

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

TIAGO NICARETTA

**AVALIAÇÃO ENTRE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS ADERIDOS EM
DIFERENTES BASES SOB O EFEITO DA AÇÃO AO CALOR E AO CHOQUE
TÉRMICO**

São Leopoldo
2018

TIAGO NICARETTA

AVALIAÇÃO ENTRE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS ADERIDOS EM
DIFERENTES BASES SOB O EFEITO DA AÇÃO AO CALOR E AO CHOQUE
TÉRMICO

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

Orientador: Prof. Bernardo Fonseca Tutikian

São Leopoldo

2018

RESUMO

A necessidade da busca de sistemas construtivos que visam atender os desempenhos normativos evidenciou-se nos últimos anos com a publicação da norma de desempenho ABNT NBR-15575:2013. Em sua quarta parte, a referida norma aborda os revestimentos de fachadas, que comumente apresentam diversas manifestações patológicas de onerosas manutenções. Os revestimentos argamassados tem importância fundamental na estanqueidade à água, além de proteger a alvenaria e a estrutura às intempéries. O choque térmico é um dos principais responsáveis por falhas nos revestimentos, que em decorrência deste podem vir a apresentar falhas e deslocamentos excessivos. Este trabalho tem como objetivo principal a análise comparativa da influência da ação ao calor e ao choque térmico no comportamento dos revestimentos argamassados de quatro amostras de paredes. Estas foram executadas em alvenaria com a inserção de um pilar de concreto armado em meio a parede, representando em cada amostra a forma executiva de alvenarias nesta situação, onde existe a interface entre materiais aderidos sobre bases de composição e comportamento térmico diferente. Desta forma os sistemas construtivos preveem a ligação da alvenaria ao pilar ou então o reforço do revestimento em situações onde não se executa a referida ligação. Desta forma proporciona-se subsídios referente a durabilidade de cada sistema para que especificadores e construtores possam embasar suas escolhas com maior confiabilidade. Os resultados apontam deslocamentos diferentes de acordo com a tecnologia construtiva adotada. Além disso, observa-se que a concentração diferencial de umidade durante a fase de resfriamento, pode alterar totalmente os resultados obtidos nos ensaios de Ação ao Calor e Choque Térmico (ACCT). Conclui-se que a apresentação de fissuras nos revestimentos durante o referido ensaio está intimamente ligada às características da argamassa de revestimento, principalmente no que diz respeito à resistência mecânica desta. Por fim, comprova-se por meio dos resultados constatados, da resistência de aderência à tração, que a ação do ensaio de ACCT tem ação deletéria na resistência da aderência à tração dos revestimentos analisados.

Palavras-chave: Ação ao calor e choque térmico, revestimentos argamassados em fachada, deslocamentos horizontais, fissuras, aderência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transferência de Calor.....	24
Figura 2 – Fixação da tela como ponte de aderência.....	29
Figura 3 – Tela metálica em meio à camada de argamassa.....	29
Figura 4 – Tela metálica fixada como ponte de aderência.....	30
Figura 5 – Ligação da alvenaria ao pilar com o uso de tela metálica galvanizada....	33
Figura 6 – Ligação da alvenaria ao pilar com gancho em aço com dois ramos.....	34
Figura 7 – Ligação da alvenaria ao pilar com barras de aço.....	34
Figura 8 – Fluxograma.....	35
Figura 9 – Modelo construtivo amostra 1 (P1) e amostra 2 (P2).....	38
Figura 10 – Modelo construtivo amostra 3 (P3) e amostra 4 (P4).....	39
Figura 11 – Etapas construtivas da parede 1 (P1) “ferro cabelo”.....	41
Figura 12 – Etapas construtivas da parede 2 (P2) “fibra PP”.....	41
Figura 13– Etapas construtivas da parede 3 (P3) “tela assentamento”.....	42
Figura 14 – Etapas construtivas da parede 4 (P4) “tela revestimento”.....	42
Figura 15 – Amostra em pórtico metálico.....	46
Figura 16 – Posição dos relógios na face oposta à face em ensaio.....	47
Figura 17 – Medição da temperatura da água de resfriamento.....	48
Figura 18 – Posição das pastilhas para ensaio de tração.....	49
Figura 19 – Termopares tipo K com diâmetro de 1,5mm.....	62
Figura 20 – Disposição dos termopares na face ensaiada.....	62
Figura 21 – Modelos de relógios comparadores utilizados.....	63
Figura 22 – Modelo de base magnética utilizada.....	63
.....	63
Figura 23 – Disposição dos termopares na face ensaiada.....	64
Figura 24 – Modelo dinamômetro de tração utilizado.....	64
Figura 25 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 1 (P1).	66
Figura 26 – Vazamento de água no resfriamento da amostra 1 (P1).....	67
Figura 27 –Variância no gradiente térmico da seção da amostra.....	68
Figura 28 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 2 (P2).	70
Figura 29 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 3 (P3).	72
Figura 30 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 4 (P4).	74
Figura 31 – Comparação da amplitude dos deslocamentos de cada parede.....	75

Figura 32 – Mapeamento das fissuras na amostra P1 (face oposta ao ensaio).....	77
Figura 33 – Mapeamento das fissuras na amostra P1 (face exposta ao ensaio)	78
Figura 34 – Mapeamento das fissuras na amostra P2 (face oposta ao ensaio).....	79
.....	79
Figura 35 – Mapeamento das fissuras na amostra P2 (face exposta ao ensaio)	80
Figura 36 – Mapeamento das fissuras na amostra P3 (face oposta ao ensaio).....	81
Figura 37 – Mapeamento das fissuras na amostra P3 (face exposta ao ensaio)	82
.....	82
Figura 38 – Mapeamento das fissuras na amostra P4 (face oposta ao ensaio).....	83
.....	83
Figura 39 – Mapeamento das fissuras na amostra P4 (face exposta ao ensaio)	84
Figura 40– Mapeamento das fissuras nas amostras (face oposta ao ensaio)	85
Figura 41– Mapeamento das fissuras nas amostras (face exposta ao ensaio).....	85
Fonte: Elaborada pelo autor	85
Figura 42 – Posição das taliscas das amostras P3 e P4 (face exposta ao ensaio)...	87
Figura 43– Deslocamentos relógio 1 (R1) na fase de aquecimento	101
Figura 44 – Deslocamentos relógio 1 (R1) na fase de resfriamento	101
Figura 45 – Deslocamentos relógio 2 (R2) na fase de aquecimento	102
Figura 46 – Deslocamentos relógio 2 (R2) na fase de resfriamento	102
Figura 47 – Deslocamentos relógio 3 (R3) na fase de aquecimento	103
Figura 48 – Deslocamentos relógio 3 (R3) na fase de resfriamento	103
Figura 49 – Deslocamentos relógio 4 (R4) na fase de aquecimento	104
Figura 50 – Deslocamentos relógio 4 (R4) na fase de resfriamento	104
Figura 51 – Deslocamentos relógio 5 (R5) na fase de aquecimento	105
Figura 52 – Deslocamentos relógio 5 (R5) na fase de resfriamento	105
Figura 53 – Deslocamentos relógio 6 (R6) na fase de aquecimento	106
Figura 54 – Deslocamentos relógio 6 (R6) na fase de resfriamento	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de dilatação linear de agregados miúdos	23
Tabela 2 – Divergências de critérios adotados entre metodologias de ensaios de choque térmico de normas internacionais e nacionais.....	26
Tabela 3 – Características gerais de fibras de polipropileno.....	32
Tabela 4 – Características de cada amostra	37
Tabela 5 – Idades para base de revestimento	40
Tabela 6 – Ensaio de caracterização dos blocos de vedação.....	50
Tabela 7 – Ensaio realizado na caracterização das argamassas utilizadas	51
Tabela 8 – Teores dos componentes do Cimento Portland pozolânico	53
Tabela 9 – Exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland pozolânico	53
Tabela 10 – Exigências química do Cimento Portland pozolânico	54
Tabela 11 – Características aditivo chapisco	54
Tabela 12 – Caracterização da argamassa de assentamento – fase 1.....	55
Tabela 13 – Caracterização da argamassa de revestimento (sem fibra) – fase.....	56
Tabela 14 – Caracterização da argamassa de revestimento (com fibra) – fase 1.....	56
Tabela 15 – Caracterização da argamassa de assentamento – fase 2.....	57
Tabela 16 – Caracterização da argamassa de revestimento – fase 2.....	57
Tabela 18 – Classificação das argamassas	58
Tabela 17 – Classificação dos blocos	58
Tabela 19 – Caracterização tela de revestimento	59
Tabela 20 – Caracterização tela de assentamento para vinculação ao pilar	60
Tabela 21 – Caracterização da fibra de PP.....	60
Tabela 22 – Caracterização do vergalhão de aço	61
Tabela 23 – Deslocamentos obtidos para amostra P1.....	66
Tabela 24 – Deslocamentos obtidos para amostra P2.....	69
Tabela 25 – Deslocamentos obtidos para amostra P3.....	71
Tabela 26 – Deslocamentos obtidos para amostra P4.....	73
Tabela 27 – Extensões das fissuras.....	86
Tabela 28 – Temperatura da água de resfriamento – fase 2	88
Tabela 29 – Parâmetros estabelecidos para a água aspergida no resfriamento.	89
Tabela 30 – Resistência de aderência a tração em área não exposta a ACCT.	89
Tabela 31 – Resistência de aderência a tração em área exposta a ACCT.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACCT – Ação ao Calor e Choque térmico

ASTM – American Society for Testing and Materials

DRAT - Determinação da resistência de aderência à tração

ETAG - European Technical Approval Guidelines

ISO – International Organization for Standardization

SVVE - Sistema de vedação vertical externa

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Definição do tema.....	10
1.2 Delimitações do tema	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo geral.....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificativa	12
1.5 Estrutura do trabalho	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Comportamento, durabilidade e desempenho do svve submetido ao ensaio de acct.....	15
2.2 Aderência.....	20
2.3 Tensões pela ação do calor e choque térmico	22
2.4 Gradiente térmico	23
2.5 Métodos de ensaio.....	24
2.6 Tela de revestimento	27
2.7 Fibras no revestimento	31
2.8 Ligações de alvenarias a pilares.....	33
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	35
3.1 Etapas do Experimento.....	35
3.1.1 Confecção das amostras	36
3.1.2 Níveis de controle	43
3.1.3 Parâmetros de controle fixo.....	43
3.1.4 Parâmetros não controláveis	43
3.2 Métodos.....	44
3.2.1 Verificação do comportamento de svve exposto à ação de calor e choque térmico.....	44
3.2.2 Deslocamento em relação ao plano	46
3.2.3 Controle de temperatura da água de resfriamento	47
3.2.4 Resistência de aderência à tração do revestimento	48
3.3 Materiais	50
3.3.1 Caracterização dos blocos cerâmicos	50

