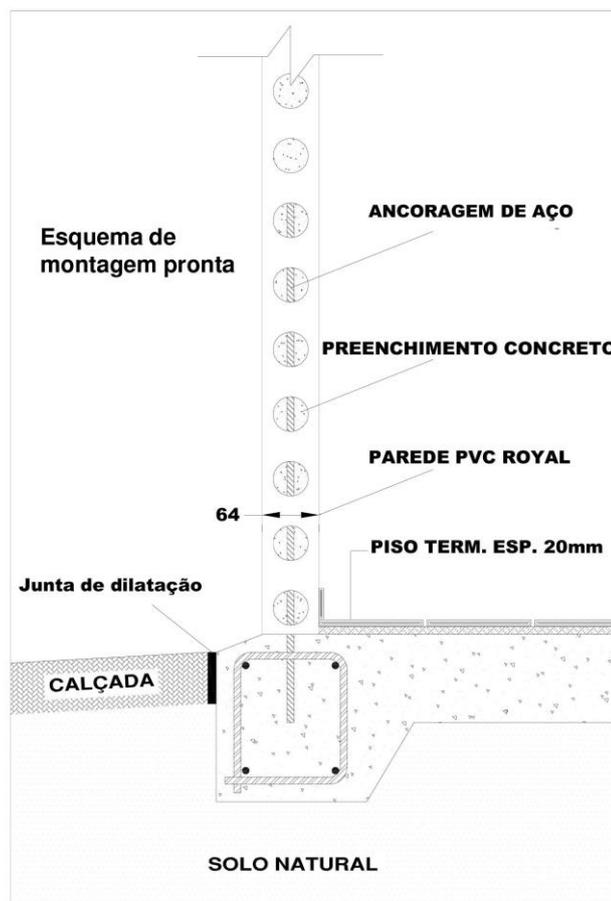
A Global Housing trabalha com 10 tipos de perfis, cada um com uma função específica. O mais utilizado em uma construção é o chamado módulo I, que tem 20 cm de largura e 8 cm de espessura, com altura variável de acordo com o pé-direito da casa. (SILVEIRA, 2011, p. 76-77).

O Concreto/PVC é um sistema modular de encaixe em que as paredes são feitas de perfis vazados de PVC acoplados entre si, tais perfis tem a vantagem de serem leves, facilitando seu transporte durante a construção. Após sua montagem no canteiro de obras, são preenchidos por concreto e aço estrutural, de modo que essas fôrmas de PVC ficam incorporadas às paredes, resultando em uma solução de elevada resistência e ao mesmo tempo cumprindo as funções de acabamento final e proteção do elemento estrutural.

Por facilitar a administração de materiais, mão-de-obra e transporte, esse sistema tem alta produtividade. Proporciona ainda, uma construção limpa que evita desperdícios e reduz o impacto ambiental, pois o PVC é reciclável (DOMARASCKI; FAGIANI, 2009, p. 47).

Podemos notar que a essência do sistema construtivo Concreto/PVC está, especialmente, na permanência dos painéis de PVC na estrutura. Sobre isso, Schmidt (2013, p. 45) comenta que, “[...] o fato de os perfis serem projetados para permanecerem na estrutura mesmo após o concreto alcançar determinado patamar de resistência, torna-se uma das características principais deste componente, por conferir tanto a forma como o acabamento final das paredes.”. A figura 3 apresenta o esquema de montagem do sistema PVC-Concreto.

Figura 3 – Esquema de montagem da parede



(fonte: ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015, p. 5)

Guimarães (2014, p. 50) ressalta que “No sistema Concreto/PVC não há distinção entre superestrutura e vedação, pois os perfis de PVC concretados exercem as duas funções concomitantemente.”.

As edificações que são executadas utilizando o sistema Concreto/PVC precisam, necessariamente, de uma base plana de ancoragem. A respeito disso, Domarascki e Fagiani (2009, p. 49) ressaltam que para esse sistema “[...] é muito aconselhável o radier, ou base de concreto, que deve estar o mais liso possível na área aonde os painéis vão se apoiar. Também é importante o nível do radier já que os painéis vão copiar todas as irregularidades do piso, projetando-o para a parte superior dos mesmos.”. A figura 4, mostra as barras de espera para ancoragem das paredes.

Quando comparamos as fundações de outros sistemas construtivos com as do sistema Concreto/PVC, não há diferenças entre as recomendações e precauções que devem ser

tomadas para a execução correta dessas estruturas. Pois, em ambos os casos, elas têm a finalidade de transmitir as cargas da edificação para uma camada resistente do solo.

Figura 4 – Barras de espera para ancoragem das paredes



(fonte: SCHMIDT, 2013, p. 52)

Mas, é muito importante tomar cuidado com os locais onde está previsto a passagem de tubulação das instalações no piso, para que não haja conflito com as esperas definidas em projeto que farão a ancoragem dos painéis de PVC à fundação (SCHMIDT, 2013, p. 50-51).

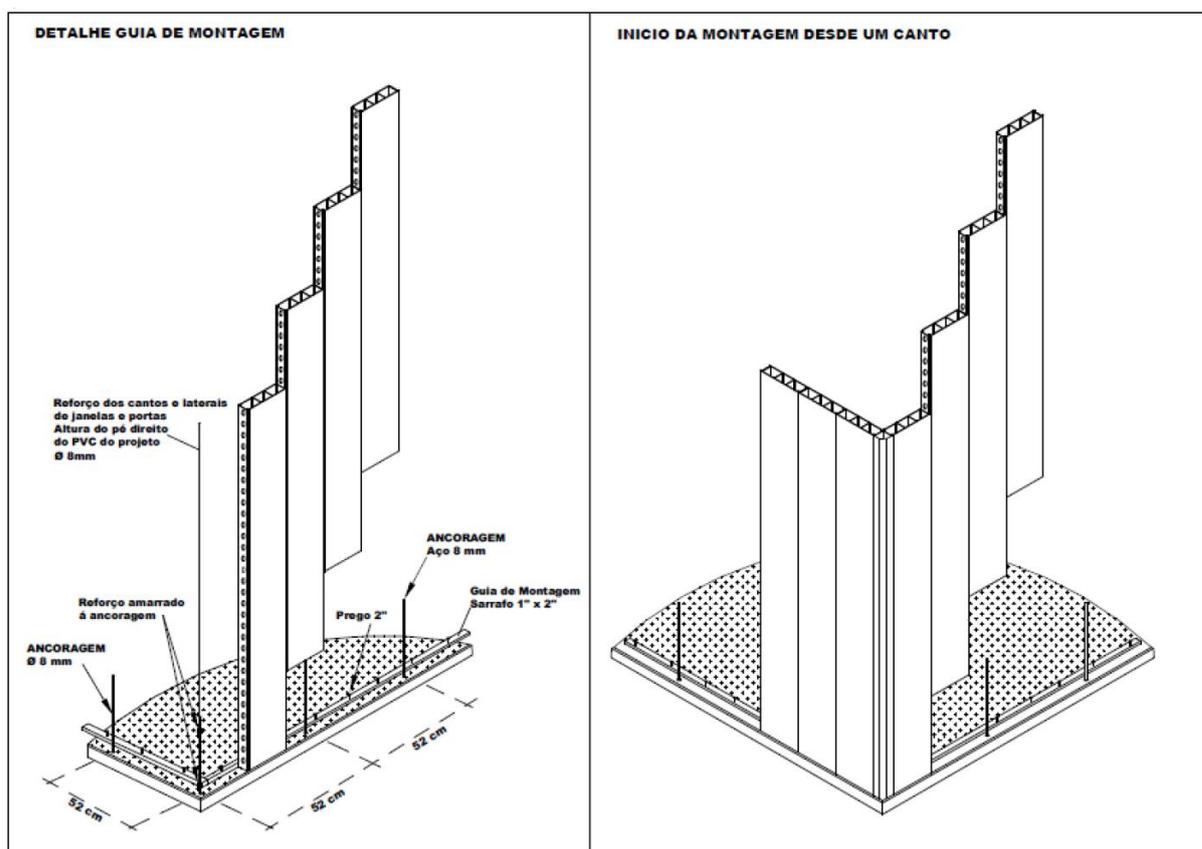
Uma importante particularidade desse sistema mencionada por Schmidt (2013, p. 50), é de que:

As concepções do sistema procuram agregar características de industrialização para execução das habitações. Os principais componentes do sistema, que são os painéis de PVC, chegam à obra cortados em suas dimensões finais e identificados com referências que permitem relacionar com as informações constantes em projeto. Com isso, busca-se reduzir o número de atividades a serem desenvolvidas no canteiro, limitar o estoque de produto ao essencial, tornar a obra mais limpa e sustentável, a partir de um menor número de materiais envolvidos e menor consumo de água e energia.

Os perfis modulares de PVC são produzidos industrialmente e “[...] possuem esquema de encaixe macho e fêmea, e a montagem é feita por deslizamento das peças como mostra a

figura [...] [5], e devem ser montados a partir de um vértice qualquer contornando o perímetro da casa para haver um fechamento final no encontro das paredes.” (GONÇALVES, 2010, p. 42).

Figura 5 – Processo de montagem dos perfis de PVC



(fonte: ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015, p. 11)

Os painéis de PVC podem ser montados sem necessidade de estruturas adicionais, como escoras ou outros dispositivos, pois os perfis mesmo que ainda não concretados já são autoportantes, ou seja, já se sustentam sem a necessidade de algum apoio manual. Porém, antes de iniciar a concretagem é necessário que seja feita a colocação de escoras de madeira para garantir o alinhamento da estrutura e assegurar que ela não se mova até sua completa finalização.

Também é necessário que as partes superiores dos painéis fiquem alinhadas, para isso, são utilizadas cantoneiras de aço ou de madeira, garantindo assim, o alinhamento dos perfis e o travamento da estrutura (GUIMARÃES, 2014, p. 56-61).

No que se refere às características dos painéis usados no sistema Concreto/PVC, Cichinelli (2013, p. 44) informa que:

[...] os painéis de PVC usados no sistema atendem às condições de conforto térmico e acústico e segurança contra o fogo, são resistentes à ação de fungos, à maioria dos agentes químicos e às intempéries, reduzindo a necessidade de manutenção das paredes. Permitem ampliações após a entrega do imóvel e também a aplicação de revestimentos diversos, tais como cerâmica, texturas, reboco, massa corrida ou pintura.

Schmidt (2013, p. 63), atenta para o fato de que “As paredes de PVC por serem concretadas simultaneamente, atuam como um bloco monolítico. A resistência estrutural do conjunto é dada pela resistência característica do concreto de enchimento, dado que este é o enrijecedor do conjunto.”.

Em relação às restrições de uso, o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (2010, p. 1), adverte que “A espessura mínima das paredes deve ser projetada em função de considerações estruturais, do projeto de instalações hidráulicas e elétricas e de outras exigências de desempenho pertinentes.”. Destaca ainda que “Os perfis de PVC, que constituem as fôrmas incorporadas e o revestimento das faces das paredes, somente poderão ter cores claras [...]”.

Os valores mínimos de vida útil que devem ser levados em consideração na elaboração dos referidos projetos para o sistema Concreto/PVC são, conforme o autor Schmidt (2013, p. 63):

- a) quarenta anos para estrutura;
- b) quarenta anos para a vedação vertical externa;
- c) vinte anos para a vedação vertical interna.

O custo da obra também é um fator importante, uma residência popular de 42 m<sup>2</sup> utilizando o sistema Concreto/PVC, possui orçamento em torno de R\$ 19mil, e o metro quadrado de área construída tem custo estimado de R\$ 450. Para essa mesma residência de 42 m<sup>2</sup> e, levando em consideração que a mão de obra é formada por quatro operários, o tempo médio desde a montagem das paredes até a limpeza final seria de 2 dias (GONÇALVES, 2010, p. 68).

A Differ Construção, localizada na cidade de Sumaré no estado de São Paulo, é uma empresa que trabalha com o sistema Concreto/PVC e utiliza os perfis de PVC fabricados pela Global Housing. Na tabela 1, é apresentado um orçamento disponibilizado pela Differ que inclui

desde a mobilização até a mão de obra referente à execução de uma casa de 52,88 m<sup>2</sup> utilizando o sistema Concreto/PVC, sendo o m<sup>2</sup> avaliado em R\$ 1.311,45 (DIFFER CONSTRUÇÃO, 2015).

Tabela 1 – Orçamento disponibilizado pela Differ Construção

 <b>DIFFER Construção PVC Concreto</b> Rua José Maria Miranda, 1098, Centro   19 33241009 CEP 13170-234   Sumaré   São Paulo				Data: 21/07/2014 <a href="mailto:salomao@differ.com.br">salomao@differ.com.br</a>	
<b>ORÇAMENTO</b>					
Ítem	Descrição	Valor R\$	%		
1	MOBILIZAÇÃO	R\$ 810,00	1,2%		
2	FUNDAÇÃO (tipo radier)	R\$ 3.713,04	5,4%		
3	ESTRUTURA (travas guias andaime betoneira bomba)	R\$ 1.202,33	1,7%		
4	PAREDE (kit pvc, frete, concreto)	R\$ 18.248,75	26,3%		
5	FORRO (pvc)	R\$ 1.850,80	2,7%		
6	HIDRÁULICA (ÁGUA FRIA)	R\$ 1.122,20	1,6%		
7	HIDRÁULICA (ÁGUA QUENTE)	R\$ -	0,0%		
8	ESGOTO	R\$ 1.074,24	1,5%		
9	ELÉTRICA	R\$ 1.965,04	2,8%		
10	PISO (Padrão popular PEI 4)	R\$ 1.555,20	2,2%		
11	COBERTURA (estrutura metálica telha colonial)	R\$ 5.378,18	7,8%		
12	ESQUADRIAS (alumínio ext. e madeira int.)	R\$ 3.051,95	4,4%		
13	PINTURA (portas de madeira)	R\$ 557,85	0,8%		
14	MÃO DE OBRA	R\$ 14.950,00	21,6%		
15	BDI	R\$ 13.869,89	20,0%		
16	<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 69.349,47</b>	<b>100%</b>		

RESUMO	Total		m2	R\$/m2
	R\$			R\$
	<b>69.349,47</b>		<b>52,88</b>	<b>R\$ 1.311,45</b>

(fonte: DIFFER CONSTRUÇÃO, 2015)

Como pode ser visto na figura 6, a versatilidade do sistema construtivo Concreto/PVC possibilita aplicações em vários tipos de construção, desde casas populares até hospitais.

Figura 6 – Construções diversas utilizando o sistema Concreto/PVC



Casas de alto padrão



Casas populares



Bairros



Condomínios



Pavilhões



Escolas



Hospitais



Hotéis

(fonte: adaptado de ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015)

## 3.2 COMPONENTES DO SISTEMA CONCRETO/PVC

Neste item, serão descritas algumas características dos materiais que compõem o sistema em questão: o PVC e o concreto, incluindo ainda, o aço.

### 3.2.1 PVC

O PVC, de acordo com Rodolfo Jr. et al. (2006, p. 11), “[...] é o segundo termoplástico mais consumido em todo o mundo, com uma demanda mundial de resina superior a 35 milhões de toneladas no ano de 2005, sendo a capacidade mundial de produção de resinas de PVC estimada em cerca de 36 milhões de toneladas ao ano.”

A denominação termoplástico é dada aos “[...] materiais plásticos que apresentam a capacidade de ser repetidamente amolecidos pelo aumento de temperatura e endurecidos pelo resfriamento. Essa alteração é, portanto, reversível. O PVC é considerado um termoplástico, uma vez que exibe essas características.” (RODOLFO JR. et al., 2006, p. 18).

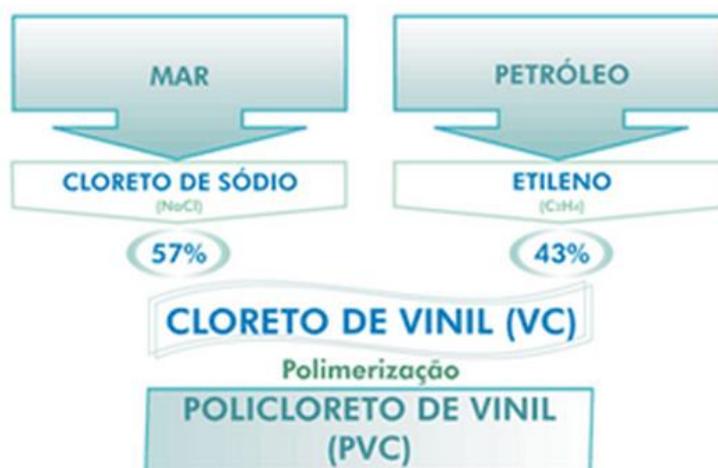
No que diz respeito à fabricação do PVC, Guimarães (2014, p. 42) explica que:

O policloreto de vinila (PVC) é fabricado a partir de dois materiais: o petróleo e sal, através da refinação do petróleo e eletrólise da mistura de sal e água se obtém cloro e etileno que quando misturados formam o monômero cloreto de vinila. O processo de junção dos vários monômeros dá resultado ao polímero Policloreto de Vinila.

Conforme pode ser visto na figura 7, a constituição básica da resina de PVC é a mistura de cloro e etileno, na proporção de 57% e 43%, respectivamente. O cloro é obtido do sal marinho ou da terra (salgema) e o etileno é proveniente de fontes não renováveis como o petróleo e o gás natural. Mas, é importante salientar que, apenas 0,25% do suprimento mundial de gás e petróleo são consumidos na produção do PVC. Sendo que, existe tecnologia disponível para a substituição dos derivados de petróleo e gás pelos de álcool vegetal (cana de açúcar e outros).

Devido a alta concentração de cloro no composto, o PVC possui baixa inflamabilidade e é auto-extinguível ao fogo. Isto é, não propaga chama e quando a fonte de calor é retirada, o fogo se extingue. Dessa forma, contribui para aplicações nas quais o retardamento à chama é uma condição desejada, como em fios e cabos elétricos, eletrodutos e forros/revestimentos residenciais (RODOLFO JR. et al., 2006, p. 14).

Figura 7 – Composição do PVC



(fonte: ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015)

De acordo com Brandão (2010, p. 25):

Os produtos confeccionados com PVC demonstram uma vida útil longa, viabilizando a sua aplicação em bens duráveis. Como tem um alto valor energético, apresenta boa recuperação de energia. Nos modernos sistemas de valorização energética de resíduos, sendo as emissões muito controladas, o PVC pode fornecer calor e energia na indústria, residências ou em outros lugares.

O PVC, por possuir inúmeras propriedades que permitem um amplo campo de utilização, está presente em vários seguimentos, sendo utilizado em uma gama muito grande de produtos.

Quanto à isso, Rodolfo Jr. et al. (2006, p. 12) destacam que:

O PVC é o mais versátil dentre os plásticos. Devido à necessidade de a resina ser formulada mediante a incorporação de aditivos, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de um amplo espectro de propriedades em função da aplicação final, variando desde o rígido ao extremamente flexível, passando por aplicações que vão desde tubos e perfis rígidos para uso na Construção Civil até brinquedos e laminados flexíveis para acondicionamento de sangue e plasma. A grande versatilidade do PVC deve-se, em parte, também à sua adequação aos mais variados processos de moldagem, podendo ser injetado, extrudado, calandrado, espalmado, somente para citar algumas das alternativas de transformação.

Além disso, o PVC é “[...] resistente à ação de fungos, bactérias, insetos e roedores, à maioria dos reagentes químicos, é um bom isolante térmico, elétrico e acústico, sólido e resistente a choques, impermeável a gases e líquidos, às intempéries tais como sol, chuva, vento e maresia.” (DOMARASCKI; FAGIANI, 2009, p. 48).

Quanto à ação dos raios UV do sol, a Royal do Brasil Technologies (2015) oferece garantia de 20 anos para a cor dos perfis de PVC, assim como, para manchas, opacidade ou modificação molecular do PVC. Segundo a mesma fonte, mecanicamente o sistema composto por vários tipos de formas de PVC encaixadas entre si e preenchidas com concreto e aço, é estruturalmente durável por períodos além dos convencionais. O PVC rígido co-extrudado da Royal, está catalogado dentro dos PVC's mais duráveis, tendo uma vida útil mínima de 100 anos antes do início da sua degradação.

O baixo custo e a manutenção mínima do PVC, comparado a outros tipos de materiais, como a madeira, metais e cerâmicas, contribuem para o crescimento de sua utilização na construção civil, sendo que, aproximadamente 62% da demanda total de PVC no Brasil é direcionado para essa área, incluindo desde tubos e conexões até chapas rígidas

Vale comentar que o segmento de perfis, o qual engloba chapas rígidas, é o de maior potencial de crescimento no Brasil, destacado por aplicações em esquadrias, revestimentos internos e externos, diversos perfis de acabamento e displays para comunicação visual (RODOLFO JR. et al., 2006, p. 12).

Quando se fala em sustentabilidade, mais uma vez o PVC ganha um destaque merecido, já que dentre tantas características vantajosas desse material, uma delas é ser reciclável. Quanto a isso, Brandão (2010, p. 35) enfatiza que o PVC “[...] consome pouca energia, gera pouco resíduo na sua fabricação, é 100% reciclável e tem uma durabilidade grande, ou seja, é um produto sustentável. Isto reduz os custos de operação e manutenção na sua aplicação, fazendo com que o custo final também seja menor, [...]”.

Quando trata-se da importância do estudo e aplicação do PVC, Rodolfo Jr. et al. (2006, p. 15) enfatizam que:

Devido a suas características, fica evidente que o PVC é matéria prima do desenvolvimento sustentável, tanto por sua versatilidade quanto pelos segmentos de mercado nos quais participa, notadamente aqueles ligados diretamente à Construção Civil, o que torna relevante científica e socialmente qualquer projeto de pesquisa cujo tema seja esse material tão especial.

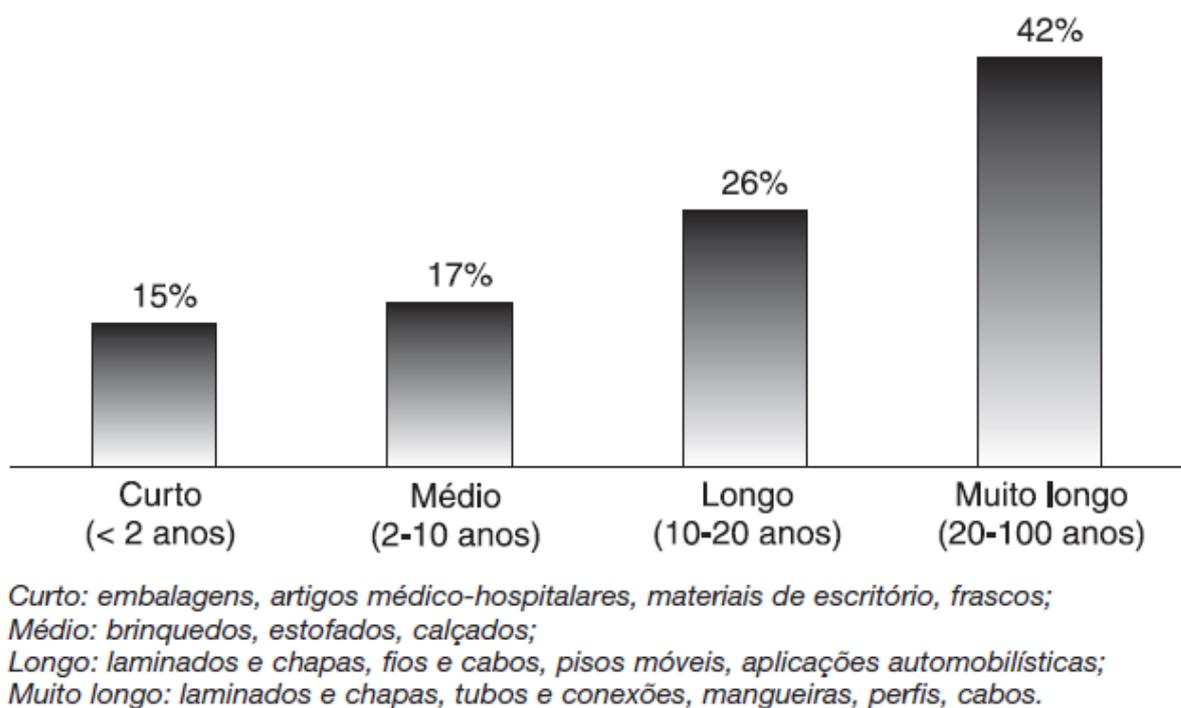
Considerando a disseminação do uso do PVC no mundo, Brandão (2010, p.27) salienta que:

Devido à grande quantidade de benefícios, como versatilidade, leveza, estética, economia em escala, durabilidade e sustentabilidade, adquiridos com a utilização do

PVC, o mesmo apresenta grande destaque no cenário atual, tanto no Brasil quanto mundialmente. Deve ser ressaltado que só o setor da construção civil absorve 73% da sua produção total.

Na figura 8, é apresentado o tempo aproximado de vida em serviço dos principais produtos feitos em PVC e seu percentual de aplicação. Conforme se pode notar, o tempo de vida em serviço varia de curto a muito longo, tendo uma maior aplicação os produtos com tempo de vida maior. Os produtos pertencentes a cada um desses períodos também são mostrados na figura.

Figura 8 – Tempo aproximado de vida em serviço de produtos de PVC, em função do percentual de aplicação



(fonte: RODOLFO JR. et al., 2006, p. 15)

### 3.2.2 Concreto

Qualquer tipo de concreto pode ser utilizado no sistema Concreto/PVC, podendo ser leve ou estrutural, vai depender do projeto e do local onde será implantado o sistema. Para a execução de unidades térreas, o fornecedor recomenda o concreto leve, de forma a melhorar a relação

de desempenho do sistema com a questão econômica. Para sobrados ou edificações com mais pavimentos, o recomendado é usar concreto estrutural.

Os concretos estruturais são preparados com cimento comum, brita 0 e areia sem peneirar, não deve ser utilizado aditivo acelerador ou retardador de pega, mas sim super-fluidificantes. Independente do tipo de concreto, não deve ser usado vibrador, no lugar deste, se bate com martelo e taco de madeira, isto é feito para verificar a existência de bolhas de ar e para que o concreto flua entre os buracos laterais dos painéis (ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015, p. 27-29).

Quando se trata da resistência do concreto que deve ser utilizado no sistema Concreto/PVC, o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (2010, p. 1) informa que “O concreto empregado é comum, fluido ou auto-adensável, com resistência à compressão característica aos 28 dias de no mínimo 20 MPa.”.

Schmidt (2013, p. 48), em relação ao concreto leve usado no sistema Concreto/PVC, explica:

O concreto leve é resultado da substituição do material usado como agregado graúdo, a pedra britada na mistura de concreto tradicional, por um material de menor densidade. Existem várias pesquisas neste sentido, a fim de identificar quais materiais seriam mais indicados para cada aplicação. No sistema construtivo em Concreto/PVC, utiliza-se preponderantemente como agregado leve, por sugestão do fornecedor do sistema, poliestireno expandido (EPS) na forma de flocos, também chamado de pérolas de EPS, obtidos através da trituração do material.

O uso de EPS, também conhecido como isopor, na fabricação de concreto leve é destacado por Stocco et al. (2009, p. [1]), os quais afirmam que: “Este material ganhou uma posição estável na construção civil por ser um material isolante, leve, resistente, fácil de manusear e de baixo custo.”. Os autores informam ainda que “O EPS contém pérolas com 3 mm de diâmetro que são submetidas á expansão, e pode ter seu tamanho alterado em 50 (cinquenta) vezes do inicial, através de vapor. As pérolas são constituídas por 2% (dois por cento) de poliestireno e 98% (noventa e oito por cento) de ar.”.

Outro material que está sendo utilizado como agregado para a produção de concreto leve é a borracha reciclada de pneus, contribuindo para a resolução de um dos problemas ambientais mais cruciais, a deposição dos resíduos sólidos. As vantagens e desvantagens associadas ao uso da borracha para esse fim são mencionadas por Santos e Pelisser (2011, p. 2), que explicam:

Os concretos produzidos com borrachas recicladas têm propriedades melhoradas, mostram redução da permeabilidade ‘teórica’ por ser um agregado hidrófobo, melhorando significativamente a durabilidade dos concretos, que geralmente têm seus processos de degradação associados à penetração de agentes agressivos e dióxido de carbono. No entanto, apresentam como principal problema a perda da resistência, levando a um aumento do consumo de cimento, para mesma classe de resistência.

Uma condição para que se tenha uma boa execução das paredes no sistema construtivo em questão, utilizando concreto leve, é relacionado à fluidez. Schmidt (2013, p. 49), explica que “A fim de que o concreto preencha a totalidade dos espaços no interior dos painéis é necessário que possua elevada fluidez. Para tal, usa-se concreto auto-adensável ou concretos de consistência fluida, cujos traços devem ser definidos previamente.”. Caso contrário, correria o risco de não haver todo o preenchimento dos painéis, ocasionando vazios e resultando numa diminuição da resistência.

A incorporação de agregados leves diminui muito o peso do concreto por metro cúbico, o que contribui bastante para o transporte em obra. Quanto à facilidade de se trabalhar com esse material, Stocco et al. (2009, p. [2]) mencionam:

O concreto leve pode ser obtido com grande padrão de qualidade em qualquer lugar do mundo, por ser um material de fácil moldagem, o que muito facilita os projetos arquitetônicos. Misturado em betoneiras (cimento, areia e as pérolas de poliestireno), é depois moldado nas fôrmas. Seu transporte é simples, utilizando carrinho de mão ou caminhão bomba, como um concreto convencional. Por tratar-se de um material leve, há uma grande facilidade em seu manuseio.

Em relação ao concreto leve usado para a construção de unidades térreas, a melhor proporção de matérias, para se obter esse concreto, está apresentada na tabela 2. Esse traço foi obtido através de testes feitos na Universidade Federal do Rio de Janeiro, sendo o que apresenta a melhor densidade do material que cumpre com o equilíbrio entre a resistência mecânica e o melhor isolamento térmico e acústico (ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015, p. 27).

A respeito da função do aditivo vinílico contido entre os materiais pertencentes ao traço, Schmidt (2013, p. 49) esclarece que “O aditivo vinílico é necessário para criar aderência entre as superfícies das pérolas de EPS com o concreto, evitando-se assim, que essas emirjam à superfície devido à sua baixa densidade.”.

Tabela 2 – Concreto leve: solução estudada pela UFRJ e aplicada pela Royal do Brasil Technologies

Nº	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
1	Cimento	Kg	300
2	Agregado miúdo	1	370
3	EPS (pérolas de isopor)	1	750
4	Água	1	110
5	Aditivo vinílico para EPS	1	15
6	Superfluidificante	1	3

(fonte: adaptado de ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015, p. 27)

### 3.2.3 Armadura

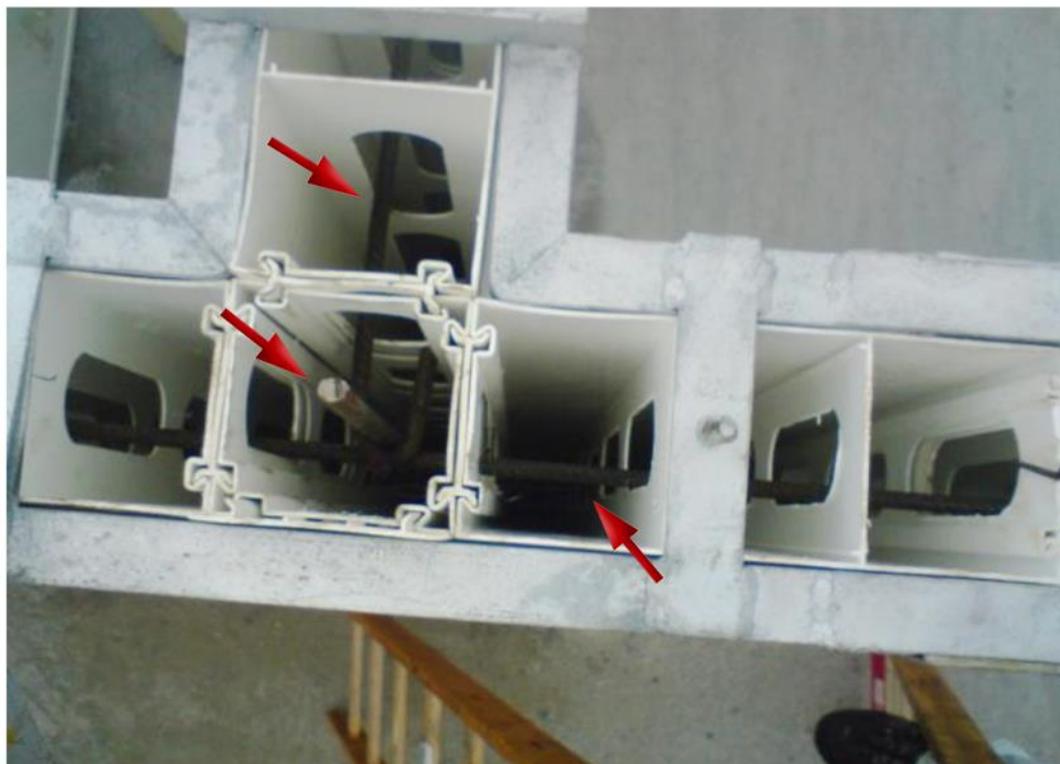
A respeito da armadura utilizada no sistema Concreto/PVC, Gonçalves (2010, p. 32) explica que:

As barras de aço utilizadas são convencionais, variando o diâmetro de acordo com a necessidade estrutural. Este elemento encontra-se dentro dos perfis de PVC e proporcionam ancoragem com a fundação, e também para o reforço junto às aberturas e contraventamento, são utilizadas barras na vertical e na horizontal [...].