3.3.2	Caracterização da argamassa no estado fresco e endurecido.....	51
3.3.3	Cimento	53
3.3.4	Aditivo para chapisco.....	54
3.3.5	Agregado miúdo	54
3.3.6	Argamassa industrializada.....	54
3.3.7	Blocos cerâmicos.....	58
3.3.8	Água	59
3.3.9	Tela para estruturação do revestimento	59
3.3.10	Tela para vinculação da alvenaria ao pilar	59
3.3.11	Fibra de polipropileno	60
3.3.12	Barras de aço	60
3.3.13	Pilar de concreto armado.....	61
3.4	instrumentação	61
3.4.1	Termopares	61
3.4.2	Relógios comparadores.....	62
3.4.3	Termômetro	64
3.4.4	Dinamômetro de tração	64
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65
4.1	- Parte 1: Comportamento à ação de calor e choque térmico (acct).....	65
4.1.1	- Deslocamento horizontal instantâneo.....	65
4.1.2	- Fissuração e falhas nos revestimentos:.....	76
4.2	Parte 2 – Temperatura, vazão e tempo de aspersão da água de resfriamento	87
4.3	Parte 3 – Determinação da resistência de aderência à tração	89
5	CONCLUSÃO.....	91
5.1	Considerações finais.....	91
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
	APÊNDICE– RESULTADOS OBTIDOS NOS DESLOCAMENTOS.....	101

1 INTRODUÇÃO

A seguir será apresentado a definição do tema, delimitações da pesquisa, objetivos, justificativa e estruturação do presente trabalho.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA

A construção civil no Brasil cresceu muito na última década. Um fato que chama a atenção é o interesse dos fabricantes de materiais, construtores e projetistas na busca de tecnologias a fim de atender os requisitos estabelecidos na última revisão da norma de desempenho ABNT NBR-15575 (2013b). A referida norma, que tem foco no atendimento aos requisitos dos usuários para as edificações habitacionais e aos sistemas que as compõem, entrou em vigor em 19 julho de 2013 e tem movimentado a construção civil desde então por dividir responsabilidades entre construtores, projetistas e usuários. Dividida em seis partes, aborda na primeira parte os requisitos gerais e nas demais partes trata dos requisitos para os sistemas: estruturais, de pisos, de vedações verticais internas e externas, de coberturas e hidrossanitários, respectivamente.

Em sua parte 4 aborda os revestimentos de fachada, um dos importantes subsistemas que tem sido personagem principal de inúmeras manifestações patológicas nas edificações. Os revestimentos podem ser de diversas tipologias, mas comumente são utilizados os que fazem uso de argamassas de revestimento.

As argamassas de revestimento, segundo abordado por Carasek (2010), são empregadas no revestimento de paredes, tetos e muros. É comum receberem acabamentos de pintura, revestimento cerâmico, entre outros.

O revestimento de argamassa pode ser constituído de camadas de distintas funções e propriedades, são elas: Chapisco (Camada aplicada sobre a base para uniformizar o substrato quanto à absorção de água e melhorar a aderência), Emboço (Camada aplicada sobre o chapisco que tem por finalidade a regularização e cobertura da base), Reboco (Camada de revestimento executada sobre o emboço a fim de cobri-lo e possibilitar o recebimento da pintura ou até mesmo de algum revestimento decorativo), Camada única (Tipologia de argamassa em única camada, o qual deve ser aplicada sobre o chapisco e tem a função de emboço e reboco),

Revestimento decorativo monocamada (argamassa industrializada aplicada sobre o chapisco, tem como função a regularização e decoração).

Conforme apontado por Carasek (2010), os revestimentos argamassados além de regularizarem o substrato e servirem como bases para acabamentos decorativos, contribuem percentualmente nas funções de um sistema de revestimento como: Isolamento térmico e acústico (~30%) e (~50%), respectivamente; Estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência a desgastes e impactos superficiais. O autor ainda aponta que quando executados na face externa da parede de uma edificação, os revestimentos têm papel fundamental na proteção da alvenaria e estrutura às intempéries.

A maioria das edificações habitacionais construídas no Brasil tem como característica principal serem feitas em estruturas de concreto armado e como fechamento vertical serem executadas em alvenaria de vedação de tijolos/blocos cerâmicos (TÉCHNE, 2006).

Sabe-se que o choque térmico nos revestimentos de fachadas é um dos principais responsáveis por falhas nos revestimentos, como por exemplo: fissuras, destacamentos e empolamentos. Um dos fatores que propiciam tais falhas é a execução de um dado trecho em argamassa aderida sobre bases de comportamentos térmicos diferentes e tal fato pode-se perceber com frequência em revestimentos executados na interface pilar com a alvenaria. Neste caso exemplificado é comum notar destacamentos que provavelmente são resultantes de tensões submetidas maiores que a resistência da argamassa à tração, tal fato é abordado por Esquivel (2009).

É natural que o fenômeno de choques térmicos em fachadas acarrete a perda da estanqueidade da vedação vertical afetando às exigências relativas à habitabilidade como estanqueidade e conforto tátil, e às exigências relativas à sustentabilidade como durabilidade e manutenibilidade.

Além disso, é notável a recorrência de relatos sobre desprendimentos em revestimentos de fachadas, que muitas vezes ocasionam acidentes fatais, decorrentes da perda de aderência entre as camadas do sistema. Um exemplo disso é o relatado de problemas de desprendimento em revestimentos de diversas edificações localizadas na cidade de Teresinha – Piauí (ALVES, 2017).

Segundo Gripp (2008) um projeto com bom nível de detalhamento e especificação adequada, bem como o emprego de técnicas de execução propícias

contribui de maneira muito positiva para evitar diversas manifestações patológicas nos revestimentos de fachada e para evitar até improvisações no momento da execução, que poderão prejudicar o desempenho do revestimento.

1.2 DELIMITAÇÕES DO TEMA

O presente trabalho limita-se a avaliar e comparar o comportamento à Ação do Calor e Choque térmico de revestimentos, aderidos em base composta por alvenaria de blocos cerâmicos e pilar de concreto armado, executados de quatro diferentes formas executivas comumente utilizadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento de 4 (quatro) diferentes processos executivos de revestimentos argamassados aderidos em substratos de composição material diferente, submetidos à simulação laboratorial de ciclos de Ação ao Calor e Choque Térmico (ACCT).

1.3.2 Objetivos específicos

Comparar o desempenho em nível de deslocamentos horizontais, influência da temperatura da água de resfriamento, falhas e resistência na aderência à tração de quatro diferentes sistemas de execução de revestimentos submetidos à exposição de ensaios de Ação ao Calor e Choque Térmico aos 28 dias de cura.

1.4 JUSTIFICATIVA

É muito comum construtores executarem revestimentos de fachada sem qualquer projeto de fachada ou com projetos inadequados. Para a produção de um adequado projeto de fachadas que vise atender as necessidades dos usuários nas edificações, é necessário que o projetista conheça sobre a durabilidade e comportamento dos revestimentos sujeitos a diversas solicitações de uso. Segundo Gripp (2008),

raramente a escolha de um sistema de revestimentos é embasada por critérios técnicos confiáveis, sendo muito comum construtores utilizarem apenas aspectos estéticos e econômicos na execução dos sistemas de vedações verticais, sem darem a devida importância que estes sistemas têm na edificação.

Além disso, atualmente não há pesquisas publicadas sobre o comportamento a ação dos ensaios de ACCT em revestimentos argamassados aplicados sobre bases de composições diferentes, muito menos em relação ao tratamento adequado que deve ser dado ao SVVE (Sistema de Vedação Vertical Externa) na interface da alvenaria com o pilar. Sabe-se que eventuais reparos no SVVE, em decorrência de falhas requerem elevados investimentos e que em muitas vezes são inviáveis do ponto de vista financeiro.

Em virtude do exposto acima, é possível afirmar que este trabalho poderá colaborar com especificadores e construtores na tomada de decisão, dando subsídios para a escolha de uma tecnologia executiva adequada e confiável para se utilizar nos revestimentos argamassados aderidos sobre bases diferentes. Bem como também, possibilitar o embasamento de pesquisas neste ramo que é tão importante na construção civil, mas que ainda tem de ser explorado.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1, “Introdução”, são apresentados os objetivos do trabalho, sua contextualização na situação atual da construção civil brasileira e uma abordagem justificando o merecimento do tema abordado bem como sua contribuição na engenharia civil contemporânea.

No capítulo 2, “Fundamentação Teórica”, são explicados e comentados, a partir de referências, procedimentos normativos, comportamento e resultados de ensaios laboratoriais dos sistemas e materiais relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho.

No capítulo 3, “Programa experimental”, são especificados materiais adotados, bem como metodologias de ensaios adotadas.

No capítulo 4, “Apresentação, Análise e Discussão dos resultados obtidos”, são apresentados, analisados e discutidos os resultados de modo comparativo, conforme ensaios realizados de acordo com o “Programa experimental” proposto no cap. 3.

No capítulo 5, “Conclusão”, são apresentadas as conclusões relacionando-as aos resultados obtidos à fundamentação teórica e ao programa experimental proposto. Além disso, ao final sugere-se a execução de trabalhos futuros, com base nas conclusões e aprendizado obtido nesta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir será exposta a fundamentação teórica sobre os seguintes temas:

- a) Comportamento, durabilidade e desempenho do SVVE submetido ao ensaio de ACCT;
- b) Aderência;
- c) Tensões no revestimento;
- d) Gradiente térmico;
- e) Métodos vigentes;
- f) Tela de revestimento;
- g) Fibras no revestimento;
- h) Ligações de alvenarias a pilares.

2.1 COMPORTAMENTO, DURABILIDADE E DESEMPENHO DO SVVE SUBMETIDO AO ENSAIO DE ACCT

De acordo com Oliveira et al. (2014) são poucos estudos existentes que avaliam a durabilidade de sistemas construtivos, a grande parte dos estudos já realizados avalia os materiais de maneira isolada. Para avaliar a durabilidade de sistemas construtivos é fundamental identificar quais os meios agressivos que poderão alterá-lo, no decorrer do tempo de uso, as características fins que dado sistema foi projetado.