Sendo que, “A colocação destes reforços é muito simples, é só largar dentro da parede junto às janelas e portas. Quando começar a concretagem deve-se ter em conta o fato de centralizá-lo na espessura do painel.” (ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES, 2015, p. 13).

As barras de aço no interior dos perfis podem ser vistas na figura 9.

Figura 9 – Barras de aço no interior dos perfis de PVC



(fonte: GONÇALVES, 2010, p. 33)

### 3.3 VANTAGENS DO SISTEMA CONCRETO/PVC

O sistema Concreto/PVC possui algumas características que o tornam vantajoso frente aos outros sistemas construtivos. Uma dessas vantagens é em relação à densidade das placas de PVC, que “[...] antes da concretagem são leves, cerca de 1,4 g/cm<sup>3</sup>, o que facilita seu manuseio e aplicação.” (DOMARASCKI; FAGIANI, 2009, p. 48).

O revestimento usado nesse sistema é diversificado, podendo variar desde a pintura até um revestimento cerâmico, por exemplo. Gonçalves (2010, p. 66) salienta que “A superfície de PVC pode receber praticamente todos os tipos de revestimentos existentes, tanto interna quanto externamente, como pintura, textura, revestimentos cerâmicos, azulejos, papel de parede, e outros. Não há restrições quanto aos tipos de tintas.”.

Outra vantagem referente ao revestimento, é o fato do próprio perfil de PVC servir como revestimento final, não precisando a aplicação de outro material para cumprir essa função. Com que diz respeito a isso, Domarascki e Fagiani (2009, p. 53) abordam:

O fechamento no sistema concreto PVC é feito com as próprias placas de PVC, não havendo necessidade de outros materiais. As paredes lisas e brilhantes podem ser usadas como revestimento, gerando assim uma alta redução de desperdício, menor número de materiais para controle, menor consumo de água, redução do custo de logística e frete e um maior controle sobre o orçamento.

Vale a pena destacar que “Quando as paredes são construídas com o sistema de espessura 64 mm ou 100 mm, verifica-se um ganho de área útil interna, comparado ao sistema convencional. Esse trabalha, em geral, com paredes de espessura entre 15 a 20 cm.” (SCHMIDT, 2013, p. 79).

Quando se trata de custos, Guimarães (2014, p. 40) diz que “As vantagens deste sistema é que não requer mão de obra especializada no canteiro de obra pois a execução é bastante simplificada, os custos [...] são diminuídos drasticamente principalmente devido a diminuição do uso de material e mão-de-obra, [...]”.

A substituição das fôrmas convencionais pelos perfis de PVC também são um fator relevante para a redução do custo da obra, para Domarascki e Fagiani (2009, p. 69) “[...] o concreto PVC tem a grande vantagem de não utilizar formas de madeira, um item caro e que possui um alto índice de perda.”.

Schmidt (2013, p. 80), enfatiza que:

Como o sistema Concreto/PVC é fabricado sob medida, vislumbra-se um índice menor de entulho com relação ao sistema convencional. Atividades de corte não são feitas no canteiro, por exemplo. Ainda, não são necessárias aberturas de canaletas para embutimento de tubulações e o encaixe dos painéis diminui as chances de fuga de concreto pelas fôrmas durante a concretagem.

A simplicidade do processo de montagem é um ponto forte do sistema, contribuindo para uma construção rápida e limpa. Conforme observam Domarascki e Fagiani (2009, p. 70), “Os índices de produtividade não poderiam ser mais expressivos, o concreto PVC possui uma produtividade quase oito vezes maior que o sistema convencional [...]. Vale ressaltar que esses índices podem melhorar se a produção se der em larga escala.”.

As vantagens apresentadas aqui, são de grande relevância, mas também existem situações consideradas negativas. O fato das paredes internas desse sistema serem revestidas com PVC acentua a formação de condensação de vapores de água na superfície da face interna dos painéis, ocorrendo especialmente durante o inverno. Sendo essa, a característica que mais compromete a aceitação do sistema pelos consumidores (SCHMIDT, 2013, p. 81).

Outro inconveniente, destacado por Gonçalves (2010, p. 77) é a “[...] restrição arquitetônica, pois o projeto fica limitado às dimensões dos perfis, além disto, ainda existe uma barreira cultural às novas tecnologias devido a falta de conhecimento da população com relação tanto a este sistema como a outras inovações na construção civil.”.

Para Guimarães (2014, p. 40-41):

[...] as desvantagens deste sistema são a necessidade de mão-de-obra especializada para concepção do projeto arquitetônico, a falta de resistência do material para a construção de edificações com mais de 4 andares de altura, a indisponibilidade do material em certas regiões mais afastadas das áreas industriais, a impossibilidade de se construir formas arquitetônicas mais arrojadas como arcos e elementos curvos e a toxicidade do PVC - caso o mesmo não possua em sua formulação elementos anti-toxicidade - em caso de um incêndio na edificação.

## 4 NORMA DE DESEMPENHO

A nova versão da Norma de Desempenho chegou trazendo mudanças expressivas para a construção civil brasileira, junto com as exigências de desempenho “[...] a Norma exige que sejam explicitadas as responsabilidades de cada agente envolvido, sejam eles fornecedores, executores, especificadores, e inclui-se o usuário da edificação como agente responsável sob o ponto de vista da manutenção.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA RIO GRANDE DO SUL, 2014, p. 22). Neste capítulo, será apresentada uma breve introdução, trazendo características da NBR 15575/2013, seguida de um destaque ao ensaio de ação de calor e choque térmico, o qual será o foco do trabalho.

### 4.1 INTRODUÇÃO

De acordo com Borges e Sabbatini (2008, p. 3):

Até o final da década de 80, o foco das pesquisas sobre o desempenho na construção civil estava voltado ao aspecto conceitual do tema, e a partir da década de 90, impulsionado principalmente pelas questões de sustentabilidade voltou-se à aplicação do conceito de desempenho na concepção e execução das construções.

[...]

No Brasil, a evolução do conceito de desempenho tomou corpo na década de 80, principalmente através de trabalhos realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) para o Banco Nacional da habitação, e depois para a Caixa Econômica Federal, sua sucessora.

Desempenho é definido por Possan e Demoliner ([2014?], p. [6-7]) como sendo “[...] o comportamento em uso. No caso de uma edificação pode ser entendido como as condições mínimas de habitabilidade (como conforto térmico e acústico, higiene, [...]) necessárias para que um ou mais indivíduos possam utilizar a edificação durante um período de tempo.”

À procura de melhorias no desempenho das edificações e “Visando reestruturar o setor da construção civil, em 2008 foi publicada a 1ª versão da ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA RIO GRANDE DO SUL, 2014, p. 9).

Quando publicada a primeira versão da Norma, houve uma certa preocupação em relação às mudanças que ela traria. Esta preocupação “[...] ficou restrita ao impacto que a publicação da Norma poderia gerar na sua atividade com relação ao aumento dos custos, barreiras técnicas (suas e dos concorrentes), e especialmente com relação à questão de responsabilidade legal pelo desempenho requerido.” (BORGES; SABBATINI, 2008, p. 12).

Em Desempenho... (2013), há a indicação de que “A primeira versão da norma, publicada em 2008, pegou as empresas de surpresa e impôs severas dificuldades aos construtores, aos projetistas e à indústria de materiais para se adequarem aos requisitos apresentados no documento, muitos deles inéditos à época.”.

A Nova versão da Norma de Desempenho passou a vigorar a partir de julho de 2013, a principal mudança indicada em Desempenho... (2013) “[...] está explicitada no nome da NBR 15.575:2013 Edificações Habitacionais – Desempenho: diferentemente da versão anterior, restrita a residenciais de até cinco pavimentos, o novo texto é mais abrangente e contempla projetos habitacionais de qualquer porte.”.

Em relação à estrutura da Norma, Lorenzi (2013, p. 23) esclarece:

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 Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura Rio Grande do Sul (2014, p. 21, grifo do autor), define a Norma de Desempenho como “[...] o conjunto de normas regulatórias utilizado em toda a cadeia produtiva da construção definida como os resultados **mínimos** esperados do desempenho dos materiais, dos procedimentos e das condições da habitação ao longo da vida útil de uma edificação.”.

Segundo a NBR 15575-1, “Normas de desempenho são estabelecidas buscando atender aos requisitos dos usuários, que, no caso desta Norma, referem-se aos sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema

construtivo utilizado.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. XI).

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura Rio Grande do Sul (2014, p. 21), enfatizam que:

Antes da NBR 15575, as normas técnicas tinham caráter somente prescritivo. A nova norma, válida prioritariamente para todas as edificações residenciais, exige mais do que a prescrição simples. Ela estabelece os requisitos mínimos de desempenho térmico, tátil, acústico, de iluminação, segurança estrutural, durabilidade, manutenção, salubridade, adequação ambiental, estanqueidade, funcionalidade e acessibilidade, exigindo a demonstração objetiva no atendimento a estes requisitos. Todos os padrões deverão ser atendidos por todo conjunto da edificação, formado pelos sistemas de estruturas, pisos, vedações verticais (fachadas e paredes internas), coberturas e hidrossanitário. E, ainda, passando pelos “filtros” como: segurança, habitabilidade e sustentabilidade, os quais passam a ser exigidos em todos os requisitos de desempenho.

Esta nova versão da Norma de Desempenho “[...] explora conceitos que não são considerados nas normas prescritivas, contempla tema abrangente e envolve muitas especialidades e peculiaridades técnicas [...]”. (LORENZI, 2013, p. 25).

Diante disso, a NBR 15575/ 2013 “[...] deve gerar uma pequena alta nos custos da construção. Isso pode acontecer até mesmo entre os empreendimentos de alto padrão que, em geral, já cumprem requisitos mínimos de qualidade em diversos itens por pressão do próprio público consumidor, muito mais exigente.” (DESEMPENHO..., 2013).

A degradação prematura das edificações ou suas partes, resulta na redução de desempenho, fato frequente em todo o mundo, e que influencia de forma direta os custos de manutenção e de reparo das edificações. De acordo com Possan e Demoliner ([2014?], p. [3]), “Esta deterioração ocorre devido, sobretudo, ao envelhecimento precoce das mesmas, o qual geralmente é desencadeado pela baixa qualidade dos materiais de construção empregados, por problemas de projeto e execução e falta de manutenção.”. Os mesmos autores observam que:

Na esfera Internacional, organizações como o ACI (*American Concrete Institute*), a fib (*Fédération Internationale Du Béton*), a RILEM (*Reunion Internationale de Laboratoires D’essais et Matériaux*), a ISO (*International Standards Organization*), entre outras, há anos têm trabalhado para melhorias deste setor, inserindo novos conceitos na Indústria da Construção em prol da durabilidade e aumento da vida útil das construções. Vários documentos publicados por estas instituições têm introduzido, ao longo dos anos, soluções relevantes tanto do ponto de vista de durabilidade quanto do ponto de vista econômico.

## 4.2 ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO

De acordo com Lorenzi (2013, p. 49),

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.

O ensaio de ação de calor e choque térmico é apresentado na parte 4 da Norma de Desempenho, “Esta parte da ABNT NBR 15575 estabelece 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.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 1).

Esquivel (2009, p. 25) explica que o choque térmico ocorre “[...] quando após um período de forte insolação, que pode fazer com que a superfície do revestimento atinja entre 70 e 80°C, ocorre uma chuva intensa (~20°C) provocando uma queda da temperatura superficial entre 50°C a 60°C em poucos minutos.”.

O objetivo do ensaio de ação de calor e choque térmico conforme Lorenzi (2013, p. 60) está baseado em:

[...] 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 idéia é simular simplificada 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.

Na engenharia, é necessária a seleção de materiais e componentes adequados para suportar as condições de trabalho. Por isso, é muito importante que sejam consideradas as características de fluxo de calor. Esquivel (2009, p. 62) explica que “Quando a variação de temperatura é muito rápida, a taxa de carregamento no material é alta; portanto, a propagação das deformações de origem térmica no material dependerá da velocidade de resposta do mesmo, até atingir o equilíbrio.”.

De uma maneira geral, os requisitos para paredes externas indicados pela NBR 15575-4 seguem as seguintes recomendações: “Devem ser limitados os deslocamentos, fissuras e falhas nas paredes externas, incluindo seus revestimentos, em função de ciclos de exposição ao calor e resfriamento que ocorrem durante a vida útil do edifício.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 32).

A vida útil do edifício é o “Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos na NBR 15575.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA RIO GRANDE DO SUL, 2014, p. 22).

Esquivel (2009, p. 63) ainda comenta que:

A resposta do material ao choque térmico também está condicionada às suas condições de contorno. Se houver restrições externas à livre deformação do sólido, o estado de tensões será agravado; se a exposição ao fluxo de calor é simétrica em toda a superfície do sólido, a transferência de calor ocorrerá até se atingir o equilíbrio térmico, isto é, a temperatura será a mesma em todo o sólido.

Várias normas estrangeiras avaliam o comportamento dos componentes de paredes quanto à ação de calor e choque térmico. No entanto, o método de ensaio proposto pela NBR 15575-4 difere dos métodos de ensaio de normas estrangeiras, em alguns aspectos. Uma dessas diferenças é a temperatura, enquanto a NBR 15575-4 estipula uma temperatura máxima para a superfície exposta do corpo de prova de 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ), a ASTM C1185-8 (*American Society for Testing and Materials*), órgão estadunidense de normalização e a ISO 8336 (*International Organization for Standardization*), norma de abrangência internacional, estabelecem uma temperatura de 60°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ). Outro exemplo é a ETAG 004 (*European Technical Approval Guidelines*), diretriz europeia, que estabelece uma temperatura de 70°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ).

Além dessas diferenças de temperaturas, existem variações quanto ao método de medição da temperatura. Na NBR 15575-5 a medição é feita por meio de termopares diretamente acoplados ao corpo de prova, enquanto que na ASTM os termopares são fixados em pequenas placas metálicas pintadas de preto, utilizadas como placa de referência, que são fixadas na superfície do corpo de prova (OLIVEIRA et al., 2014, p. 53-56).

### 4.2.1 Parâmetros de aceitabilidade

A NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 32) apresenta os critérios para o ensaio de ação de calor e choque térmico:

As paredes externas, incluindo seus revestimentos, submetidas a dez ciclos sucessivos de exposição ao calor e resfriamento por meio de jato de água, não podem apresentar:

- a) deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo de prova, superior a  $h/300$ , onde  $h$  é a altura do corpo de prova;
- b) ocorrência de falhas, como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do SVVE.

### 4.2.2 Procedimentos de ensaio

O ensaio de ação de calor e choque térmico, apresentado pela NBR 15575-4, consiste em submeter a face externa do SVVE a dez ciclos de aquecimento e resfriamento. A Norma de desempenho especifica que o ensaio deve ser realizado em, pelo menos, dois corpos de prova, que devem estar devidamente apoiados nos bordos inferiores e superiores.

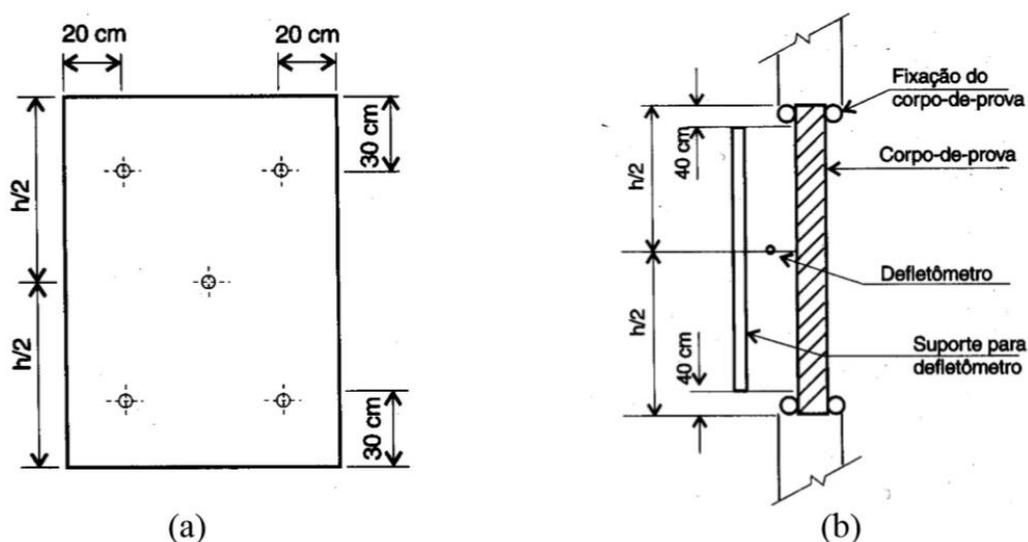
Para a realização do ensaio são necessários equipamentos capazes de exercerem diferentes funções durante o ensaio. A primeira etapa é fornecer calor à face externa do corpo de prova até que ela atinja uma temperatura de  $80^{\circ}\text{C} (\pm 3^{\circ}\text{C})$ , permanecendo com essa temperatura durante uma hora. Esse aquecimento é feito através do painel radiante que é posicionado defronte a face externa do corpo de prova. Após esse tempo, é usado um dispositivo para aspersão de água sobre a parte externa do corpo de prova, que estava submetida diretamente ao calor, até que se alcance a temperatura de  $20^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$ .

O SVVE deve estar bem instrumentado para que sejam medidas as temperaturas e o deslocamento horizontal ocorridos durante o ensaio. A temperatura superficial da parede é medida através de cinco termopares, que são posicionados no corpo de prova de acordo com a Norma. O deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo de prova, é medido com o defletômetro que é instalado no ponto central do SVVE, na parte oposta à incidência de calor. O deslocamento horizontal é medido duas vezes a cada ciclo, a primeira

medição é realizada após 45 minutos que a face exposta ao calor estabilizar a temperatura de 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) e, a segunda medição, é realizada imediatamente após o resfriamento do SVVE.

Durante todo o ensaio e também no seu término, devem ser registradas a ocorrência de deteriorações nas duas faces da parede, como por exemplo, trincas, fissuras ou descolamentos. Na figura 10, é mostrado o esquema de montagem e instrumentação do corpo de prova (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 46-47).

Figura 10 – Posicionamento (a) dos termopares na superfície do corpo de prova e (b) do defletômetro



(fonte: LORENZI, 2013, p. 62)

### 4.2.3 Relatório de ensaio

A NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 48), cita as seguintes informações que o relatório de ensaio deve conter:

- a) local da ocorrência da degradação e instante;
- b) deslocamentos verificados;
- c) identificação do fornecedor;
- d) descrição e memorial do elemento parede;

e) referência [...] [ao Anexo E da NBR 15575-5].

#### **4.2.4 Vida útil de projeto**

A vida útil de projeto é o período estimado de tempo para qual um sistema é projetado, com a finalidade de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos por Norma. É importante mencionar a importância de não se confundir vida útil de projeto com vida útil, que é o período de tempo que o edifício e seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento aos níveis de desempenho previstos na Norma, considerando-se a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no manual de uso, operação e manutenção.

Um requisito importante que a NBR 15575-4 ressalta em relação aos sistemas de vedações verticais internas e externas, é que eles devem manter suas características estéticas e a sua capacidade funcional durante a vida útil de projeto, ambas compatíveis com o envelhecimento do material. Esses sistemas, devem ter uma vida útil de projeto igual ou superior ao que é estabelecido por Norma e, as manutenções devem ser realizadas com estrita obediência ao manual de uso, operação e manutenção, elaborados pelos construtores ou incorporadores. Este manual é entregue aos usuários com a função de acentuar a importância do uso correto da edificação e da manutenção preventiva, não estando, a durabilidade, apenas relacionada com o projeto e com a execução da obra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 32-33).

A NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 31) determina que “O projeto deve especificar o valor teórico para a vida útil de projeto (VUP) para cada um dos sistemas que o compõem não inferiores aos estabelecidos na [...] [Norma de Desempenho], [...]”.

## 5 DIRETRIZ SINAT

O Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) é uma iniciativa de mobilização da comunidade técnica nacional para dar suporte à operacionalização de um conjunto de procedimentos ainda não abrangidos por normas técnicas, com o objetivo de avaliar novos produtos utilizados nos processos de construção.

A meta que mobiliza a comunidade técnica é o estímulo à inovação tecnológica, tendo uma maior diversidade para a produção habitacional, mas ao mesmo tempo, sem aumentar o risco de insucesso no processo de inovação.

A Diretriz SINAT 004 (2010) é voltada para sistemas construtivos formados por paredes internas e externas com função estrutural, constituídas por painéis de PVC preenchidos com concreto, onde o PVC tem tanto a função de fôrma como de revestimento, não sendo necessário o uso de outro produto para dar o acabamento final ao SVVIE. No entanto, não faz parte dessa diretriz a apresentação de requisitos e critérios para avaliar qualquer outro revestimento que venha a ser colocado sobre os painéis de PVC (SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS, 2010, p. 1).

Quando se trata da realização do ensaio de ação de calor e choque térmico para o sistema construtivo Concreto/PVC, a Diretriz SINAT 004 (2010) informa que o ensaio é realizado conforme a NBR 15575-4. Mas, indica uma temperatura máxima de ensaio de 60°C, temperatura de resfriamento igual a temperatura ambiente e um corpo de prova com no mínimo 2,40 m de largura com vínculos nas laterais (SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS, 2010, p. 19).

Em relação aos parâmetros de aceitabilidade, a Diretriz SINAT 004 (2010) considera os mesmos critérios da NBR 15575-4, ou seja, o deslocamento horizontal instantâneo não deve ser superior a  $h/300$ , onde  $h$  é a altura do corpo de prova e não deve apresentar falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos e outros danos nos painéis de PVC (SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS, 2010, p. 15).

## **6 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Esse capítulo tem por finalidade detalhar a aparelhagem e descrever os preparativos e os procedimentos utilizados para a execução do ensaio de ação de calor e choque térmico realizado no Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS, que possibilitou a obtenção dos dados necessários para determinar os níveis de desempenho atingidos pelo sistema Concreto/PVC. O programa experimental iniciou com o recebimento dos corpos de prova, já montados, prontos para serem submetidos aos ensaios, que foram realizados, utilizando como base a NBR 15575-4, essa parte da Norma determina os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Fez-se o uso, também, da Diretriz SINAT 004 (2010), que integra os sistemas construtivos formados por paredes internas e externas com função estrutural, constituídas por painéis de PVC preenchidos com concreto.

### **6.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

Para a verificação do comportamento do sistema de vedação vertical externo de Concreto/PVC, foi realizado o ensaio de ação de calor e choque térmico, utilizando-se os seguintes equipamentos:

#### **6.1.1 Painel radiante**

Com dimensões úteis de 1,10 x 2,20 m, o painel radiante utilizado no ensaio tem o objetivo de fornecer calor em quantidade tal que a face aquecida da parede atinja a temperatura desejada e uniforme em toda a superfície de ensaio.

Este equipamento foi projetado e construído pela equipe técnica do LEME e está em processo de patenteamento, por isto, não será possível fornecer uma descrição detalhada do mesmo.

Nas figuras 11 e 12, é apresentado o equipamento mencionado.

Figura 11 – Pannel radiante utilizado para o aquecimento e resfriamento do SVVE



(fonte: foto da autora)

Figura 12 – Pannel radiante utilizado para o aquecimento e resfriamento do SVVE



(fonte: foto da autora)

Outra função desse equipamento, é promover a aspersão de água sobre o corpo de prova em sua face aquecida, até que se atinja a temperatura de 20°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ). Para tanto, é utilizado um reservatório de polietileno, com capacidade de 1000 litros, onde fica armazenada a água utilizada durante o ensaio.

Dessa maneira, o painel radiante é utilizado tanto para o aquecimento como para o resfriamento da face da parede.

### 6.1.2 Termopares e registrador das temperaturas

Durante os ensaios foram utilizados termopares (figura 13), colocados junto à face exposta à ação de calor e choque térmico da parede. Estes equipamentos são sensores de temperatura amplamente utilizados nos mais diversos processos de medição de temperatura.

Figura 13 –Termopar



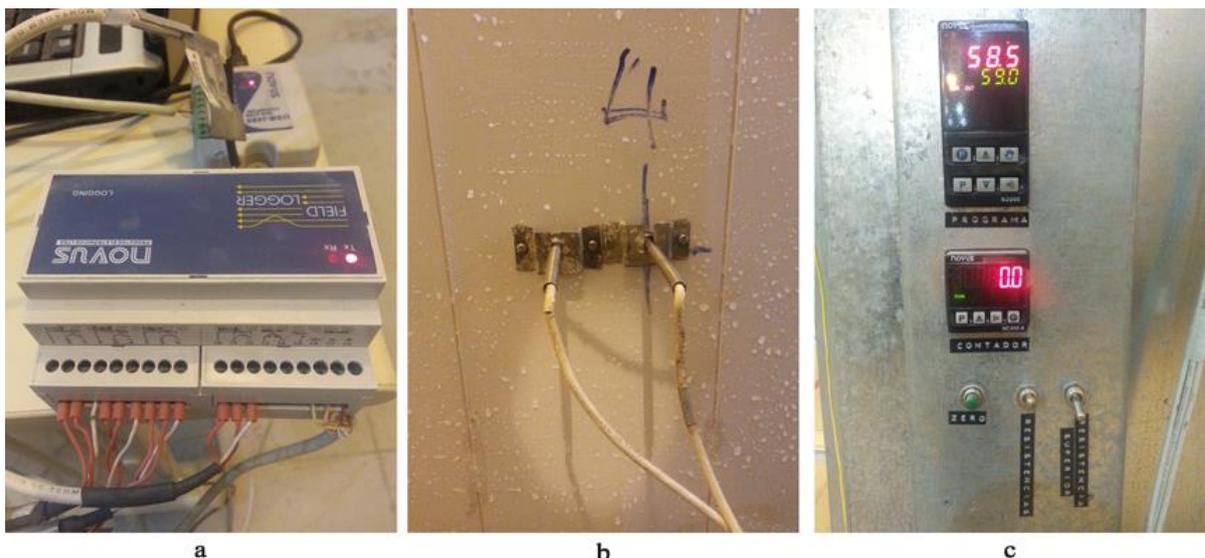
(fonte: foto da autora)

Esses termopares são acoplados a um *field logger*, equipamento capaz de armazenar leituras de outros instrumentos de medição, opera como um registrador eletrônico de dados, armazenando as informações adquiridas em sua memória interna para análise posterior ou, pode ainda, operar como um módulo remoto de medição em tempo real, que não possui memória interna, e apenas adquire as informações e as transmite para um sistema supervisorio.

O *field logger* possui 8 canais de entrada de sinal, sendo que, o tipo de sinal a ser medido pelos canais é configurável, individualmente, durante o processo de configuração. O usuário define, de acordo com a necessidade, quais canais serão utilizados para medição, os demais são desabilitados. Essa configuração é feita através de um software compatível com o equipamento.

No caso do ensaio de choque térmico em questão, foram utilizados 5 canais, pois era necessário o registro das informações de 5 termopares, dispostos no corpo de prova conforme a exigência da Norma. Junto ao termopar 4 foi colocado um termopar adicional para controle da temperatura, esse é acoplado a um controlador instalado no painel radiante, sendo feita, neste dispositivo, toda a programação para que ao alcançar a temperatura desejada, a mesma tenda a se estabilizar. Na figura 14, podem ser vistos os itens citados acima.

Figura 14 – (a) *field logger*, (b) termopar adicional e (c) controlador



(fonte: foto da autora)

### 6.1.3 Dispositivo para fixação do corpo de prova

Foi usado um dispositivo para a fixação do corpo de prova, de modo a deixá-lo simplesmente apoiado em seus bordos inferior e superior, conforme exigência da NBR 15575-4. Na figura 15, é mostrada com mais detalhes a fixação nos dois extremos da parede.

Essa fixação, visa restringir o movimento do corpo de prova nas suas extremidades, a fim de realizar uma medida de deslocamento no seu centro.

Figura 15 – Fixação da parede na parte (a) superior e (b) inferior



(fonte: foto da autora)

### 6.1.4 Defletômetro

O defletômetro, como pode ser visto na figura 16, tem como finalidade possibilitar o monitoramento dos deslocamentos horizontais no centro da parede, em milímetros, ao longo dos ciclos.

Figura 16 –Defletômetro



(fonte: foto da autora)

## 6.2 MONTAGEM DO ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO

Os corpos de prova a serem ensaiadas são de Concreto/PVC e foram doados ao laboratório pela empresa A, possuem dimensões 1,20 x 2,40 x 0,07 m e resistência axial do concreto de preenchimento de 20 MPa. Os dois corpos de prova são semelhantes e foram ensaiados separadamente, de modo que, para simular uma situação real, precisa ficar fixado na posição vertical. Na figura 17, é possível ver o transporte da parede dentro do laboratório, o posicionamento e fixação no dispositivo que serviu de sustentação dos corpos de prova.

Com a parede já posicionada, foram colocados os suportes para os termopares, que são aparafusados na própria parede, garantindo uma boa fixação dos mesmos. Na figura 18, pode ser visto um dos suportes já inserido no corpo de prova e todos os termopares já posicionados nos seus devidos lugares, prontos para serem conectados ao *field logger*.

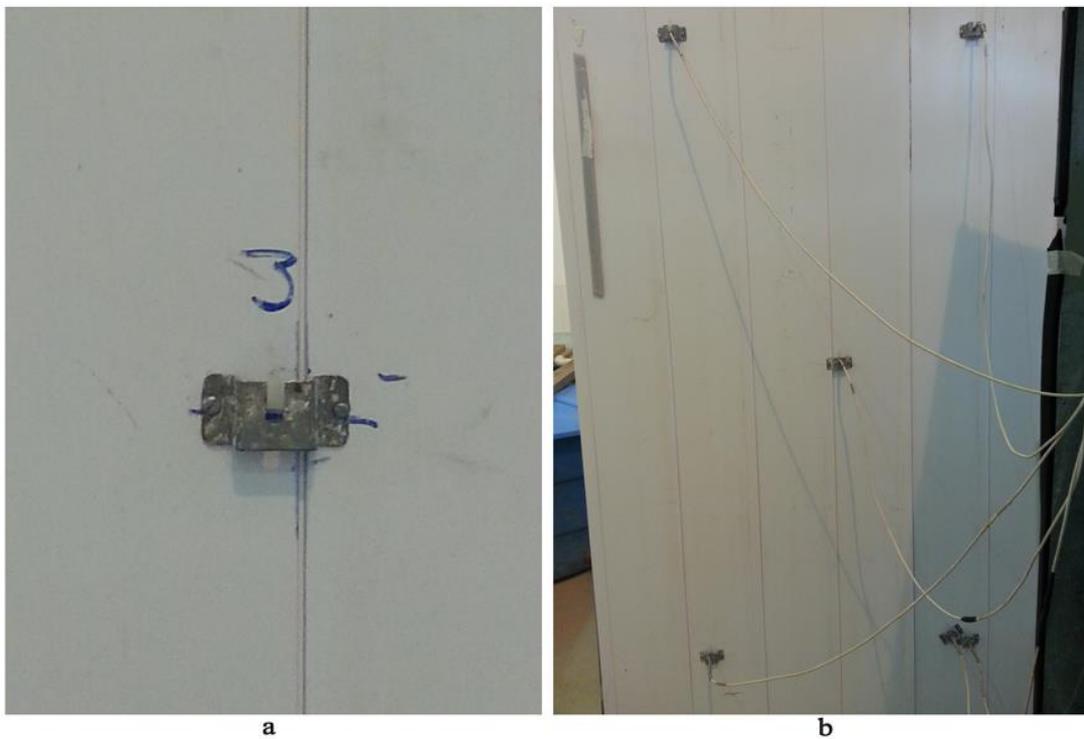
A próxima etapa foi posicionar o painel radiante frente à uma das faces da parede, considerada como sendo a face externa, ou seja, a que fica exposta à incidência de calor. Na sequência, foi instalado o defletômetro no ponto central do corpo de prova, na face oposta à incidência de calor.

Figura 17 –(a) transporte, (b) colocação e (c) fixação da parede



(fonte: foto da autora)

Figura 18 – Parede com (a) o suporte inserido e (b) termopares posicionados



(fonte: foto da autora)

A água utilizada para o resfriamento da parede, fica armazenada em um reservatório, próximo ao corpo de prova, interligado aos aspersores do painel radiante através de uma tubulação, sendo esse reservatório alimentado continuamente a cada ciclo.

Para o escoamento da água coletada no ensaio, foi conectada uma tubulação no painel radiante, e a partir daí, é transportada até a rede de esgoto do laboratório. Foi feita também uma saída alternativa para a água, através de uma bandeja que fica logo abaixo do painel radiante e que também recebe a água de resfriamento. Essa saída se origina do próprio prolongamento da bandeja até o local de descarte da água. Esse esquema pode ser visto na figura 19.

Para esses ensaios, não foi possível o reaproveitamento da água. No entanto, está sendo desenvolvida esta melhoria, sendo criado um reservatório de água para possibilitar a reutilização da água utilizada nos ciclos anteriores.