Segundo Lewry e Crewdson (1994), existem quatro metodologias de mensurar a durabilidade de sistemas construtivos, as quais podem ser: por meios de ensaios comparativos (utilizando dados já conhecidos sobre a durabilidade dos constituintes ou utilizando algum material de comportamento conhecido como referência e comparando-o a um material de comportamento desconhecido); por ensaios mecânicos que devem ser realizados precedentemente e posteriormente à exposição dos fatores de deterioração; e através de ensaios *in loco*, que buscam avaliar o comportamento em situação de uso real.

Conforme os autores supracitados, o tratamento dado quando quer se mensurar o desempenho deve considerar todos os fatores que podem afetar a durabilidade. Ensaio de envelhecimento acelerado são fundamentais para encontrar as fontes que deterioram e os meios que a deterioração ocorre no sistema avaliado.

Segundo John e Sato (2006), a durabilidade é o fruto da interação entre um dado sistema e as condicionantes do ambiente que este está inserido. Ou seja, um mesmo material ou sistema construtivo pode demonstrar em diferentes circunstâncias comportamentos divergentes. É também proposto por estes autores diferentes táticas para se determinar a durabilidade dos sistemas construtivos, são elas: de envelhecimento rápido, de envelhecimento normal e análises *in loco* (com produto em escala e condições reais de aplicação).

Para elevar o desempenho de uma obra, frente à multiplicidade dos efeitos ambientais que a edificação será submetida é de necessidade projetar, executar e fiscalizar melhor. Assim como, utilizar materiais de características adequadas e oferecer à edificação uma manutenção adequada durante e após a conclusão da construção. (MOSCOVO, 2013).

Em relação ao desempenho dos revestimentos de fachadas Arnoult et al. (1995) mencionam que pelo fato do Brasil ser um país de clima tropical, as edificações são sujeitas a mecanismos de degradação mais intensos que os de países do norte do continente europeu e países como Canadá e Estados Unidos da América. A estes, pode-se citar como os de maior relevância: as altas temperaturas, umidade, radiação solar e agentes biológicos.

Segundo Esquivel (2009), embora o uso de revestimentos argamassados seja comum e de já existirem diversas pesquisas sobre esta tecnologia, ainda existem aspectos pouco estudados, como é o caso da avaliação do seu desempenho e especificamente do comportamento mecânico. Ainda de acordo com o autor, para manter o nível de desempenho esperado ao longo da vida útil, o revestimento terá que suportar solicitações que surgem desde as primeiras idades como também às que são causadas por agentes de degradação que atuam comumente de forma simultânea. Em decorrência dessas solicitações em que o revestimento é submetido, este pode vir a desenvolver diversas manifestações patológicas, a estas manifestações pode-se citar as de casos mais simples como o aparecimento de eflorescências na superfície e fissuras, ou até mesmo as de maior gravidade como fratura e em casos mais severos ainda o desprendimento da base.

É necessário primeiramente avaliar as condicionantes climáticas, de localização e outras que podem atuar na obra a que se destina a argamassa de revestimento para assim poder escolher a tecnologia ideal para a utilização. Para

isso é essencial, sempre que possível, mensurar estas condicionantes. (MOSCOVO, 2013).

Segundo Oliveira et al. (2014), a reação frente aos sucessivos ciclos de choque térmico nas fachadas decorrente de altas temperaturas provocadas por radiações solares e brusco resfriamento, provocado por chuvas ou mudança de temperatura ambiente, resulta em elevadas tensões nos sistemas de fachadas, principalmente aos sistemas leves e de baixa inércia ou aos sistemas de múltiplas camadas de materiais diferentes (não homogêneos). Logo, conclui-se que para avaliar a durabilidade das fachadas é indispensável considerar o efeito dos sucessíveis ciclos de choques térmicos. De acordo com o autor, estudar a forma de proceder e as técnicas de ensaios que determinam a reação de um elemento de construção quando exposto aos efeitos do choque térmico é crucial para concluir sobre sua durabilidade. Isso por que dependendo do modelo experimental proposto é possível obter diferentes resultados quanto à avaliação da durabilidade.

Segundo Esquivel (2009), para análise do efeito de choque térmico os ensaios mais utilizados são os que submetem a amostra previamente aquecida a um resfriamento rápido por meio de imersão ou aspersão de água em temperatura ambiente.

De acordo com Coble e Kingery (1955), pode-se classificar os modelos experimentais de ensaios de choque térmico com base na forma como a variação da temperatura é simulada, ou seja, por aquecimento e resfriamento rápido ou por ciclos com alternância de temperatura. Também se pode classificar de acordo com o modo em que é avaliada a resistência do material frente às tensões geradas pelo ensaio de choque térmico, ou seja, por redução das propriedades elásticas, redução da resistência e perda de peso.

Deve-se a dois fatores às solicitações que afetam o comportamento mecânico dos revestimentos argamassados. O primeiro fator é a movimentação da base (estrutura ou alvenaria) quando incompatível com a movimentação do revestimento em argamassa. O segundo fator deve-se a movimentação provocada pelas condicionantes térmicas e higroscópicas. As térmicas são devido à radiação solar (rápida ou sazonal) e as provocadas pelo vento, já às de origem higroscópicas são provocadas pelo ambiente em que o revestimento está submetido (AGENCE QUALITÉ CONSTRUCTION, 1995 apud Esquivel, 2009, p.35).

Segundo Esquivel (2009), a resposta do material frente ao choque térmico depende das condições de contorno, pois no momento em que se restringem às movimentações externas do corpo de prova o nível de tensões no revestimento aumentará do mesmo modo que a transferência do calor continuará se dando até que o revestimento atinja o equilíbrio térmico (mesma temperatura em todo corpo de prova). Em virtude da aderência entre o revestimento e sua base, há a ocorrência de tensões que solicitarão o revestimento, e no caso dessas solicitações superarem a resistência mecânica do revestimento, este pode fissurar ou até mesmo perder sua total aderência.

Os autores Oliveira et al. (2014) propõem que seja adotado restrições nas bordas laterais do trecho, de forma a elevar o ensaio a uma situação real em que o SVVE seria submetido. Segundo os autores, a restrição pode ser executada inserindo perfis/colunas nas extremidades do corpo de prova com espessura não inferior à do corpo de prova. Outra forma de se executar a restrição lateral é executando uma parede perpendicular à parede a ser ensaiada.

Em decorrência dos problemas de retração na cura da argamassa, diversos autores têm proposto padrões de comportamento retrativo para os revestimentos em argamassa. Conforme Joisel (1961) o valor da retração das argamassas é de 0,08%, já Fiorito (2009) obteve o valor de retração de 0,6%, mesmo valor obtido por Kopschitz et al. (1997).

Segundo Fiorito (2009), em seu trabalho de comparação das argamassas com a pasta de cimento, pode-se perceber que por serem muito mais permeáveis e portarem mais água, as argamassas perderam 80 a 90% de água aos 7 dias, permanecendo com teor de umidade natural de cerca de 1 – 2%. Conforme conclusões dos estudos realizados, para todas as argamassas de diferentes traços analisados e submetidos a secagem ao ar, a retração aos sete dias representou 65% a 80% da retração final. Aos 28 dias 50 a 60% da retração total. Considerando que nos ensaios abordados pelo autor, a retração total foi considerada aos 30 dias, depois de as amostras serem submetidas a estufa por 48 horas, constatou-se que:

- a) aos 7 dias, ocorreu 35 a 45% da retração total;
- b) aos 28 dias, ocorreu 50 a 60% da retração total;
- c) aos 120 dias estocadas ao ar ambiente, após ter ocorrido reabsorção da umidade, a retração passou a ser de 80 a 95% da retração total.

Conforme Fiorito (2009), o endurecimento das argamassas é acompanhado pela redução do seu volume, seja pela evaporação d'água, ou pelas reações de hidratação. Até mesmo após a cura da argamassa, e passados mais de quatro meses notou-se variações dimensionais em decorrência do grau hidrotérmico do ambiente. O autor salienta que é indispensável aguardar o tempo necessário para que a argamassa de assentamento tenha terminado de secar, ou seja, aguardar a sua retração e por consequência a estabilidade da alvenaria.

No estudo realizado por Kopschitz et al. (1997), avaliou-se exclusivamente a argamassa de cimento, cal e areia. No referido estudo buscou-se uma comparação dos resultados da resistência à tração na flexão das amostras à 28 dias com as tensões resultantes por retração também à 28 dias. As tensões resultantes foram calculadas com base na relação entre o módulo de elasticidade e da deformação específica, onde foi constatado que esta era maior em seis vezes que a resistência de tração obtida nas argamassas. Os autores concluíram que o fenômeno da relaxação é o que pode explicar essa contradição nas argamassas de revestimento (tensões atuantes > que a de resistência). Ou seja, conforme também apontado por Fiorito (1994), mesmo após a cura do revestimento argamassado, este continua sendo solicitado por esforços que podem se compensar ou então até mesmo se somar, ocorrendo neste último caso as tensões máximas que podem exceder às de resistência.

Segundo Fiorito (2009), as deformações da base que mais afetam o revestimento são a lenta deformação da estrutura de concreto e o recalque das fundações. Conforme Goldberg (1998), à estas deformações citadas por Fiorito (2009), pode-se acrescentar a retração do concreto e às movimentações acidentais provocadas por vento e sismos, bem como também a deformação elástica da estrutura frente as solicitações iniciais de cargas. A quantificação de todas as deformações citadas é bem complexa, contudo Goldberg (1998) citou que a retração das estruturas de concreto pode variar de 0,025% a 0,1%, já a deformação permanente da estrutura pode chegar a 0,065% da altura da edificação.

Segundo Ignatiev e Chatterju (1992), em decorrência do grau de restrições à movimentação acompanhada da aderência entre o revestimento e a base em que este foi aplicado, gera-se tensões nos revestimentos argamassados. As quais localizam-se justamente na interface de ligação. Nos estudos realizados pelo autor verificou-se que existe uma relação na ocorrência de tensões em revestimento com

a diferença nos módulos de elasticidades da base (comumente maior) versus revestimento (comumente menor), bem como a sua espessura e o grau de fissuramento.