Figura 19 – Esquema para o descarte da água de resfriamento

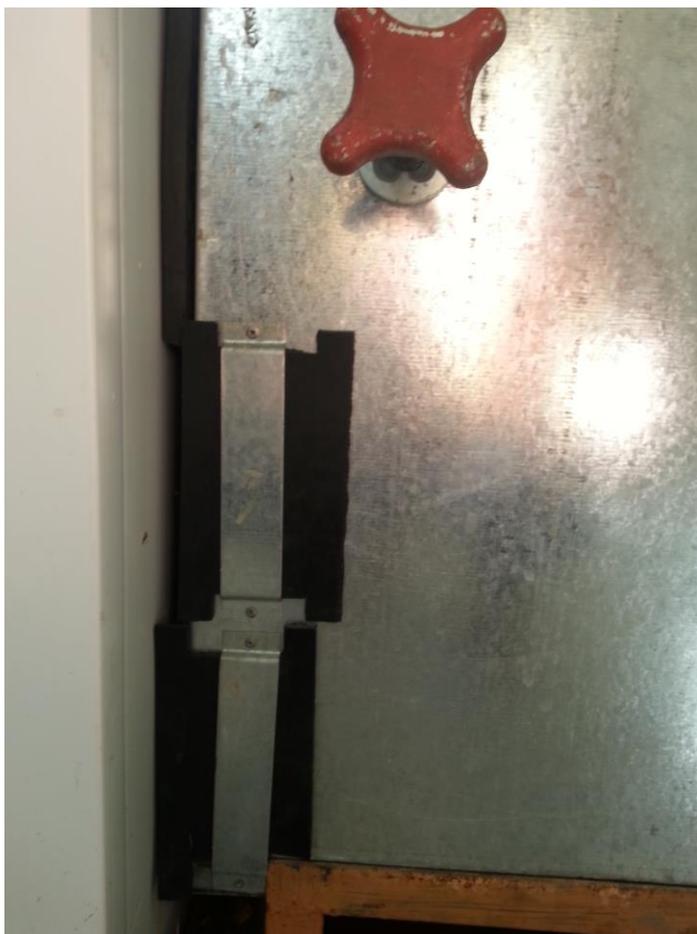


(fonte: foto da autora)

O monitoramento das temperaturas é feito via computador que está conectado ao *field logger*, e este conectado aos termopares, permitindo assim, o possível acompanhamento da variação de temperatura na parede.

Outro ponto importante, e que vale ressaltar, é a possibilidade de controlar a fuga de calor através das laterais do painel radiante com o uso de placas móveis feitas de borracha (figura 20), as quais foram colocadas na parte de cima e nos dois lados do painel, tanto na parte superior como inferior. Possibilitando, através da sua abertura ou fechamento, a saída ou a retenção do calor. Esse mecanismo foi imprescindível no controle da temperatura, principalmente na fase em que o corpo de prova precisou se manter com uma temperatura estabilizada.

Figura 20 – Placas móveis do painel radiante



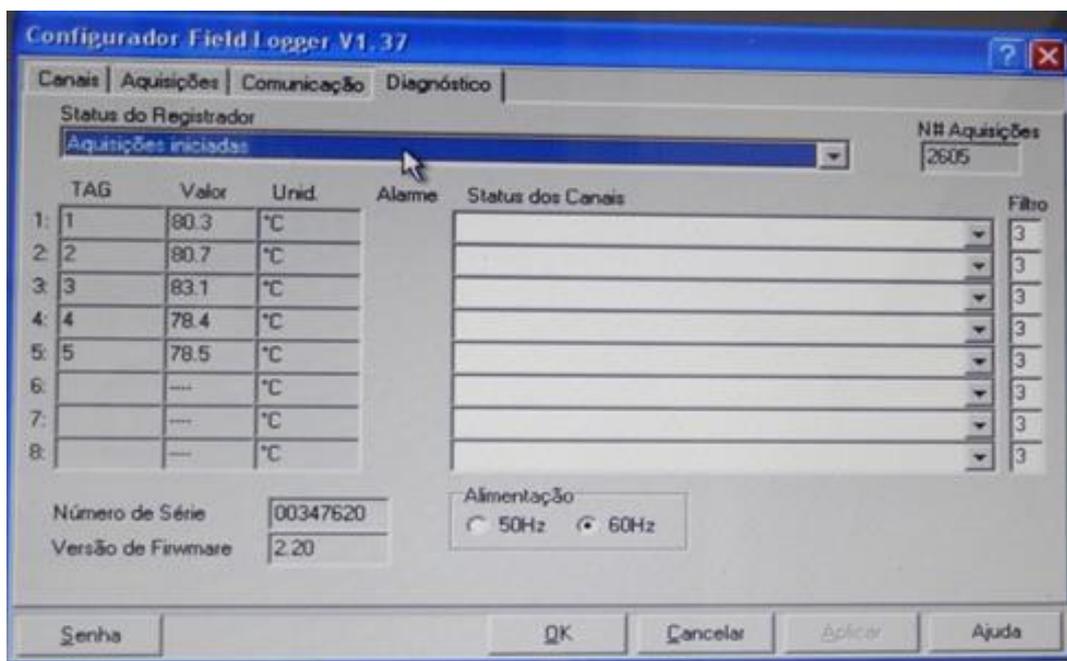
(fonte: foto da autora)

### 6.3 REALIZAÇÃO DO ENSAIO

Após o posicionamento da parede e a montagem de todos os equipamentos, iniciou-se a realização do ensaio, visando avaliar o comportamento do SVVE quando submetido a 10 ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento, de acordo com a Norma de Desempenho, a qual tende a simular as condições de exposição representando diferenciais de temperatura nas fachadas, como por exemplo, quando a temperatura está elevada, devido à insolação, e ocorre um decréscimo repentino desta temperatura pela ação da chuva.

Foi estabelecido que, os primeiros 10 ciclos seriam realizados seguindo a metodologia do Anexo E da NBR 15575-4, ou seja, considerando uma temperatura de 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ). Para isso, foi fornecido calor para o corpo de prova através do painel radiante, em uma quantidade tal que a face exposta do painel atingisse a temperatura de 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) por um período de 1 hora. Esta temperatura foi verificada através dos 5 pontos de monitoramento, que se constituem dos 5 canais do *field logger* conectados aos termopares, possibilitando o monitoramento das temperaturas no computador. A figura 21, mostra o monitoramento da temperatura sendo feito através do software que acompanha o *field logger*.

Figura 21 – Monitoramento da temperatura



(fonte: foto da autora)

A abertura e/ou fechamento das placas móveis de borrachas, instaladas nas laterais e na parte superior dos painéis, ajudaram no processo de manter a temperatura constante e uniforme em toda a parede, pois mesmo com o uso do controlador de temperatura incorporado ao painel radiante, é necessário um controle manual, abrindo ou fechando as placas, para saída ou retenção do calor, mantendo a temperatura dentro do intervalo de ensaio. O painel radiante ainda dispunha de outras aberturas na parte superior, que serviam para esse mesmo propósito.

Após esse período de ação de calor, o corpo de prova foi resfriado por água aspergida pelo próprio painel radiante até atingir uma temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ). Ao alcançar esse intervalo, a água foi desligada e deu-se continuidade ao fornecimento de calor para a parede, iniciando um novo ciclo. Na figura 22, pode ser visualizado o corpo de prova instrumentado.

Figura 22 – Corpo de prova instrumentado



(fonte: foto da autora)

Para cada um dos 10 ciclos de aquecimento e resfriamento foram registrados os deslocamentos horizontais marcados no defletômetro. Estes deslocamentos foram lidos após 45 minutos da estabilização da temperatura em  $80^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), e imediatamente após o resfriamento do corpo de prova.

Concluídos os 10 ciclos, o painel radiante foi afastado da face da parede, a fim de verificar a ocorrência de fissuras, trincas, descolamentos ou outras deteriorações em ambas as faces do corpo de prova. A avaliação visual da face submetida ao calor não foi realizada a cada ciclo, devido à dificuldade de movimentação do painel radiante, optando-se pela análise ao fim dos 10 ciclos.

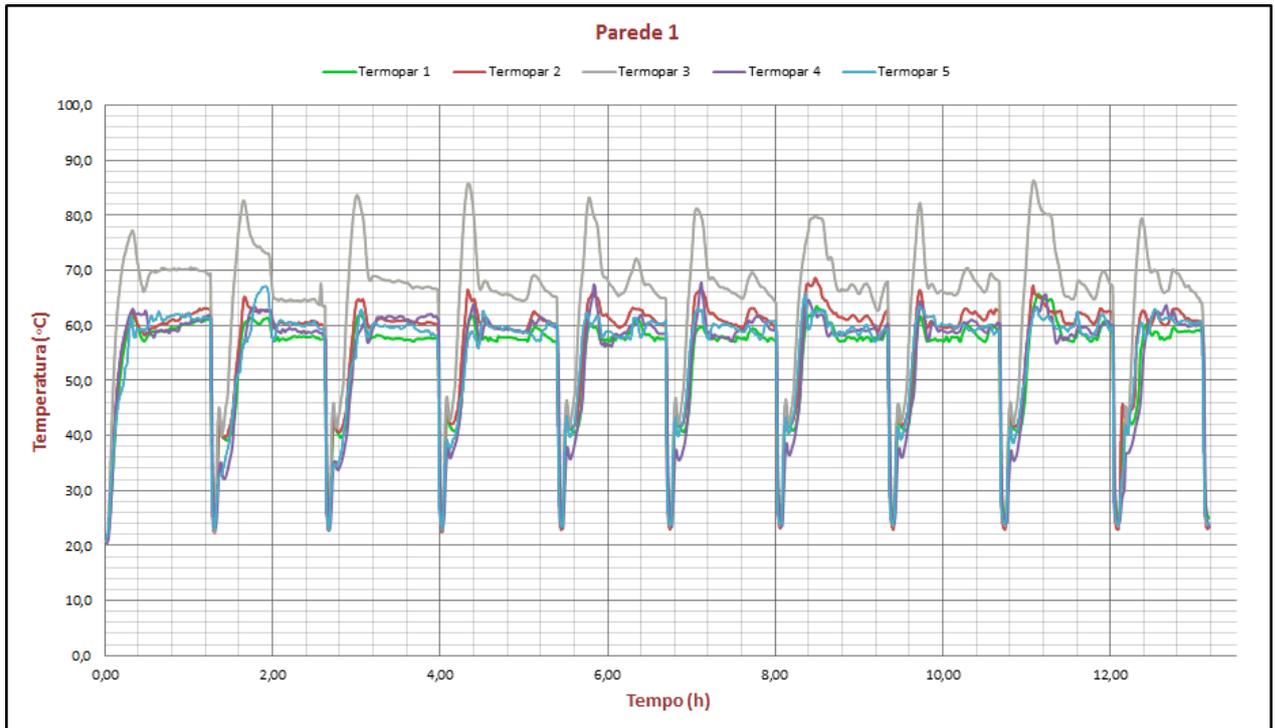
Após a verificação o painel radiante foi posicionado novamente no lugar e iniciou-se mais 10 ciclos. Dessa vez, seguindo a Diretriz SINAT 004 (2010), que estabelece uma temperatura de ensaio de  $60^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ). O procedimento de ensaio segue o mesmo da NBR 15575-4. Após esses 10 ciclos, foram realizados mais 10 ciclos, totalizando 20 ciclos à temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ).

Para uma melhor descrição dos ensaios no decorrer do trabalho, a sequência de ciclos foi dividida em etapas A, B e C, ou seja, a etapa A corresponde aos 10 primeiros ciclos considerando a NBR 15575-4, a etapa B aos 10 ciclos seguintes e a etapa C equivale aos últimos 10 ciclos, sendo as etapas B e C considerando a Diretriz SINAT 004 (2010).

A parede 2 foi ensaiada seguindo exatamente os mesmos procedimentos de ensaio utilizados para a parede 1, inclusive o mesmo número de ciclos. Ou seja, 10 ciclos seguindo a NBR 15575-4 e 20 ciclos de acordo com a Diretriz SINAT 004 (2010), totalizando um total de 30 ciclos em cada parede.

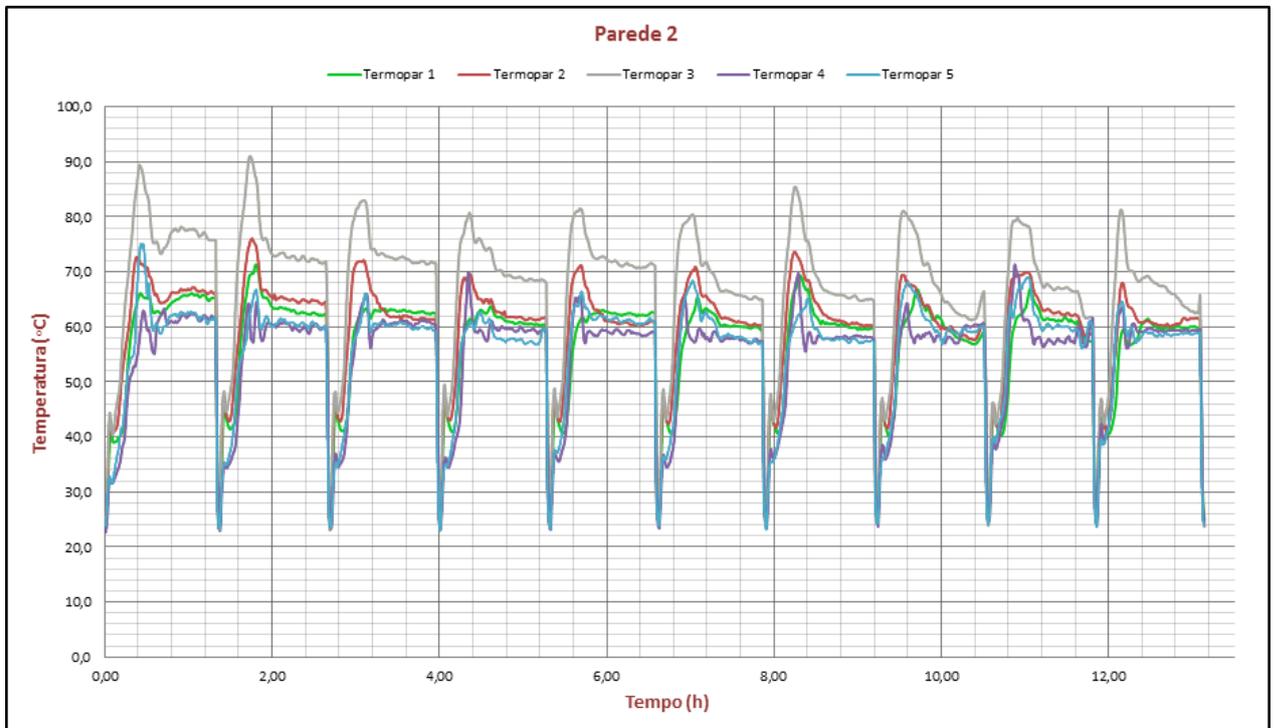
Para a representação desses ciclos, foram feitos gráficos que mostram claramente os momentos de aquecimento e resfriamento da parede ao longo de todo processo. Nas figuras 23 e 24, são apresentados os gráficos da etapa B, da parede 1 e parede 2, respectivamente. Cada linha do gráfico representa um termopar e, podemos ver a temperatura em  $^{\circ}\text{C}$  (eixo y) marcada por cada um dos termopares em qualquer instante do ensaio (eixo x).

Figura 23 – Etapa B da parede 1



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 24 – Etapa B da parede 2



(fonte: elaborada pela autora)

Como pode ser visto nos gráficos, a temperatura do termopar 3 é de difícil controle, alcançando temperaturas mais altas que as desejadas, pois ele fica localizado na parte central do corpo de prova (figura 25), onde não tem aberturas no painel radiante para possibilitar a saída de calor. Levando em consideração ainda que, o ar quando é aquecido, fica menos denso e tende a subir, fazendo com que esse termopar receba todo calor que está ascendendo.

O momento do choque térmico é facilmente percebido no gráfico, pois a temperatura tem um rápido decréscimo, ficando próxima aos 20°C.

Figura 25 – Disposição dos termopares no corpo de prova



(fonte: elaborada pela autora)

## 7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como resultado dos ensaios realizados nos dois corpos de prova, obteve-se uma diversidade de dados. Nesse capítulo, serão apresentados os dados obtidos e suas análises, bem como a comparação entre os resultados com os critérios de desempenho estabelecidos pela NBR 15575-4.

A Norma de Desempenho determina que o deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo de prova, medido no centro do lado oposto à incidência de calor, deve atender as condições da fórmula 1.

$$d_{hi} \leq h/300 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

$d_{hi}$  = deslocamento horizontal instantâneo, expresso em milímetros;

$h$  = a altura do corpo de prova, em milímetros.

Como as paredes ensaiadas possuem uma altura de 2400 mm, de acordo com a fórmula 1, o  $d_{hi}$  máximo permitido pela Norma é de 8,0 mm.

Estão apresentados na tabela 2, os deslocamentos em módulo referentes à parede 1. Sendo que,  $d_{hi}$  são os deslocamentos horizontais instantâneos medidos aos 45 minutos, de cada ciclo, após a estabilização da temperatura em 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) para os primeiros 10 ciclos e em 60°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) para os 20 ciclos seguintes. O  $d_{hr}$  é o deslocamento horizontal residual medido após o resfriamento da parede, com temperatura em torno de 20°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ). Por fim, também será apresentado o  $d_h$ , que representa o deslocamento horizontal total sofrido pela parede durante cada ciclo.

Pelos valores mostrados na tabela 3, é possível notar que o deslocamento instantâneo máximo da parede 1 foi de 2,96 mm para a etapa A, 3,04 mm para a etapa B e 2,01 mm para a etapa C.

Comparando com o deslocamento instantâneo máximo permitido, obtido aplicando a fórmula 1, os deslocamentos observados na parede 1 estão dentro do limite estabelecido pela Norma de Desempenho.

Tabela 3 – Deslocamentos da parede 1

PAREDE 1											
ETAPA A - 80°C (±3)				ETAPA B - 60°C (±3)				ETAPA C - 60°C (±3)			
Ciclos	d <sub>hi</sub> [mm]	d <sub>hr</sub> [mm]	d <sub>h</sub> [mm]	Ciclos	d <sub>hi</sub> [mm]	d <sub>hr</sub> [mm]	d <sub>h</sub> [mm]	Ciclos	d <sub>hi</sub> [mm]	d <sub>hr</sub> [mm]	d <sub>h</sub> [mm]
1	1,14	3,00	4,14	1	1,40	0,29	1,11	1	1,36	0,10	1,46
2	2,54	4,21	3,75	2	0,71	0,68	1,68	2	0,75	1,19	1,84
3	2,31	5,05	3,15	3	0,86	1,99	2,17	3	1,32	1,98	2,11
4	2,75	5,70	3,40	4	1,29	3,06	2,36	4	1,28	2,61	1,91
5	2,13	6,81	3,24	5	2,02	0,75	2,51	5	1,78	2,80	1,97
6	2,23	7,48	2,90	6	0,81	2,22	2,28	6	1,94	2,82	1,96
7	2,42	8,49	3,43	7	1,92	2,83	2,53	7	2,01	2,79	1,98
8	2,84	8,83	3,18	8	2,23	3,35	2,75	8	1,90	2,88	1,99
9	2,96	9,00	3,13	9	3,04	3,41	3,10	9	1,57	3,20	1,89
10	2,72	9,42	3,14	10	3,00	3,36	2,95	10	1,09	4,99	2,88

(fonte: elaborada pela autora)

Os dados do ensaio para a parede 2, são apresentados na tabela 4, trazendo as mesmas informações mostradas para a parede 1.

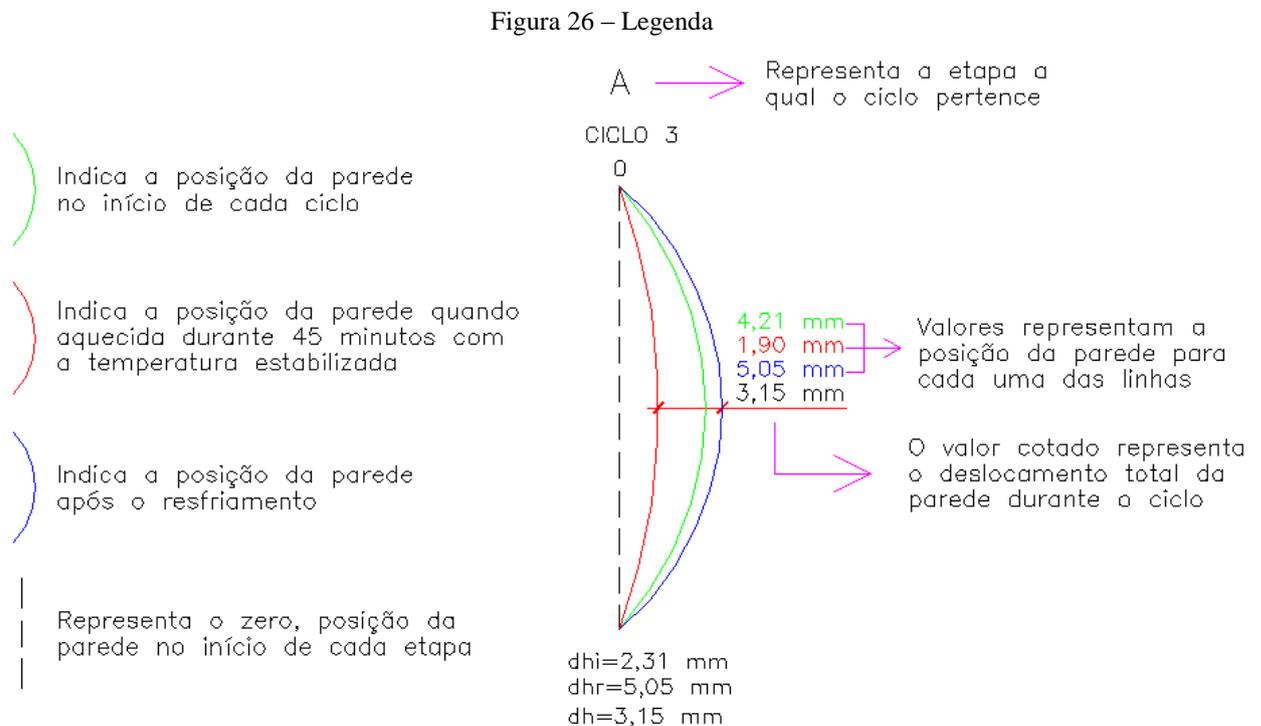
Tabela 4 – Deslocamentos da parede 2

PAREDE 2											
ETAPA A - 80°C (±3)				ETAPA B - 60°C (±3)				ETAPA C - 60°C (±3)			
Ciclos	d <sub>hi</sub> [mm]	d <sub>hr</sub> [mm]	d <sub>h</sub> [mm]	Ciclos	d <sub>hi</sub> [mm]	d <sub>hr</sub> [mm]	d <sub>h</sub> [mm]	Ciclos	d <sub>hi</sub> [mm]	d <sub>hr</sub> [mm]	d <sub>h</sub> [mm]
1	3,35	2,95	6,30	1	1,12	0,26	1,38	1	1,47	0,15	1,32
2	4,42	2,83	5,30	2	0,91	0,84	1,49	2	0,84	0,50	1,49
3	3,91	3,83	3,91	3	1,24	1,01	1,41	3	1,19	0,86	1,55
4	3,80	3,85	3,82	4	1,19	1,16	1,34	4	1,35	1,07	1,56
5	2,50	5,25	3,90	5	1,41	1,20	1,45	5	1,53	1,23	1,69
6	0,64	7,17	2,56	6	1,27	1,29	1,36	6	1,58	1,29	1,64
7	2,18	7,15	2,16	7	1,35	1,23	1,29	7	1,71	1,28	1,70
8	2,29	7,11	2,25	8	1,24	1,23	1,24	8	1,73	1,33	1,78
9	2,37	7,18	2,44	9	1,44	1,20	1,41	9	1,72	1,35	1,74
10	2,31	6,94	2,07	10	1,41	1,23	1,44	10	2,03	1,03	1,71

(fonte: elaborada pela autora)

O deslocamento instantâneo máximo sofrido pela parede 2 foi de 4,42 mm para a etapa A, 1,44 mm para a etapa B e 2,03 mm para a etapa C. Como o deslocamento horizontal instantâneo máximo admissível é de 8,0 mm, a parede 2 apresenta-se dentro desse limite para as três etapas (A, B e C).

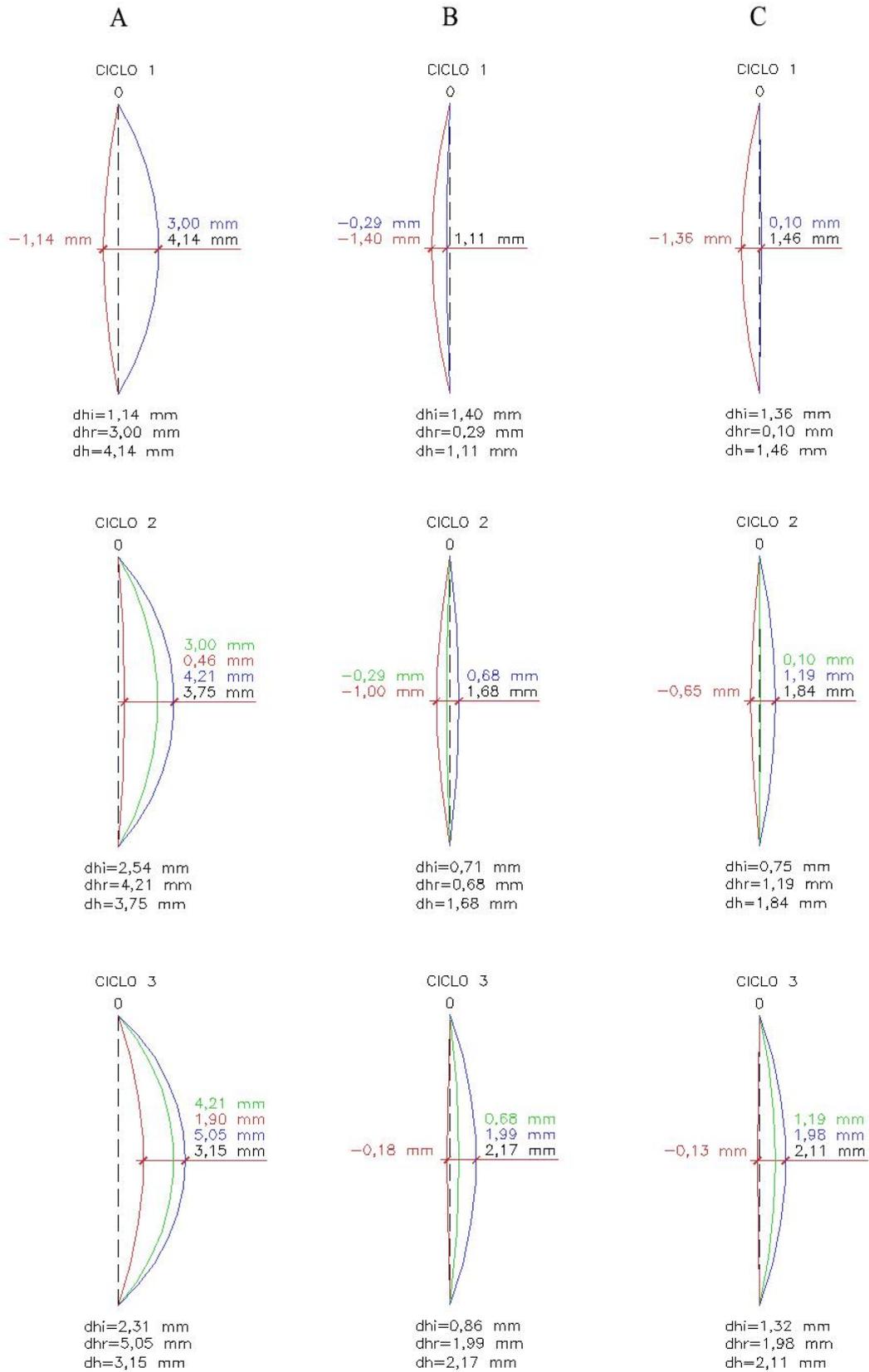
Para melhor entendimento dos deslocamentos sofridos pelas paredes, foi representado ciclo por ciclo o comportamento das paredes 1 e 2, possibilitando uma melhor compreensão do que representa, realmente, cada um desses deslocamentos. Primeiro será mostrado na figura 26, uma legenda que tornará mais claro o que significa cada parte do desenho. O detalhamento dos deslocamentos a cada ciclo pode ser visto nas figuras 27 a 34.



(fonte: elaborada pela autora)

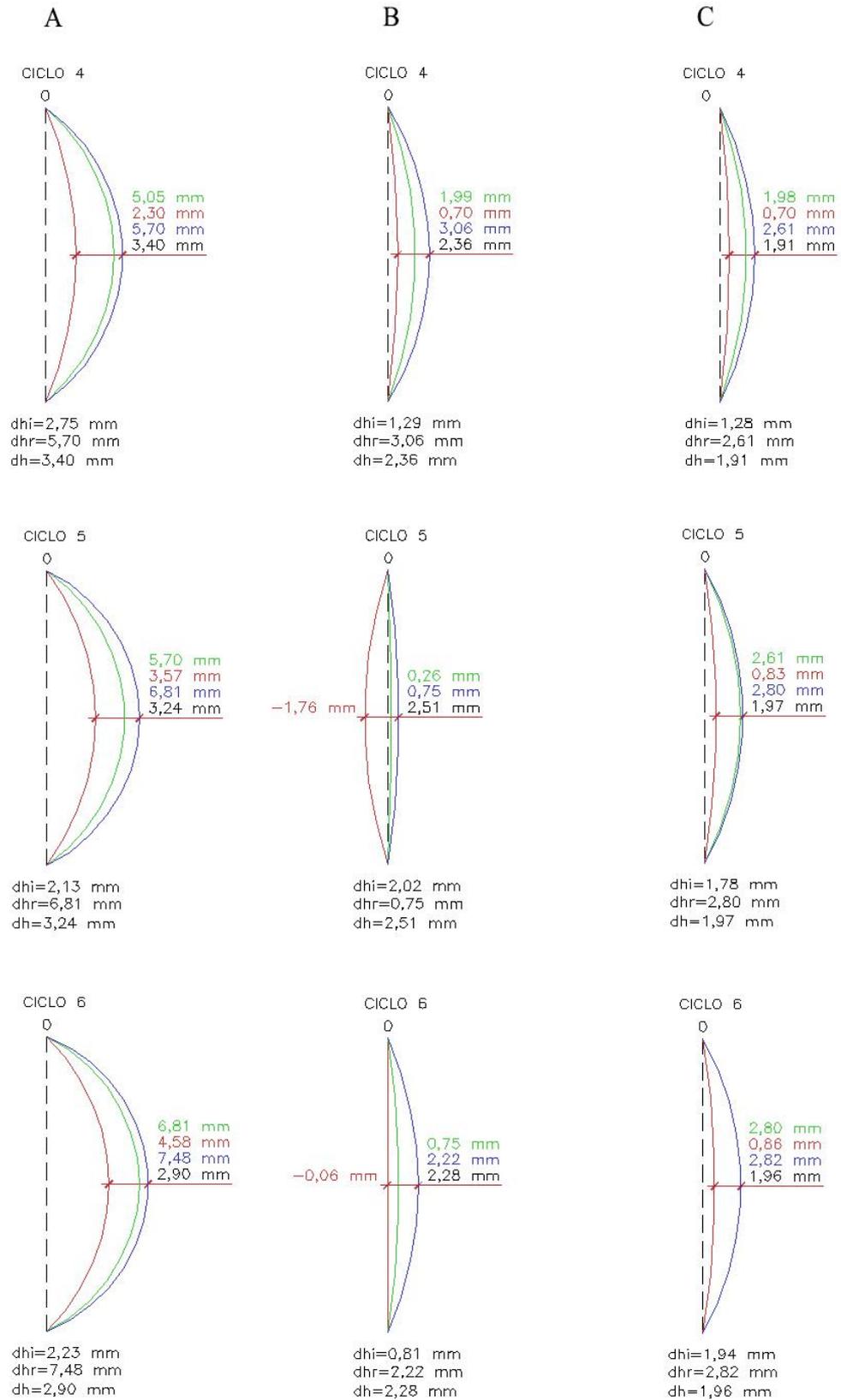
A linha pontilhada na cor preta representa o zero, a linha em vermelho nos indica a posição da parede quando aquecida durante 45 minutos à temperatura de 80°C (±3°C) para a etapa A ou a 60°C (±3°C) para a etapa B e C. A linha de cor azul, representa a posição da parede após sofrer o resfriamento e com uma temperatura de 20°C (±5°C). Por último, a linha de cor verde que nos indica o deslocamento residual da parede, ou seja, o ponto de onde ela começou a se deslocar no início de cada ciclo.