De acordo com Bentur e Kovler (2003), a retração plástica, que acontece no estado fresco de uma argamassa, é resultado da redução volumétrica resultante de inúmeros efeitos, provocados pelo traço inadequado e condições climáticas desfavoráveis. Segundo Veiga (1998) são diversos os fatos que provocam a fissuração nos revestimentos argamassados logo após a aplicação, mas a retração plástica é um dos fenômenos mais comuns. O autor também cita que as deformações são dependentes da elasticidade da pasta de cimento, dos componentes inertes e das tensões provocadas pelas forças geradas por causa de movimentações restringidas.

2.2 ADERÊNCIA

Segundo Détriché e Maso (1986), os processos de secagem dos revestimentos ocasionam tensões na interface revestimento-substrato, isso porquê a perda de água que ocorre com a cura da argamassa ocasiona uma redução volumétrica no revestimento, ocasionando assim esforços de tração na argamassa, as quais (se forem superiores a resistência do revestimento) podem comprometer sua aderência.

Segundo Esquivel (2009), geralmente os ensaios de medição da aderência tem seguido normas internacionais, principalmente aos que avaliam a resistência de aderência à tração normal.

A NBR 13749 (ABNT, 2013) estabelece como parâmetro de aceitação de revestimentos de argamassa inorgânica uma resistência de aderência à tração maior ou igual a 0,3 MPa, para revestimentos argamassados em fachadas (lado externo) de edifícios com idades iguais ou superiores aos 28 dias. Os valores da resistência de aderência são obtidos por meio de ensaios de aderência à tração em corpos de prova (circulares ou quadrados) da camada de revestimento, conforme NBR 13528 (ABNT, 2010). Conforme Carasek et al. (2008), a umidade pode influenciar negativamente no resultado da aderência se comparado com o mesmo revestimento

seco, logo se recomenda que o revestimento esteja seco durante os ensaios de aderência à tração.

Além de se mensurar a resistência de aderência à tração, outro fator importante é avaliar o tipo de fratura. Em casos de ruptura no interior da argamassa, assim chamado de coesiva, os valores são de inferior relevância (desde que não resultem em muito baixos). Já em casos de ruptura nas interfaces de aderência os valores são relevantes e devem ser considerados, pois caso não atingirem resultados satisfatórios à ocorrência de patologias futuras é grande. (CARASEK, 2010).

Conforme Détriché e Maso (1986), as causas que interferem na aderência dos revestimentos são as propriedades da argamassa e de sua composição, bem como as propriedades do elemento base, forma de aplicação do revestimento argamassado e as circunstâncias climáticas durante e após a execução que afetam a cura do revestimento. Os autores também citam as características da argamassa que proporcionam as propriedades reológicas, importantes na maximização da extensão de aderência. Destas pode-se citar a composição e dosagem do aglomerante e o formato dos agregados utilizados. Segundo Cardoso et al. (2005), as características reológicas da argamassa também influenciam na aderência no momento da aplicação.

Conforme Carasek (1996) e também Bauer (2005), a base também influencia na aderência e os fatores que interferem são a função no fechamento vertical, absorção superficial, rugosidade e porosidade.

Segundo Antunes (2005), os defeitos na interface de ligação do revestimento com a base presentes em cada camada de argamassa/substrato é o maior responsável pela perda de aderência dos revestimentos argamassados. Os defeitos segundo o autor têm como causa a reologia da argamassa e da energia da energia de lançamento desapropriada. Segundo Carasek (1996), a energia de lançamento e a mistura da argamassa tem papel fundamental na aderência dos revestimentos de argamassa.

De acordo com Esquivel (2009) resultados de argamassas com boa aderência não comprovam a durabilidade do revestimento. A respeito do comportamento dos revestimentos argamassados diante de variações de temperatura o autor cita que todos os materiais desenvolvem variações dimensionais quando submetidos a mudanças de temperatura. Conforme esclarecido pelo autor, a variação dimensional

está atrelada a expansão volumétrica em elevação de temperaturas e a retração volumétrica quando da redução da temperatura. Segundo o autor, a propriedade responsável pela variação dimensional é denominada de coeficiente de dilatação térmica.

2.3 TENSÕES NO REVESTIMENTO

Segundo autores Gatewood (1957) e também Timoshenko e Goodier (1968), quando existem restrições à movimentação de um material em relação a sua base, pode vir a ocorrer tensões devido a variações térmicas. A estas tensões ambos os autores denominaram de tensões térmicas.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), os fatores responsáveis pela degradação devido a tensões térmicas de materiais cimentícios são basicamente três: o conflito e deformações térmicas, ocasionados pela diferença do coeficiente de dilatação, dos compostos da matriz cimentícia; a tensão do interior dos poros; e a degradação dos produtos de hidratação do cimento.

Os autores Bazant e Kaplan (1996) condizem com os mesmos fatores apontados acima e salientam que a tensão no interior dos poros e a degradação dos produtos de hidratação são relevantes apenas para os materiais submetidos a temperaturas elevadas (acima de 105°C).

Segundo os autores Mehta e Monteiro (2008) e também Neville (2015), a expansão térmica de matrizes cimentícias como a argamassa e o concreto tem variação média influenciada pela rocha-mãe do agregado empregado. Na tabela 1 são apresentados os coeficientes de dilatação térmica de diversos agregados e também da pasta de cimento:

Tabela 1 – Coeficiente de dilatação linear de agregados miúdos

Tipologia dos agregados miúdos	Coeficiente de dilatação linear ($\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	
	Mehta e Monteiro (2008)	Neville (2015)
	Autores	
Basalto	7	3,6 - 9,7
Calcário	5	0,9 - 12
Escória	9	9,2
Granito	8	1,8 - 11,9
Pasta de cimento	-	11 - 16
Quartzo	11 - 12	-

Fonte: Mehta e Monteiro (2008); Neville (2015).

Conforme Neville (2015), embora possa existir diferenças consideráveis de coeficientes de dilatação linear dos compósitos da matriz cimentícia, é necessário atentar que a movimentação diferencial da pasta de cimento e agregados, é provocada também pela retração ocorrida na cura da pasta. O autor também destaca que dentro de um intervalo de temperatura, os diferentes coeficientes de dilatação são irrelevantes frente a retração citada.

De acordo com Fiorito (2009), o coeficiente médio de dilatação térmica da argamassa é de 10 a 12 $\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Conforme obtido por Childs et al. (2007) a expansão térmica das argamassas é de 10 a 13 $\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Segundo Fontenelle et al. (2017), durante a vida útil de uma edificação o SVVE fica sujeito a tensões higrotérmicas provocadas pela alteração volumétrica da temperatura e umidade. A qual é resulta do fluxo de calor e água através dos componentes do SVVE.

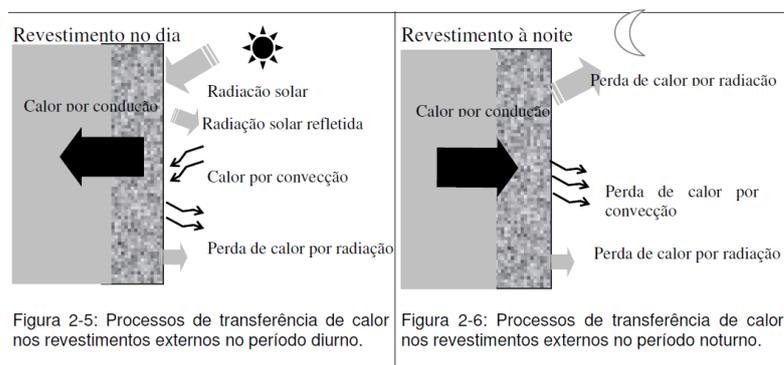
2.4 GRADIENTE TÉRMICO

Conforme Esquivel (2009), quando um elemento atinge diferentes temperaturas e diferentes deformações ao longo de seu corpo, denominasse este efeito de gradientes térmicos de deformação. Estes são os responsáveis pelas tensões térmicas supracitadas, que ocorrem nas condições já referidas. Em sua pesquisa, sobre gradientes térmicos nos revestimentos de argamassas, o autor conclui sobre a inexistência de uma parametrização sobre a determinação dos valores das tensões térmicas em matrizes cimentícias não homogêneas, logo

heterogêneas, como é o caso das argamassas. Conclui ainda que para obter tais valores de forma completa se faz necessário uma avaliação experimental.

Na figura 1 é possível observar o processo de transferência de calor nos revestimentos em diferentes turnos, devido temperaturas maiores durante o dia decorrente da radiação solar presente e de temperaturas maiores à noite em decorrência da falta da radiação solar.

Figura 1 – Transferência de Calor



Fonte: Esquivel (2009).

Segundo Fontenelle et al. (2017), é no resfriamento que ocorre a maior variação da temperatura da parede e por isso é importante o estabelecimento de uma forma de controle deste para que a intensidade do choque térmico seja equivalente entre si e que retrate a situação na prática. A água, utilizada no resfriamento, tem ação direta na troca de calor por convecção entre a face da parede e a água que escoava sobre esta. Já a vazão da água tem influência nos coeficientes de troca e taxa de transferência do calor. Desta forma os autores concluem que estes parâmetros exercem influência direta no gradiente da temperatura, o qual é o agente responsável pela intensidade das tensões resultantes na ação do choque térmico dos SVVE ensaiados.

2.5 MÉTODOS DE ENSAIO

Em 2013 foi publicada no Brasil a ABNT NBR 15575:2013, onde na sua parte 4 aborda os requisitos e critérios de desempenho para os sistemas de fachada e especifica a metodologia de ensaio para análise do desempenho requerido, como a resistência a ação do calor e choque térmico. Estes métodos têm por objetivo básico

avaliar a inexistência de fissuras e imperfeições que possam prejudicar o desempenho quanto à estanqueidade do sistema e ainda delimitar o deslocamento horizontal do testemunho.

Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), o ensaio para a verificação do comportamento de fachadas expostas à ação de calor e choque térmico deve seguir o exposto no seu “Anexo E”. O referido anexo estabelece como dimensões o comprimento de $(1,2 \pm 0,2)$ m, altura equivalente ao pé direito edificação e espessura característica do sistema em análise.

O método de ensaio de choque térmico segundo a norma supracitada, determina que o aquecimento seja feito por radiação com uso de um painel de lâmpadas ou resistências elétricas e o controle da temperatura por meio de termopares posicionados na face ensaiada do corpo de prova. A superfície da amostra deve aquecer até atingir (80 ± 3) °C, posteriormente é necessário manter esta temperatura por uma hora (1 h). Na sequência deve-se promover o resfriamento da superfície com o uso de aspersores, que produzem jatos de água para simular o efeito da chuva, até que a temperatura superficial atinja os (20 ± 5) °C. Denomina-se como 1 (um) ciclo, o início do aquecimento até o resfriamento brusco (20 ± 5) °C. A norma estabelece que sejam realizados 10 (dez) ciclos de ensaio para cada corpo de prova. Ao longo dos ciclos analisa-se a incidência de anomalias, como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloração e outros aspectos que possam vir a influenciar negativamente no desempenho do SVVE (Sistema de vedação vertical externo).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) também estabelece parâmetros quanto ao deslocamento horizontal instantâneo em relação ao plano perpendicular do corpo de prova, que não pode exceder $h/300$, no qual h é altura da amostra. Neste caso deve-se realizar a medição, na face contrária à face sujeita a ação do calor e água, somente após 45 min da estabilização da temperatura superficial em $(80^{\circ}\text{C} \pm 3)$.

Segundo Oliveira et al. (2014) o método de ensaio Brasileiro difere de algumas normas internacionais, conforme tabela 2, onde se percebe que as diferenças principais são sobre a temperatura da superfície do corpo de prova. Ainda pode-se apontar como diferenças o método de medição da temperatura, pois na norma brasileira os termopares são fixados na superfície externa do elemento de vedação, já na ASTM C1185-8 (ASTM, 1999) os termopares são fixados na amostra

através de pequenas placas metálicas de referência que são pintadas na cor preta e instaladas sobre a superfície do corpo de prova.

Tabela 2 – Divergências de critérios adotados entre metodologias de ensaios de choque térmico de normas internacionais e nacionais.

Categoria	Parâmetros	Detalhamento dos parâmetros		
		NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)	C1185-8 (AMERICAN..., 2012) e ISO 8336 (INTERNATIONAL..., 2009)	ETAG 004(EUROPEAN..., 2008)
Aquecimento	Método de medição da temperatura do ensaio	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova	Medição indireta – medida em corpo de prova de referência/placa metálica preta	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova
	Tempo para atingir a temperatura de aquecimento máxima	Não estabelecido	Não estabelecido	1 h
	Temperatura máxima do ensaio	$(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$	$(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$	$(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$
	Tempo de permanência na fase aquecida	1 h	2 h 55 min	2 h
	Varição admitida da temperatura entre centro e bordas do corpo de prova	$\pm 3 ^\circ\text{C}$	Não estabelecido	Não estabelecido
Resfriamento com água	Temperatura da água	Indefinida, porém até atingir a temperatura superficial do corpo de prova $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$	$\leq 30 ^\circ\text{C}$	$(15 \pm 5) ^\circ\text{C}$
	Quantidade de água	Indefinida	3,79 L/min	$\geq 1,0 \text{ L/m}^2 \text{ min}$, o que equivale a aproximadamente 6 L/min
	Tempo de aspersão	Indefinido, mas até atingir a temperatura superficial de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$	2 h 55 min	1 h
	Distribuição sobre a superfície	Uniforme	Uniforme	Uniforme
	Temperatura após resfriamento do corpo de prova	$(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$	Não estabelecido	Não estabelecido
Ciclos	Tempo de cada ciclo	Aproximadamente 6 h, porém depende da composição da parede	6 h	6 h
	Quantidade de ciclos	10	25	80
	Intervalo entre ciclos	Não estabelecido	5 min	2 h
Corpos de prova	Dimensão	$\geq 3,0 \text{ m}^2$ (1,2 m x 2,5 m)	$\geq 3,5 \text{ m}^2$	$\geq 6,0 \text{ m}^2$
	Restrição de movimentação das bordas	Sem restrição	Com restrição	Sem restrição
	Cor da superfície	Não estabelecido	Não estabelecido, pois a medição da temperatura máxima de ensaio é feita sobre placa de referência, portanto a cor da superfície do corpo de prova não influi no ensaio	Não estabelecido

Fonte: Oliveira et al. (2014).

Em seus estudos Oliveira et al. (2014), concluíram ainda que nos testes realizados no Brasil conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013), da definição de considerações como:

- a) Redução da temperatura máxima de 80°C em materiais que possuem temperatura de distorção menor que isso, como por exemplos os polímeros. No entanto, esta condição só pode ser considerada quando a medição é realizada diretamente no corpo de prova;
- b) Incluir intervalo de tempo para poder-se elevar a temperatura do corpo de prova;
- c) Do tempo de permanência do corpo de prova ensaiado na fase aquecida;
- d) Vinculação do corpo de prova nas laterais, com o objetivo da criação de condições de contorno reais;
- e) Aumento no comprimento do corpo de prova para possibilitar uma fidelização quanto aos detalhes construtivos.

Segundo os autores Fontenelle, et al. (2017), em seus estudos para proposta de aprimoramento do ensaio de ACCT da ABNT NBR 15575:2013 propõem que se adote uma vazão de água de aspersão de 3L/(m².min), a qual já é adotada na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), para o ensaio de estanqueidade à água da chuva dos SVVE. Salienta-se que tal vazão é muito maior que a estabelecida pelas normas internacionais no ensaio de ACCT, onde se utiliza aprox. 1L/(m².min). Em relação à temperatura da água, através de uma análise das temperaturas do ponto de orvalho mais crítico no Brasil, os autores propõem que se adote 15°C ± 2°C. Por fim, de forma a padronizar o tempo de resfriamento, os autores concluem em estabelecer em uma hora o tempo de aspersão de água no SVVE.

2.6 TELA DE REVESTIMENTO

A norma NBR 7200 (ABNT, 1998) em seu item oito (8), indica a obrigatoriedade de uso de telas metálicas, plásticas ou de material semelhante na junção de bases diferentes ou em locais submetidos a esforços responsáveis por

deformações diferenciais consideráveis. O objetivo do uso de tela junto a argamassa é o de criar uma região capaz de resistir as movimentações diferenciais.

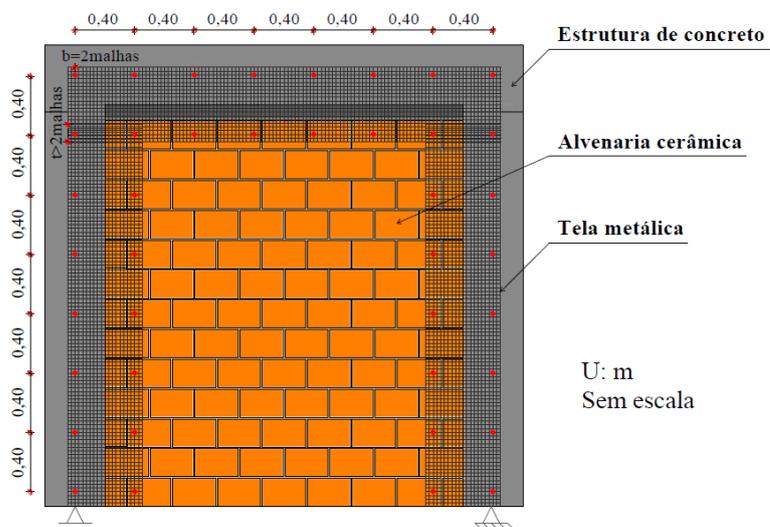
A NBR 13755 (ABNT, 1996), que trata do procedimento dos revestimentos de paredes externas com placas cerâmicas e argamassa colante, exige que deve-se inserir uma tela metálica soldada, com diâmetro do fio maior que 2mm e malha quadrada de 5 cm por 5 cm, sempre que a espessura necessária de revestimento for superior a 25 mm. A norma também cita que o uso de tela deve ser estudado caso a caso e que o cobrimento deve ser garantido para que não ocorra uma possível corrosão. Caso necessário à utilização de telas com diferentes aberturas de malha ou diferente diâmetro de fio, deve-se comprovar a resistência.

As telas estão entre os principais materiais indicados quando o assunto é reforço do sistema de revestimento de argamassa ou reparos das fissuras. O uso de telas é importante quando necessita-se garantir a continuidade do revestimento, permitir a compatibilização das deformações pequenas e distribuição das tensões. (ANTUNES, 2016).

Segundo autores como Bauer (2005), Teciam (2013) e Arcelormital (2015), as telas devem ser posicionadas internamente à camada de argamassa e sua utilização se faz necessária em regiões de interface estrutura de concreto e alvenaria, em revestimentos argamassados executados em superfícies curvas ou em balanços, em regiões de verga e contra verga de janelas, platibandas em alvenaria e em espessuras de revestimentos superiores ao limite estabelecido por norma.

Segundo Maciel et al. (1998), há necessidade do reforço com telas metálicas galvanizadas em regiões de elevadas tensões, como por exemplo na interface estrutura com a alvenaria. Os mesmos também citam que em casos como o descrito existe duas formas de reforço: argamassa armada e ponte de transmissão. Na argamassa armada a tela é inserida dentro da camada de revestimento, já na ponte de transmissão a tela é fixada por meio de chumbadores posteriori à colagem da fita de polietileno na junta alvenaria/estrutura. Na imagem ilustrativa da figura 2, demonstra a tela instalada como ponte de aderência.

Figura 2 – Fixação da tela como ponte de aderência

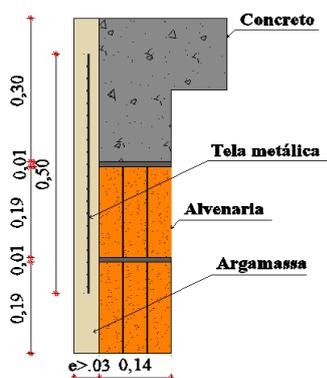


Fonte: Antunes (2016).

Segundo Antunes (2016), em argamassas armadas é necessária uma espessura mínima de emboço de 30 mm, embora na prática utiliza-se argamassa armada em espessuras superiores a 50 mm.

Autores como Maciel et al. (1998), e Medeiros (2011) recomendam que seja centralizada a tela na seção transversal da argamassa, em paralelo ao plano de aderência. Recomenda-se que a camada inicial seja de espessura de 15 a 25 mm, sucedida pela aplicação da tela galvanizada por meio de compressão contra a argamassa. Na sequência (após a secagem) é realizada a outra metade do emboço que pode ou não ser seguido de acabamento. Na figura 3, ilustra-se o proposto a cima pelos autores supracitados.