Figura 27 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C



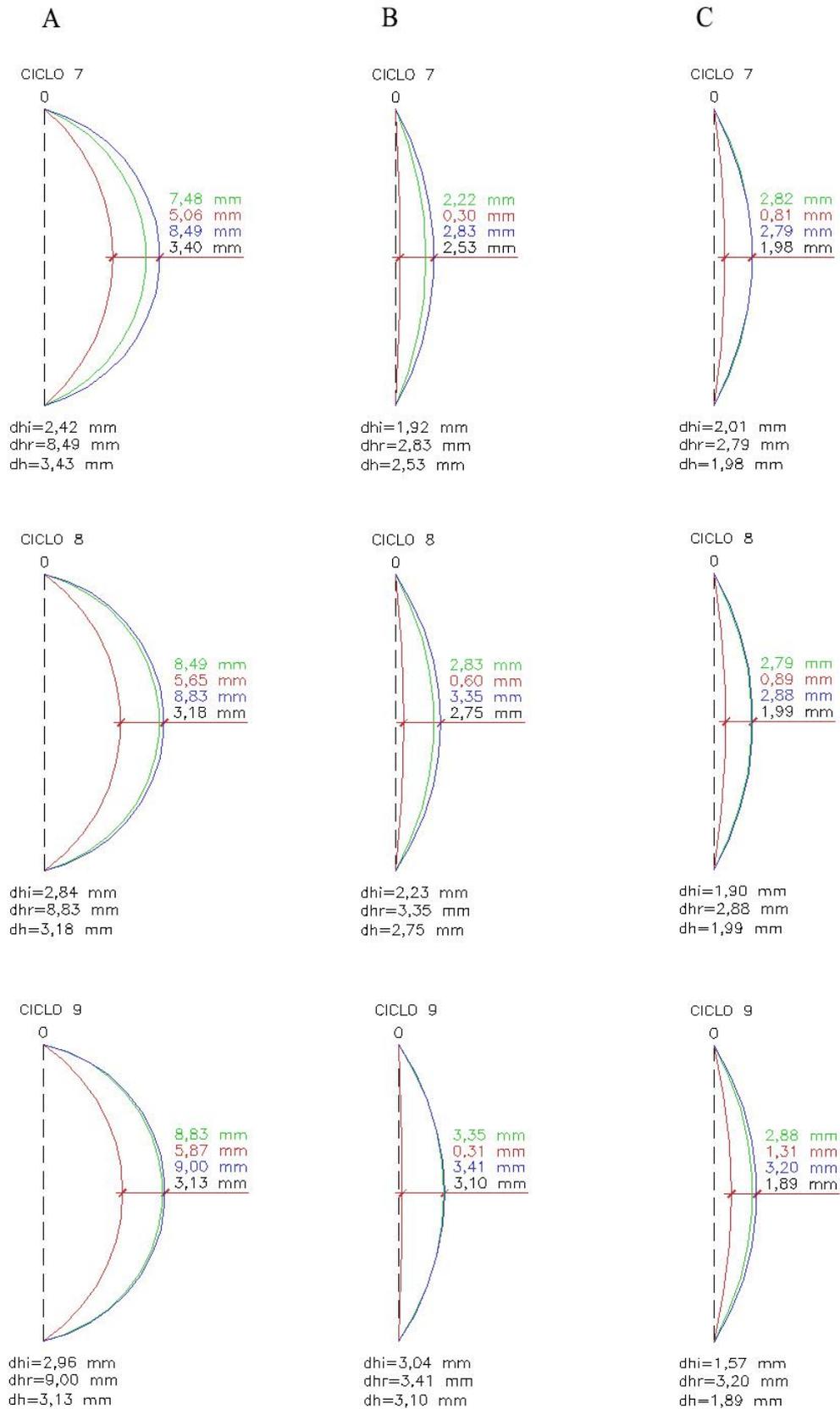
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 28 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C



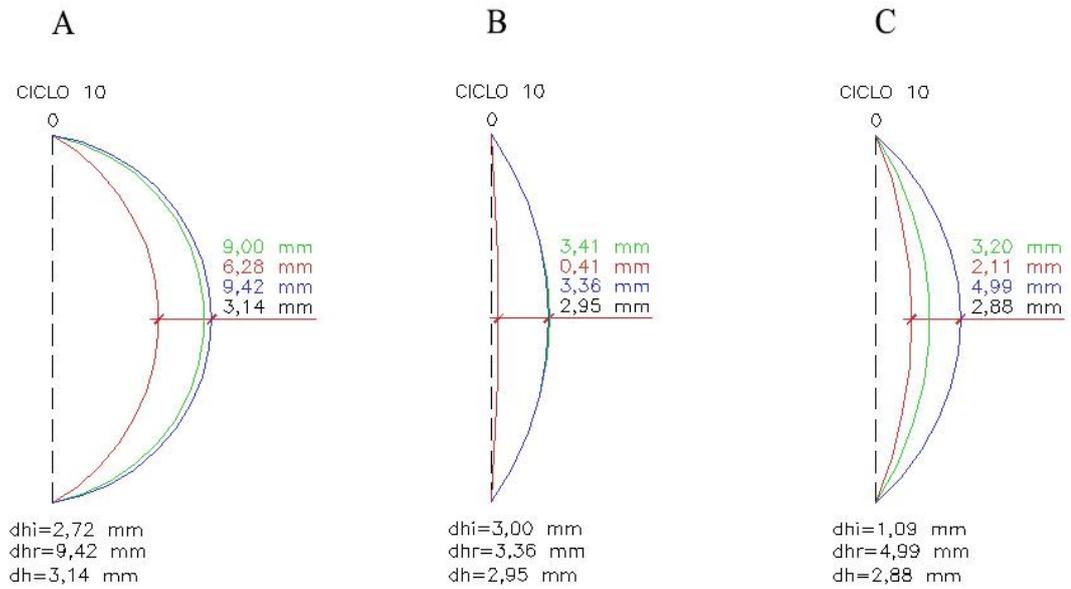
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 29 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C



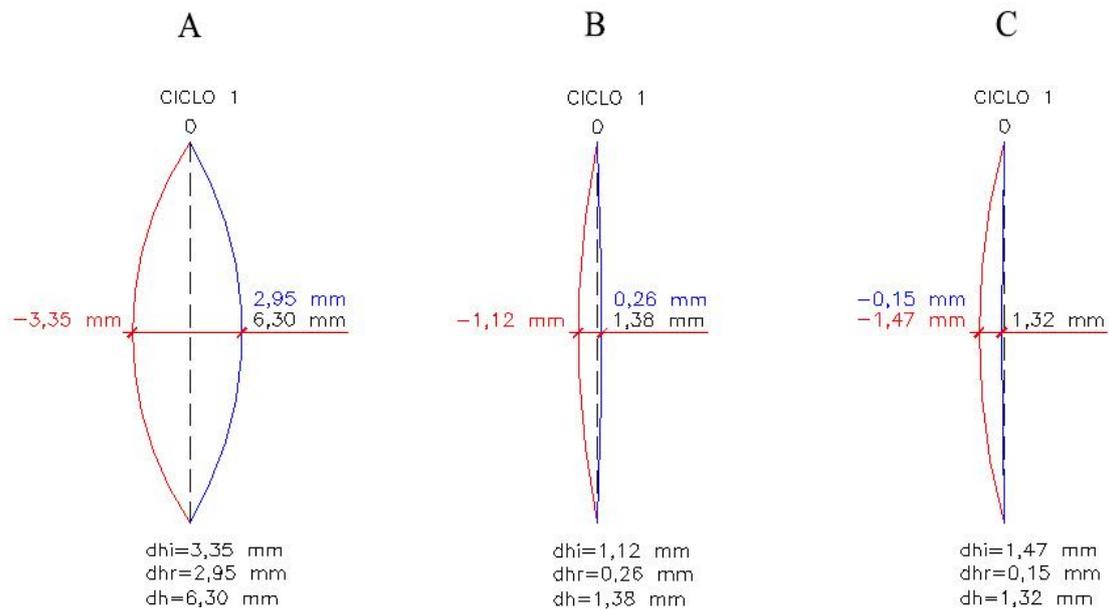
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 30 – Deslocamentos da parede 1, etapas A, B e C



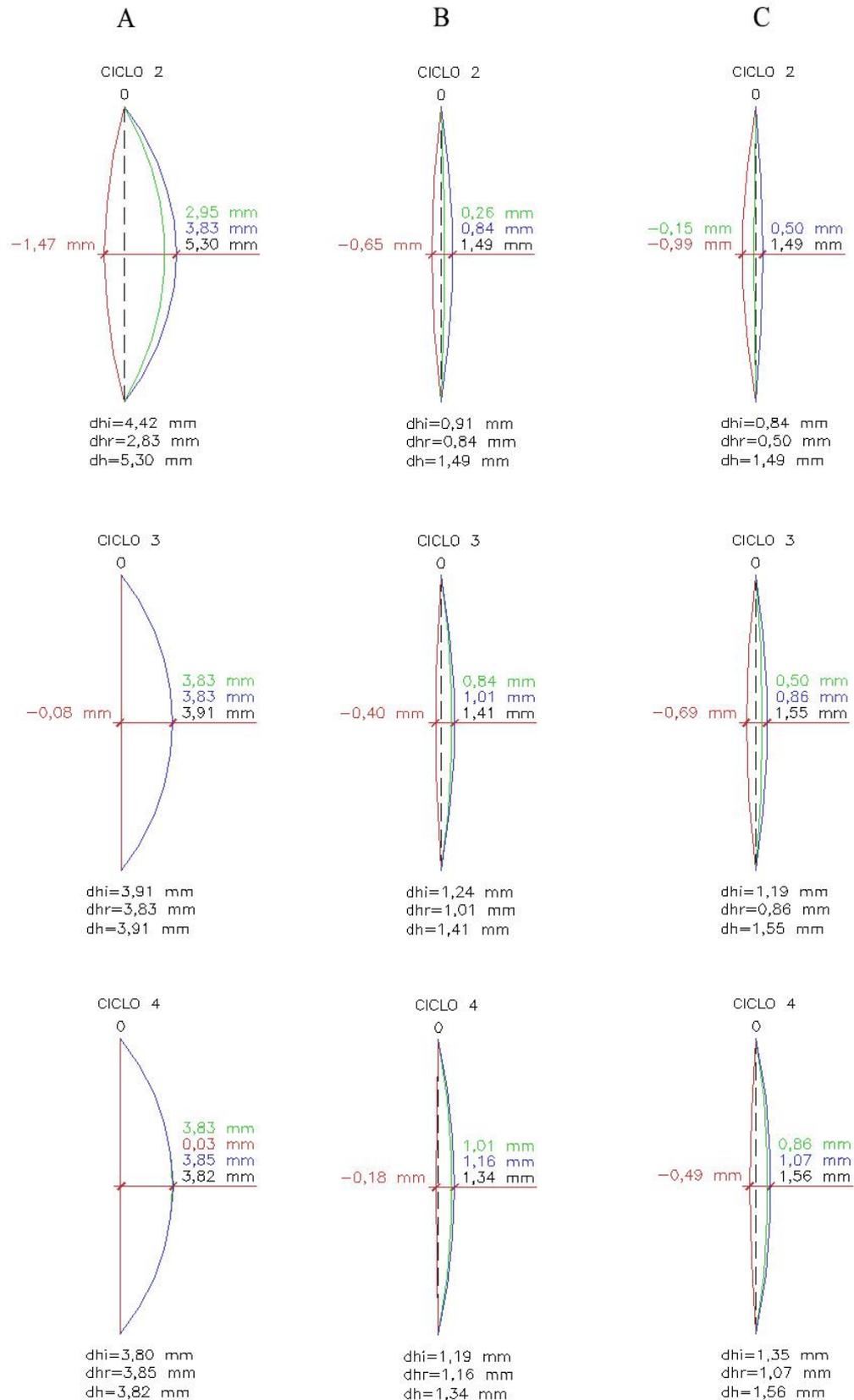
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 31 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C



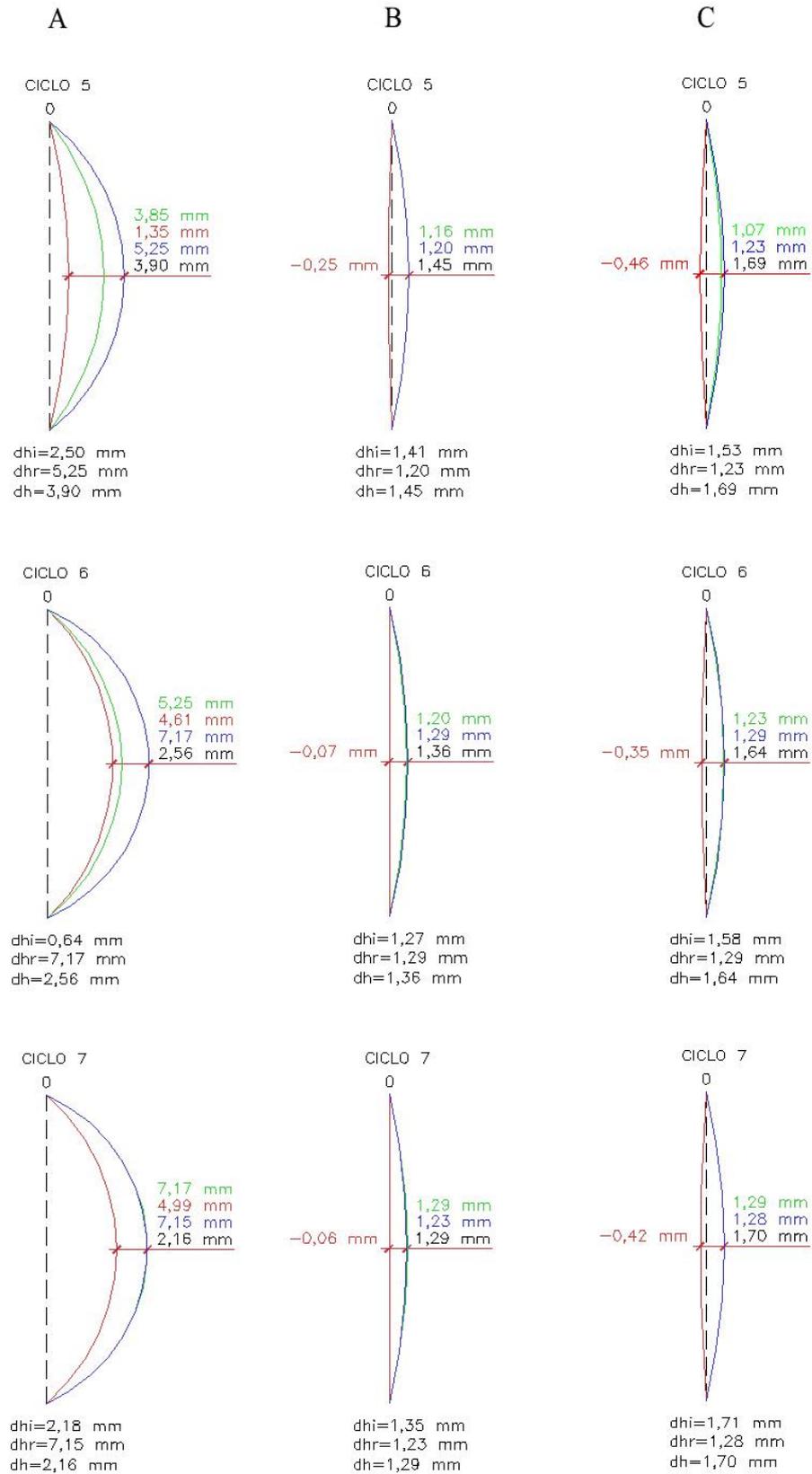
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 32 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C