Figura 3 – Tela metálica em meio à camada de argamassa

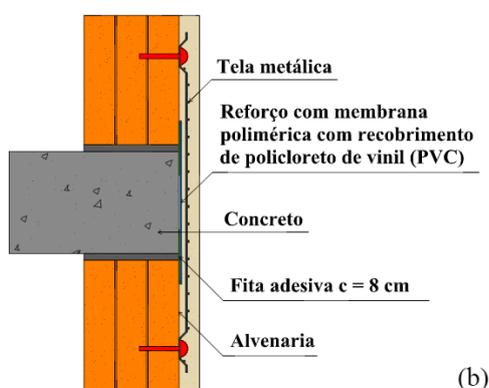


Fonte: Antunes (2016).

Embora os autores anteriormente citados recomendam o emprego de tela imersa no meio da camada de revestimento, autores como Cavani et al. (2005) comentam do uso de tela metálica sobre o chapisco, salientando que para esse caso é necessário atentar ao uso de telas com malha superior a 25mm, desta forma evita-se a ocorrência de vazios.

Na figura 4 é possível visualizar um detalhe genérico baseado em Maciel et al. (1998), da fixação da tela como ponte de transmissão.

Figura 4 – Tela metálica fixada como ponte de aderência



Fonte: Antunes (2016).

Segundo Chamalete (1999), a armadura na argamassa armada é efetiva no combate à fissuração. No entanto, o uso da armadura não provoca aumento de resistência do revestimento à fissuração, mas proporciona o combate da abertura das fissuras, que resulta a manutenção da capacidade impermeabilizante e de durabilidade. O aparecimento de fissuras na superfície do revestimento está relacionado às tensões de aderência que se desenvolvem entre a tela metálica e a argamassa que a envolve. Ou seja, conforme o aumento da aderência entre os materiais, o resultado danoso da fissuração é absorvido por ambos.

De acordo com Silva (2012), que em seu trabalho de ensaios comparativos entre tela de malha quadrada versus tela de malha hexagonal, concluiu-se que as de malha quadrada apresentaram resistência a tração superior às de malha hexagonal, bem como menor flecha quando submetidas à flexão.

Segundo Bentur e Mindess (2007), tanto a tela como as fibras têm como principal função o acréscimo considerável da ductilidade após a ocorrência da fissura no compósito cimentício, isto é, no crescimento da capacidade de

absorvimento da energia do material. Espera-se das telas assim como as fibras a capacidade de diminuir e moderar a abertura e absorvimento de energia.

2.7 FIBRAS NO REVESTIMENTO

Conforme Ekane (1999), as fibras têm poder de reter a abertura das fissuras, um efeito que se deve ao poder de atrito e aderência das fibras contra o arrancamento sujeito na ocorrência das fissuras.

Segundo conclusões de Silva et al. (2003), em seu trabalho sobre avaliação de desempenho das argamassas de revestimento com uso de fibras de polipropileno, o comprimento das fissuras não pode ser um parâmetro adequado para se avaliar o fissuramento do revestimento, isso porquê, ao longo de seu comprimento as fissuras apresentam variação de largura. O autor conclui nesse aspecto que para examinar o potencial de fissuração do revestimento é necessário tomar como parâmetro a área total das fissuras. Segundo o autor acima citado, o uso de fibras proporciona aos revestimentos vantagens como:

- A eliminação do aparecimento de microfissuras no período de cura, proporcionando uma maior retenção de água;
- Produz uma trama de distribuição de esforços que automaticamente melhora a resistência ao impacto e à degradação;
- Reduz a permeabilidade, criando obstáculos à penetrabilidade de meios agressivos;
- Aumenta a durabilidade das peças;
- Melhora a resistência à abrasão, uma vez que evitam a exsudação (responsável por alterar a relação água / cimento);
- Eleva a resistência à tração na flexão por melhorar as condições de cura;
- Melhora a resistência a impactos, estilhaçamentos e à desagregação de bordos, cantos e superfícies desprotegidas do revestimento;
- Absorve esforços de retração não-estruturais;
- Benefício sensivelmente a acordo da argamassa;
- Reduz erros no acabamento, tornando-as imperceptíveis.

O autor também cita como benefícios específicos das fibras sintéticas a resistência à acidez e à alcalinidade, não retêm água, são inertes, não biodegradáveis e não oxidativas. Na tabela 3, logo abaixo, seguem características das fibras de polipropileno:

Tabela 3 – Características gerais de fibras de polipropileno

Massa específica (g/cm ³)	0,9
Ponto de fusão (° C)	165
Diâmetro (µm)	18 - 20
Comprimento (mm)	6 - 10 - 20
Alongamento (%)	28
Tensão de ruptura (MPa)	810
Número de fibras (10 ⁶ /kg)	180

Fonte: Silva et al. (2003).

Segundo trabalho desenvolvido por Silva (2012), onde se comparou, por meio de ensaios de resistência à tração, argamassas com adição de fibra de polipropileno na proporção de 1 kg/m³, com argamassas com adição da mesma fibra na proporção de 2,5 kg/m³. O autor conclui que a argamassa que apresentou maior resistência à tração, foi com teor de 1 kg/m³ de fibra. As fibras utilizadas foram as de polipropileno com alongamento de 25%, comprimento de 4 cm, resistência de tração em 320-400 Mpa e massa específica de 910g/dm³.

De acordo com Silva (2006), os fabricantes de fibras de polipropileno embasados em trabalhos científicos desenvolvidos nos últimos tempos, recomendam a aplicação de fibras na proporção de 500 a 1000 g/m³, isto é, 0,045% a 0,09% do volume de argamassa.

Conforme trabalho desenvolvido por Bauer e Cortez (2001), onde utilizaram a adição de fibras de polipropileno, com comprimento de 20 mm, em matrizes cimentícias de argamassas para revestimento nas proporções de 500,1500 e 3000 g/m³, observaram-se maiores resistências à tração e compressão na flexão nas argamassas de teor 1500 g/m³. O autor conclui que é de grande necessidade a avaliação criteriosa sobre o volume inserido de fibras nas argamassas de revestimento, uma vez que devido a grande área característica das fibras há

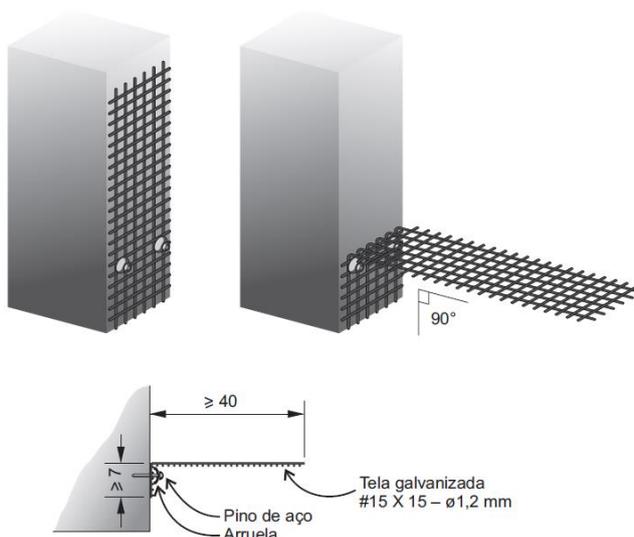
necessidade de adicionar maior volume de água para preservar a trabalhabilidade adequada.

Segundo Bentur e Mindess (2007), as argamassas tendem a melhorar sua tenacidade com a elevação do volume de fibras. As fibras têm função de reforço depois da fissuração da matriz e sua eficiência está relacionada diretamente com a proporção adicionada de fibras na matriz cimentícia.

2.8 LIGAÇÕES DE ALVENARIAS A PILARES

Segundo Thomas et al. (2009), com o objetivo de prevenir destacamentos futuros entre pilar e alvenaria, deve-se prever ligação das paredes ao pilar. Estas ligações devem ser realizadas por meio de telas metálicas fixadas por meio de pinos, conforme ilustrado na figura 5.

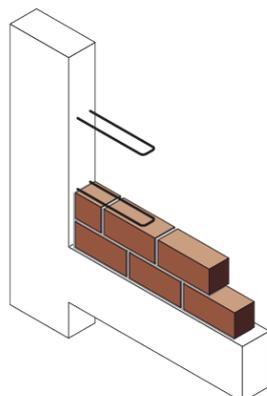
Figura 5 – Ligação da alvenaria ao pilar com o uso de tela metálica galvanizada



Fonte: Thomas et al. (2009).

Segundo Thomas et al. (2009), pode-se realizar as ligações com o emprego de ferros cabelos de diâmetro de 6 mm colados com resina epóxi em furos executados com brocas de vídea com diâmetro de 8 mm, conforme ilustrado na figura 6.

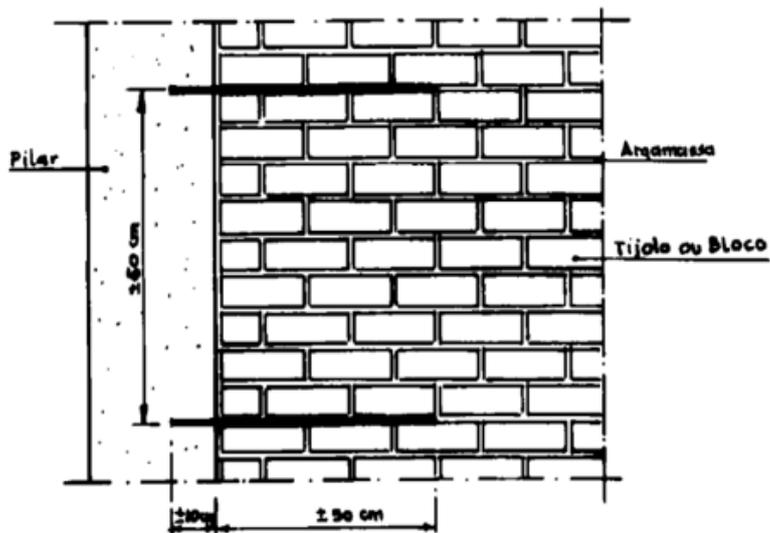
Figura 6 – Ligação da alvenaria ao pilar com gancho em aço com dois ramos



Fonte: Thomas et al. (2009).

De acordo com a norma NBR 8545 (ABNT, 1984), a ligação da alvenaria com os pilares em concreto armado pode ser efetuada com o emprego de barras em aço com comprimento total na ordem de 60 cm e diâmetro de 5 a 10 mm, engastadas em aproximadamente 10 cm no pilar, e distanciadas em cerca de 60 cm, conforme ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Ligação da alvenaria ao pilar com barras de aço



Fonte: ABNT NBR 8545 (1984).

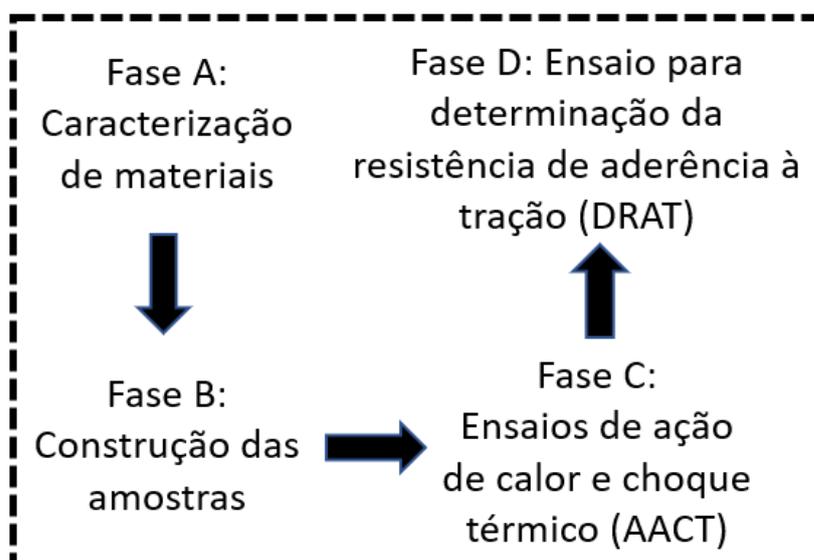
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo, de acordo com os objetivos requeridos, foi descrito o programa experimental. A execução deste está dividida em partes, a seguir apresentadas, que compuseram a elaboração deste experimento.

3.1 ETAPAS DO EXPERIMENTO

O programa experimental foi composto basicamente por quatro fases. Primeiramente caracterizou-se os materiais, posteriormente executou-se as paredes e por final realizou-se os ensaios de ação de calor choque térmico (ACCT) e após os ensaios para determinação da resistência de aderência à tração (DRAT), conforme fluxograma apresentado na figura 8.

Figura 8 – Fluxograma



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira fase, iniciou-se a caracterização dos blocos cerâmicos e argamassas no estado fresco, assim como também a preparação dos corpos de prova para caracterização da argamassa no estado endurecido.

A segunda fase foi constituída pela construção das paredes. Nesta fase adaptou-se os prazos mínimos das bases de revestimento estabelecidos pela NBR 7200 (ABNT, 1998), de forma tal para atender ao cronograma proposto.

Na terceira fase, foram realizados os ensaios de choque térmico tomando como diretriz a metodologia do ensaio especificada na norma brasileira NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), onde no seu “Anexo E” traz a explanação do método, conforme já detalhado no referencial bibliográfico abordado no capítulo 2. Durante a execução do ensaio coletou-se os dados relativos aos deslocamentos em relação ao plano, assim como também se monitorou a temperatura de entrada e saída da água de resfriamento em cada ciclo de choque térmico. Além da observação e medição das anomalias na face oposta ao ensaio e seu tempo de ocorrência.

A quarta fase foi marcada pela execução dos ensaios para determinação da resistência de aderência à tração na face externa da parede (parte submetida aos ensaios de choque térmico e parte não). Antes da realização dos ensaios para determinação da resistência de aderência à tração, foram observadas as anomalias na face que estava submetida aos ensaios, registrando-as.

3.1.1 Confeção das amostras

Foram confeccionadas 4 paredes/amostras. Todas foram executadas com um pilar de seção transversal e altura idêntica posicionada ao centro de cada amostra. As amostras se diferenciam pelo tipo de reforço utilizado na interface de ligação da alvenaria com a estrutura de concreto (pilar supracitado).

Na tabela 4 é apresentado as características dos revestimentos de cada parede, evidenciando as quatro diferentes formas de reforços na interface dos materiais (blocos cerâmicos x estrutura de concreto). Ressalta-se ao fato de que na parede 2 (P2), não se utilizou elementos para a ligação entre alvenaria e estrutura e por isso nesta amostra optou-se por um revestimento com adição de fibras de polipropileno.

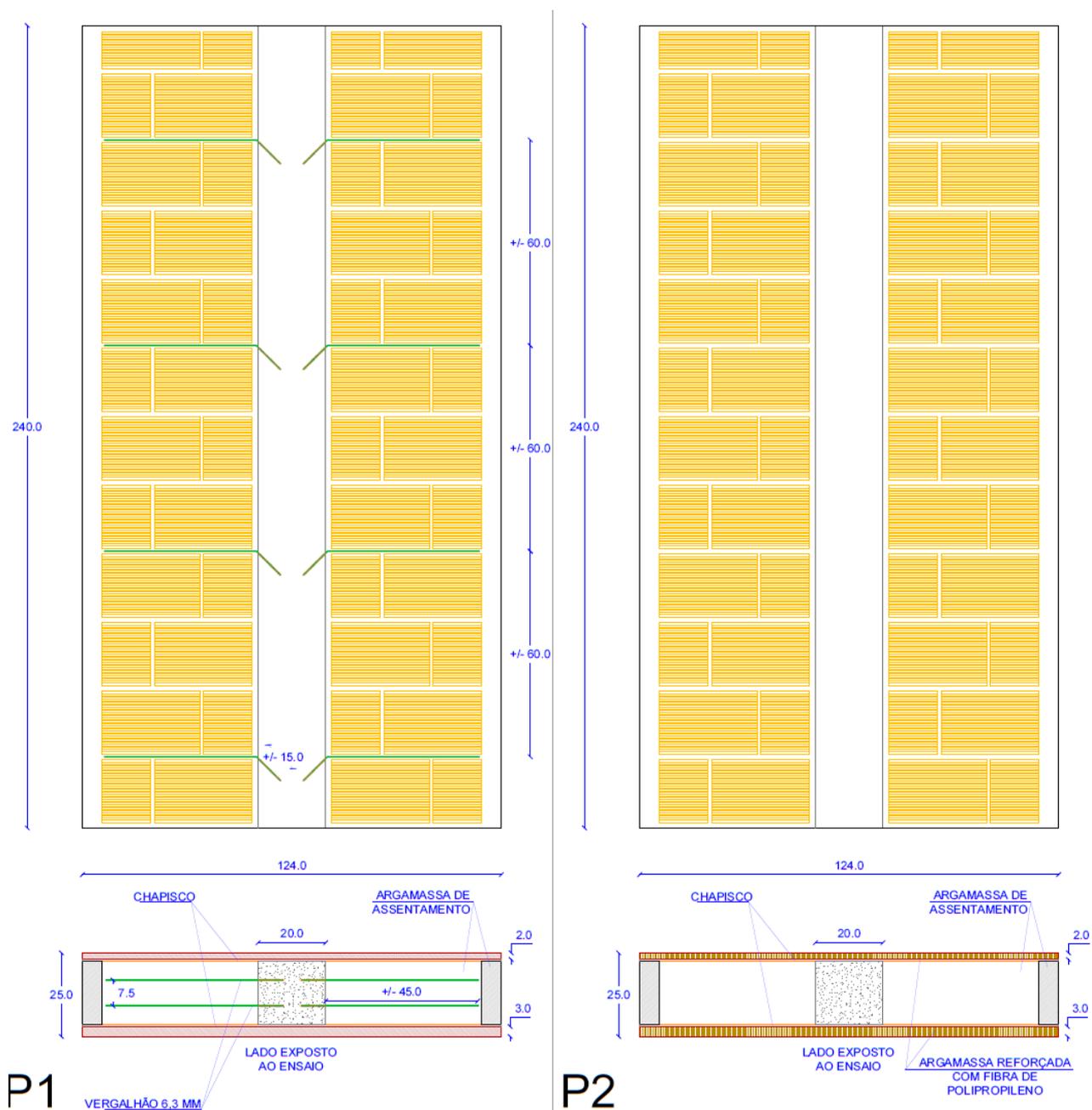
Tabela 4 – Características de cada amostra

Amostras	Lado Externo (face exposta ao ensaio de choque térmico)	Lado Externo (face não exposta ao ensaio de choque térmico)	Tipo de reforço interface de base
	Espessura revestimento (mm)	Espessura revestimento (mm)	
Parede 1 (P1) “Ferro Cabelo”	30	20	Reforço c/ vergalhão de aço carbono com diâmetro 6,3 mm entre camadas de blocos
Parede 2 (P2) “Fibra PP”	30	20	Argamassa de revestimento (lado externo e interno) com adição de 600 g/m ³ de fibras
Parede 3 (P3) “Tela assentamento”	30	20	Reforço c/ telas de aço carbono galvanizado e malha de 15 x 15 mm entre camadas de blocos
Parede 4 (P4) “Tela no revestimento”	30	20	Reforço c/ tela de aço carbono galvanizado e malha de 25 x 25mm em ambas as faces (lado externo e interno) como ponte de aderência.

Fonte: Elaborada pelo autor.