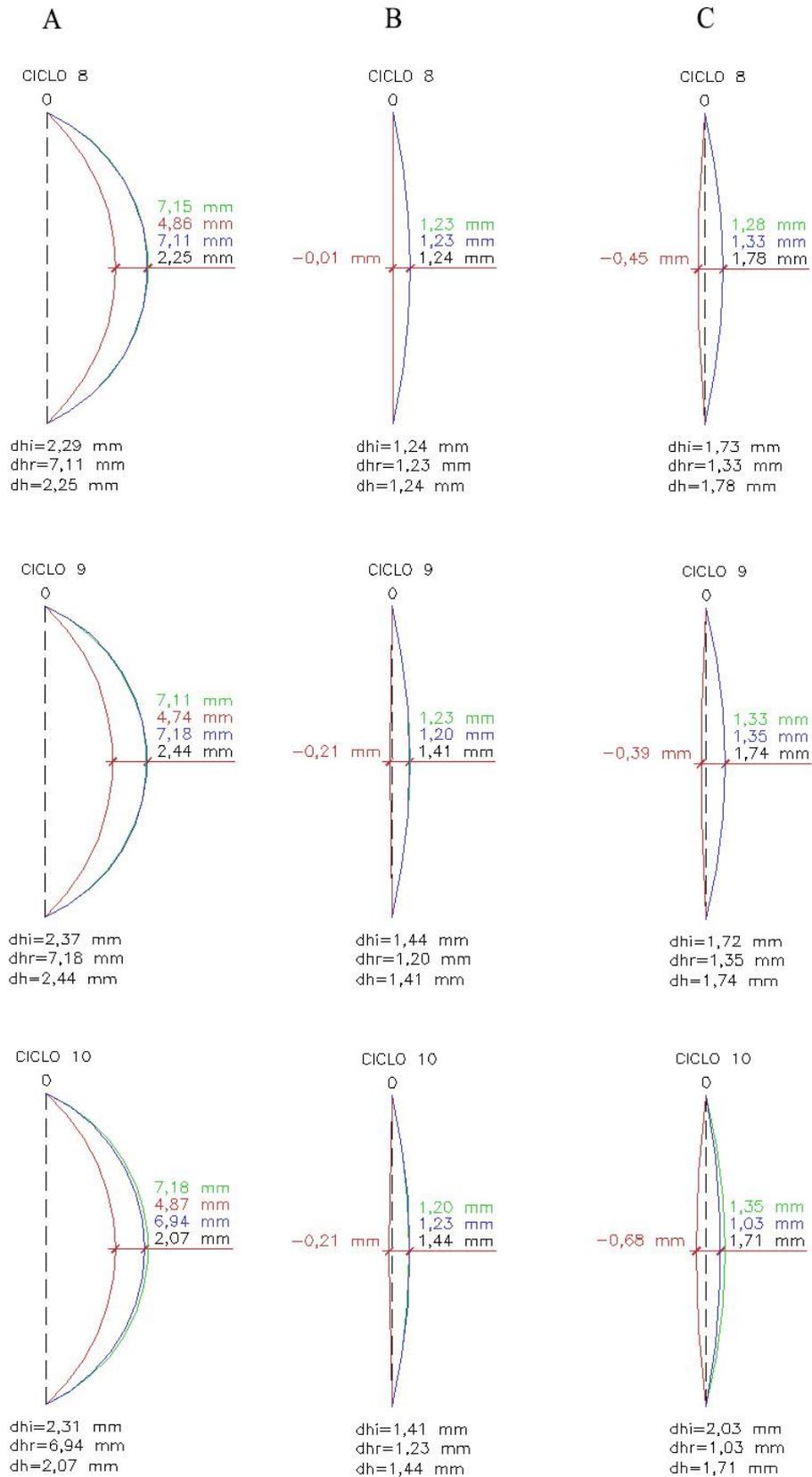
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 33 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 34 – Deslocamentos da parede 2, etapas A, B e C



(fonte: elaborada pela autora)

Tomando como exemplo o ciclo 1-A, a linha verde não aparece, pois o corpo de prova parte do zero. A posição da parede após 45 minutos à 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) é de -1,14 mm, a posição após o resfriamento é de 3,0 mm. Com esses valores podemos achar o deslocamento total da parede durante o ciclo, que foi 4,14 mm (cotado na figura).

Já no ciclo 2-A, a parede inicia o seu deslocamento a partir da posição que parou no ciclo 1-A, ou seja, dos 3,0 mm, que é representado agora pela linha verde. A posição aos 45 minutos à 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) é de 0,46 mm, a posição após o resfriamento é de 4,21 mm, resultando em um deslocamento total da parede durante o ciclo de 3,75 mm. E assim, foi feito para todos os ciclos, com o objetivo de ter uma melhor visualização do comportamento dos corpos de prova.

Ao analisarmos as figuras, podemos notar que chegou num ponto em que a parede permaneceu se deslocando apenas à direita da linha preta tracejada. Na etapa A, apenas o ciclo 1, tem deslocamento para a esquerda ao aquecer, do ciclo 2 ao 10 todos permanecem à direita. A etapa B e C, seguiram a mesma tendência, a única diferença foi que a permanência dos deslocamentos no lado direito do zero, ocorreram em ciclos posteriores.

Um ponto que foi observado durante o ensaio da etapa B da parede 1 tem relação com o deslocamento horizontal residual. No decorrer desse ciclo o ensaio precisou ser interrompido após o término do ciclo 4, que resultou em um dhr de 3,06 mm. Após 24 horas o ensaio foi iniciado novamente, mas o defletômetro estava marcando um dhr de 0,26 mm, uma diferença de 2,80 mm.

Outra observação feita em relação à interrupção do ensaio foi em relação ao comportamento da parede, pois conforme já mencionado, no decorrer dos 10 ciclos chega um instante em que a parede permanece se deslocando apenas à direita da linha preta tracejada (que representa o zero). Mas, quando houve essa parada no ensaio e o retorno no dia posterior, o corpo de prova voltou a se deslocar à esquerda da linha preta tracejada, ou seja, apresentou o mesmo comportamento do único do ensaio.

O tempo que cada parede levou para aquecer e resfriar, ao longo de cada ciclo estão apresentados na tabela 5, sendo  $t_a$  o tempo de aquecimento, ou seja, o tempo que a parede

levou para alcançar os 60°C ou 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ), e  $t_r$  o tempo de resfriamento, que equivale ao tempo levado para chegar aos 20°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ).

Tabela 5 – Tempo de aquecimento e resfriamento

<b>PAREDE 1</b>								
<b>ETAPA A - 80°C (<math>\pm 3</math>)</b>			<b>ETAPA B - 60°C (<math>\pm 3</math>)</b>			<b>ETAPA C - 60°C (<math>\pm 3</math>)</b>		
<b>Ciclos</b>	<b><math>t_a</math> [min]</b>	<b><math>t_r</math> [min]</b>	<b>Ciclos</b>	<b><math>t_a</math> [min]</b>	<b><math>t_r</math> [min]</b>	<b>Ciclos</b>	<b><math>t_a</math> [min]</b>	<b><math>t_r</math> [min]</b>
1	36,0	7,0	1	10,0	4,0	1	11,0	3,0
2	32,0	7,0	2	15,0	3,0	2	14,0	3,0
3	33,0	7,0	3	15,0	3,0	3	14,0	4,0
4	26,0	6,0	4	14,0	4,0	4	14,0	3,0
5	23,0	6,0	5	7,0	8,0	5	16,0	4,0
6	26,0	7,0	6	15,0	6,0	6	12,0	5,0
7	26,0	6,0	7	13,0	7,0	7	14,0	5,0
8	25,0	6,0	8	14,0	9,0	8	15,0	5,0
9	22,0	6,0	9	13,0	8,0	9	12,0	3,0
10	25,0	9,0	10	15,0	8,0	10	19,0	5,0
<b>TOTAL [h]</b>	<b>5,68</b>		<b>TOTAL [h]</b>	<b>3,18</b>		<b>TOTAL [h]</b>	<b>3,02</b>	
<b>PAREDE 2</b>								
<b>ETAPA A - 80°C (<math>\pm 3</math>)</b>			<b>ETAPA B - 60°C (<math>\pm 3</math>)</b>			<b>ETAPA C - 60°C (<math>\pm 3</math>)</b>		
<b>Ciclos</b>	<b><math>t_a</math> [min]</b>	<b><math>t_r</math> [min]</b>	<b>Ciclos</b>	<b><math>t_a</math> [min]</b>	<b><math>t_r</math> [min]</b>	<b>Ciclos</b>	<b><math>t_a</math> [min]</b>	<b><math>t_r</math> [min]</b>
1	35,0	6,0	1	19,0	2,0	1	14,0	3,0
2	35,0	6,0	2	17,0	3,0	2	20,0	2,0
3	31,0	5,0	3	16,0	2,0	3	19,0	2,0
4	25,0	6,0	4	17,0	2,0	4	17,0	2,0
5	22,0	5,0	5	16,0	2,0	5	19,0	2,0
6	32,0	6,0	6	16,0	2,0	6	20,0	3,0
7	23,0	8,0	7	18,0	2,0	7	17,0	3,0
8	21,0	6,0	8	15,0	4,0	8	17,0	4,0
9	20,0	7,0	9	16,0	2,0	9	17,0	3,0
10	21,0	7,0	10	16,0	2,0	10	20,0	3,0
<b>TOTAL [h]</b>	<b>5,45</b>		<b>TOTAL [h]</b>	<b>3,15</b>		<b>TOTAL [h]</b>	<b>3,45</b>	

(fonte: elaborada pela autora)

A parede permanece à temperatura constante de 60°C ou 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) durante uma hora, em cada ciclo, dando o total de 10 horas por ensaio. Ao tempo de aquecimento e resfriamento são somadas essas 10 horas, nos fornecendo a duração total de cada ensaio.

A etapa A das duas paredes levaram mais de 15 horas, um tempo maior se comparado às etapas B e C, que levaram cerca de 13 horas. Isso se dá, principalmente, pelo fato de que para chegar aos 80°C se leva mais tempo do que para atingir a temperatura de 60°C.

Na etapa C da parede 2, houve um pequeno aumento no tempo total de ensaio se comparada às outras paredes ensaiadas à 60°C. Apesar da diferença ser pequena, vale ressaltar, que nesse dia estava mais frio, resultando num tempo maior para aquecer a parede, o que acabou influenciando no tempo total de ensaio.

Outro critério apresentado pela Norma de Desempenho é em relação à ocorrência de falhas como fissuras, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do SVVE. Ficando estabelecido que ao final do ensaio os corpos de prova não devem apresentar esses problemas.

No processo de avaliação visual da parede 1 e parede 2, não foram detectadas modificações ao final da etapa A. Mas, ao final da etapa B, ao afastar o painel radiante, foram observados danos ao revestimento de PVC, os perfis descolaram do concreto ficando partes mais sobressalientes em relação às outras. Esse dano foi verificado para os dois corpos de prova ao final da etapa B, sendo constatado apenas na face que ficou exposta ao calor.

O maior desnível medido no revestimento de PVC para a parede 1, ao fim da etapa B, foi de 5,2 mm e para a parede 2 foi de 4,6 mm. As figuras 35 e 36, mostram o PVC danificado ao final da etapa B para as paredes 1 e 2, respectivamente.

Após os 10 ciclos da etapa B ficou constatado que o corpo de prova não atende mais a todos os critérios estabelecidos pela Norma de Desempenho, sendo que, não teria mais necessidade de seguir com os próximos 10 ciclos da etapa C, pois o objetivo secundário do trabalho que é dar continuidade aos ensaios até que mudanças significativas no comportamento deste sistema fossem observadas, já foi alcançado. Mas, optou-se por realizar mais 10 ciclos a fim de verificar se os danos provocados no PVC teriam um aumento ou se haveria uma diferença significativa no deslocamento horizontal instantâneo.

Figura 35 – PVC danificado ao final da etapa B na parede 1



(fonte: foto da autora)

Figura 36 – PVC danificado ao final da etapa B na parede 2



(fonte: foto da autora)

Sendo assim, os corpos de prova foram submetidos a mais 10 ciclos (etapa C), sendo que, ao término deles, foi possível verificar que os mesmos problemas já existentes se acentuaram, aumentando a sobressaliência entre os perfis de PVC, passando de 5,2 mm para 6,8 mm na parede 1 e de 4,6 mm para 6,1 mm na parede 2. A figura 37 mostra as paredes 1 e 2 após a etapa C.

Os valores citados, se referem aos maiores desníveis apresentados entre os painéis de PVC, existindo outros de valores menores encontrados ao longo de toda face da parede e podem ser percebidos nas figuras.

Figura 37 – PVC danificado ao final da etapa C na (a) parede 1 e (b) parede 2



(fonte: foto da autora)

## 8 CONCLUSÕES

A avaliação do desempenho, balizada pela NBR 15575, mostra-se fundamental para a avaliação de sistemas construtivos inovadores. Essa avaliação contribui para que se tenha conhecimento do desempenho do sistema antes de executá-lo, diminuindo o risco de insucesso e garantindo a qualidade que o consumidor exige.

Pode-se afirmar que os objetivos desse trabalho foram alcançados, pois através dos resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico foi possível analisar o comportamento do SVVE constituído de painéis de PVC preenchidos com concreto. Os parâmetros de aceitabilidade foram todos atendidos pelo sistema, ou seja, após ser submetido aos 10 ciclos de aquecimento e resfriamento, o sistema não apresentou deslocamentos horizontais instantâneos superiores ao estabelecido pela NBR 15575-4 e também não houve ocorrência de falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos ou outros danos que pudessem comprometer a utilização do SVVE.

Ao submeter os mesmos corpos de prova, tendo como base a Diretriz SINAT 004 (2010), a mais 10 ciclos de aquecimento e resfriamento, o sistema não atendeu a todos os critérios exigidos. Quanto aos deslocamentos horizontais instantâneos não houve problemas, ficaram todos dentro do limite estabelecido. Mas, no processo de avaliação visual as paredes apresentaram danos ao revestimento de PVC, não atendendo aos parâmetros de destacamento. Mesmo com as paredes danificadas, foram realizados mais 10 ciclos, a fim de se verificar a evolução ou a estagnação das falhas, onde foi constatado que a falha de destacamento do PVC em relação ao concreto, já existente, aumentou e ainda surgiram em outros locais ao longo do SVVE.

Confome já mencionado anteriormente, houve uma interrupção durante o ensaio na etapa B da parede 1, o que acabou ocasionando uma diferença de 2,80 mm no deslocamento horizontal residual em um período de 24 horas. Um questionamento deixado por esse trabalho é se há a necessidade de se ter um tempo de acomodação para que a parede tenha um  $d_{hr}$  final.

Outro fato já comentado e também causado pela interrupção do ensaio foi em relação ao comportamento da parede. Pois quando houve a pausa no ensaio e o retorno no dia posterior,

o corpo de prova apresentou o mesmo comportamento do início do ensaio, ou seja, o corpo de prova voltou a se deslocar à esquerda da linha preta tracejada (que representa o zero), reforçando ainda mais o questionamento da necessidade de ser ter um tempo de acomodação da parede.

Uma sugestão de trabalho levando em consideração o ensaio de ação de calor e choque térmico vem de outro questionamento surgido durante a análise dos resultados do ensaio. Os danos provocados no PVC que surgiram durante a etapa B, que foi realizada de acordo com a Diretriz SINAT 004 (2010), ou seja, considerando uma temperatura de 60°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ), teriam surgido após a realização de quantos ciclos se o SVVE fosse ensaiado desde o começo considerando a diretriz em questão, ou seja, não submetendo a parede aos 80°C referidos na NBR 15575-4.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – desempenho - parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais – desempenho - parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA RIO GRANDE DO SUL. **Caderno Técnico AsBEA-RS**: norma de desempenho. 1. ed. Porto Alegre: AsBEA-RS, 2014. v. 1.

BORGES, C. A. M.; SABBATINI, F. H. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2008. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP PCC n.515.

BRANDÃO, R. G. **Estudo de viabilidade da utilização de PVC, PEX e PPR em empreendimentos multifamiliares**. 2010. 78 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CICHINELLI, G. Sistema construtivo para casas e sobrados usa painéis de PVC preenchidos com concreto. **Téchne**, São Paulo, n. 199, ano 21, p. 41-47, Out. 2013.

Desempenho revisado. **Téchne**, São Paulo, n. 192, ano 21, p. 42-49, Mar. 2013.

DOMARASCKI, C. S.; FAGIANI, L. S. **Estudo comparativo dos sistemas construtivos: steel frame, concreto PVC e sistema convencional**. 2009. 75 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos, 2008.

ESQUIVEL, J. F. T. **Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa**. 2009. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FARIA, F. Industrialização econômica: sistemas construtivos industrializados ganham força com expansão do segmento residencial econômico. **Téchne**, São Paulo, n. 136, ano 16, p. 42-48, Jul. 2008.

GONÇALVES, R. Z. **Sistema construtivo de habitações populares utilizando perfis modulares de PVC preenchidos com concreto**. 2010. 80 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2010.

GUIMARÃES, A. H. **Análise da viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas construtivos aplicados às habitações de interesse social de Florianópolis**. 2014. 290 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

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 térreas**. 2013. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H.; MITIDIERI FILHO, C. V. Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 53-67, Dez. 2014.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. [2014?].

RODOLFO JR., A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: ProEditores / Braskem, 2006.

ROYAL DO BRASIL TECHNOLOGIES. **Manual de montagem**. Disponível em: <[http://www.royalbrasil.com.br/downloads\\_building.htm](http://www.royalbrasil.com.br/downloads_building.htm)>. Acesso em: 18 abr. 2015.

SANTOS, D. C.; PELISSER, F. **Concreto leve com baixo consumo de cimento**. 2011. 16 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

SCHMIDT, V. L. **Paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto: análise das potencialidades do sistema**. 2013. 89 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SILVEIRA, E. Casa de plástico. **Pesquisa**, São Paulo, ed. 190, p. 76-79, Dez. 2011

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **Diretrizes para avaliação técnica de produtos**. Brasília, 2010.

STOCCO, W.; RODRIGUES, D.; CASTRO, A. P. A. S. **Concreto leve com uso de EPS**. São Paulo: COBENGE, 2009. Não paginado.