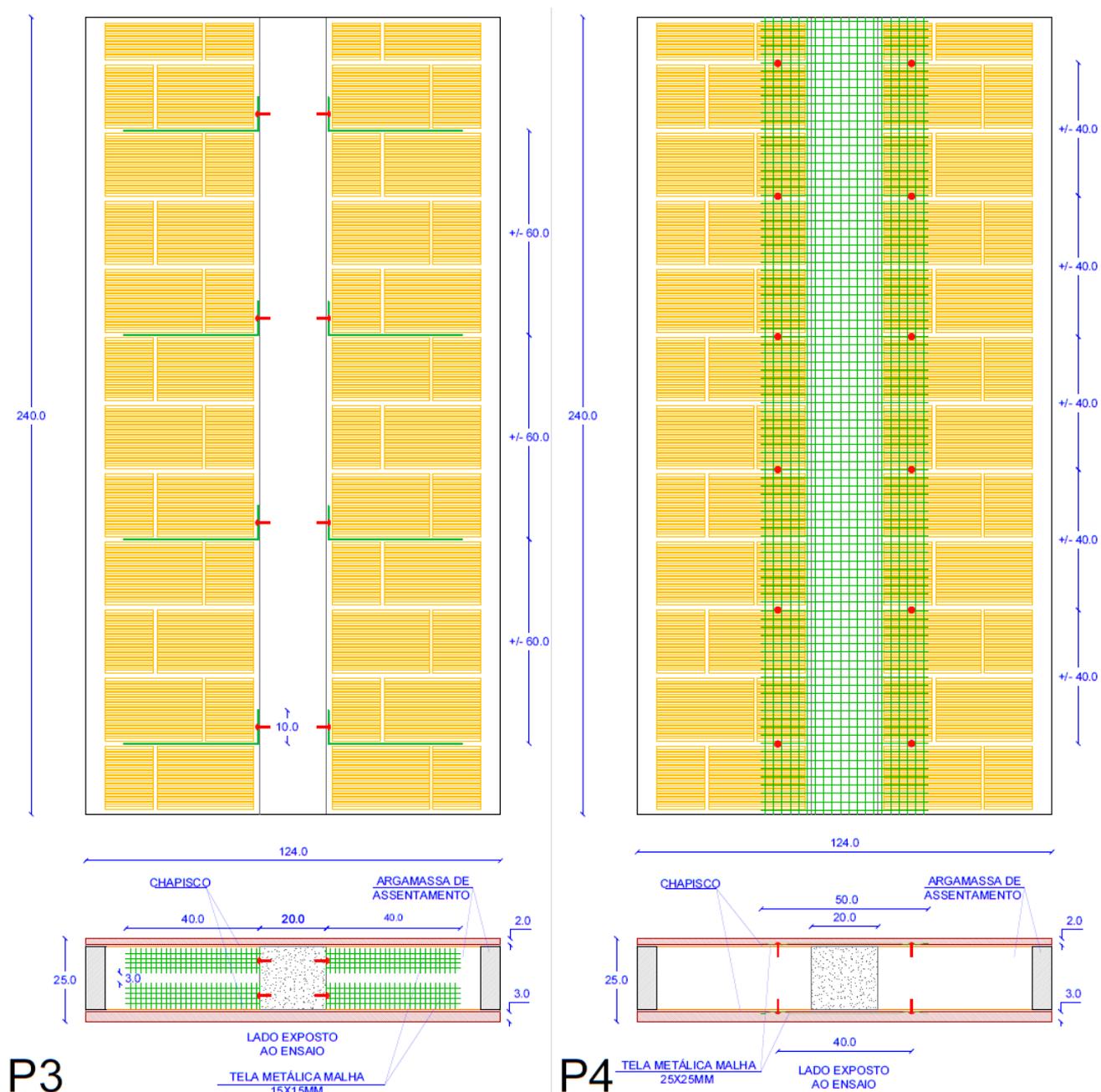
Na figura 9 é ilustrado modelo construtivo das amostras 1 e 2, onde pode-se visualizar os reforços utilizados supracitados na tabela 4.

Figura 9 – Modelo construtivo amostra 1 (P1) e amostra 2 (P2)



Na figura 10 é ilustrado modelo construtivo das amostras 3 e 4, onde pode-se visualizar os reforços utilizados anteriormente descritos na tabela 4.

Figura 10 – Modelo construtivo amostra 3 (P3) e amostra 4 (P4)



Por existirem quatro amostras e necessitar de tempo hábil para cura da base de revestimento, assim como a cura do próprio revestimento final, produziu-se dois pórticos metálicos para abrigar as paredes, servindo como base para sua execução, transporte e ensaio. Em virtude de ter apenas dois pórticos disponíveis, produziu-se as paredes em duas fases. Na primeira fase é executado a Parede 1 (P1) e a Parede 2 (P2), já na segunda fase confecciona-se a Parede 3 (P3) e Parede 4 (P4).

A confecção das amostras iniciou-se basicamente pelo posicionamento e fixação de cada pilar. Todos os pilares foram previamente chapiscados em duas faces, com 72h de antecedência, para que logo após posicionados e fixados ao pórtico possibilita-se o início imediato do assentamento dos blocos.

Após o posicionamento dos pilares, iniciou-se o assentamento dos blocos, posteriormente executou-se o chapisco e por fim o revestimento em massa única, respeitando as particularidades de cada amostra. Para a execução do revestimento a NBR 7200 (ABNT, 1998) recomenda que se respeite idades mínimas de cada base, mas na prática as idades estabelecidas não são respeitadas pelos construtores. Por isso, adaptou-se as idades mínimas conforme tabela 5.

Tabela 5 – Idades para base de revestimento

Idades mínimas para as bases de revestimento		
Tipologias de Bases para revestimento	Idade (dias) - Baseado na NBR 7200: 1998	Idade (dias) - Adotado neste experimento
Estrutura de concreto	28	28
Alvenarias sem função estrutural	14	1
Chapisco	3	5
Revestimento de reboco ou camada única	21	28 (para ensaio)

Fonte: Elaborada pelo autor.

O processo de execução empregado em cada parede é exposto nas figuras 11,12,13 e 14:

Figura 11 – Etapas construtivas da parede 1 (P1) “ferro cabelo”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Etapas construtivas da parede 2 (P2) “fibra PP”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13– Etapas construtivas da parede 3 (P3) “tela assentamento”



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 – Etapas construtivas da parede 4 (P4) “tela revestimento”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.2 Níveis de controle

O nível de controle adotado, foi em relação a execução do tipo de reforço ou ligação na interface dos materiais diferentes (blocos cerâmicos com pilar de concreto armado).

3.1.3 Parâmetros de controle fixo

Os parâmetros de controle fixo adotados nesta pesquisa são os descritos a seguir:

- a) Tipo de cimento portland utilizado no chapisco: CP IV – 32;
- b) Tipo de agregado miúdo: Areia de quartzo proveniente da extração do leito do Rio;
- c) Tipo de bloco cerâmico: Bloco de vedação com furos na horizontal, na dimensão de 19x19x29 cm;
- d) Argamassa industrializada com tempo de estabilização de 36 horas para uso no assentamento e revestimento da alvenaria;
- e) Tipo de vergalhão/barra de aço utilizado durante o assentamento na amostra 1: barra de aço carbono CA50 com diâmetro de 6,3 mm e comprimento de aproximadamente 60 cm;
- f) Tipo de fibras utilizadas no revestimento da amostra 2: Fibra de Polipropileno;
- g) Tipo de telas utilizada durante o assentamento na amostra 3;
- h) Tipo de telas utilizada no reforço do revestimento da amostra 4;
- i) Pilar de concreto armado na dimensão 20x20x240cm.

3.1.4 Parâmetros não controláveis

Os parâmetros não controláveis na confecção das amostras foram à temperatura e a umidade, uma vez que o laboratório não possui local com controle destes parâmetros para confecção e cura das amostras.

3.2 MÉTODOS

A seguir apresenta-se a metodologia adotada para cumprimento do programa experimental proposto.

3.2.1 Verificação do comportamento de SVVE exposto à ação de calor e choque térmico

O ensaio de “choque térmico e verificação do comportamento do SVVE exposto à ação de calor” foi realizado nas dependências do ITT Performance – Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil.

O método seguido foi o descrito no “Anexo E” da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), o qual prevê o aquecimento da face exposta da amostra à temperatura de $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$ durante 1 h da estabilização da temperatura citada e posterior resfriamento da superfície exposta até se atingir a temperatura de $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Além disso, estabelece que as medições dos deslocamentos horizontais devam acontecer, na face oposta à realização dos ensaios, aos 45 min da estabilização da temperatura em $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$ e imediatamente após o resfriamento da face na temperatura de $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Ademais, determina que devam ser registradas a ocorrência de fissuras, trincas, deslocamentos e deteriorações visíveis ao longo de dez ciclos de ensaio. Configura-se um ciclo de ensaio o início do aquecimento da superfície até atingir-se $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$ e seu posterior resfriamento, após uma hora da estabilização da temperatura, até atingir-se a temperatura de $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

No presente trabalho foram propostas algumas adaptações na metodologia do ensaio. As adaptações são em relação ao número mínimo de corpos de prova e a forma de medição do deslocamento da amostra em relação ao plano, conforme detalhado a seguir:

- Número mínimo de corpos de prova: A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) estabelece dois corpos de prova para cada tipo de amostra. No presente trabalho não foi possível construir e ensaiar dois corpos de prova para cada tipo de amostra em razão dos altos custos e do pequeno espaço de tempo para realizar os ensaios necessários. Desta forma adotou-se apenas um corpo de prova para cada uma das quatro amostras;

- Medição do deslocamento da amostra em relação ao plano: NBR 15575-4 (ABNT, 2013) estabelece que seja posicionado um defletômetro de haste no centro da amostra (face oposta ao ensaio) para medição do deslocamento em relação ao plano. Neste trabalho não foi possível fazer uso deste defletômetro pela indisponibilidade do mesmo no cronograma estabelecido. Soma-se a isso o fato das quatro amostras terem um pilar posicionado no centro da parede com deslocamentos horizontais e verticais limitados por apoios de segunda ordem (fixado ao pórtico metálico). Logo se pressupõem que o deslocamento do revestimento aplicado sobre este pilar é desprezível ou nulo. Por isso adotou-se uma forma alternativa de medição do deslocamento da amostra em relação ao plano, usando relógios comparadores distribuídos na face oposta ao ensaio, conforme abordado a seguir no item 3.2.2.

Com relação às dimensões adotadas para as amostras levaram-se em consideração três fatores para definição. O primeiro referente a largura estabelecida pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) na extensão de $(1,2 \pm 0,20 \text{ m})$. O segundo relativo a dimensão do equipamento, o qual necessita de amostras com dimensão mínima de $1,2 \times 1,95 \text{ m}$ e dimensão máxima de $1,38 \times 2,4 \text{ m}$. O terceiro foi o custo, uma vez que quanto maior for a amostra maior será consumo de material e o custo de mão de obra. Logo, considerando este conjunto de fatores, executaram-se as quatro amostras na dimensão de $1,24 \text{ m}$ de largura \times $2,4 \text{ m}$ de altura ($2,98 \text{ m}^2$). A área efetiva exposta à ao ensaio foi de $1,2 \times 1,95 \text{ m}$ ($2,34 \text{ m}^2$).

Todas as amostras foram executadas confinadas em pórticos metálicos acoplados ao equipamento, conforme figura 15.

Figura 15 – Amostra em pórtico metálico

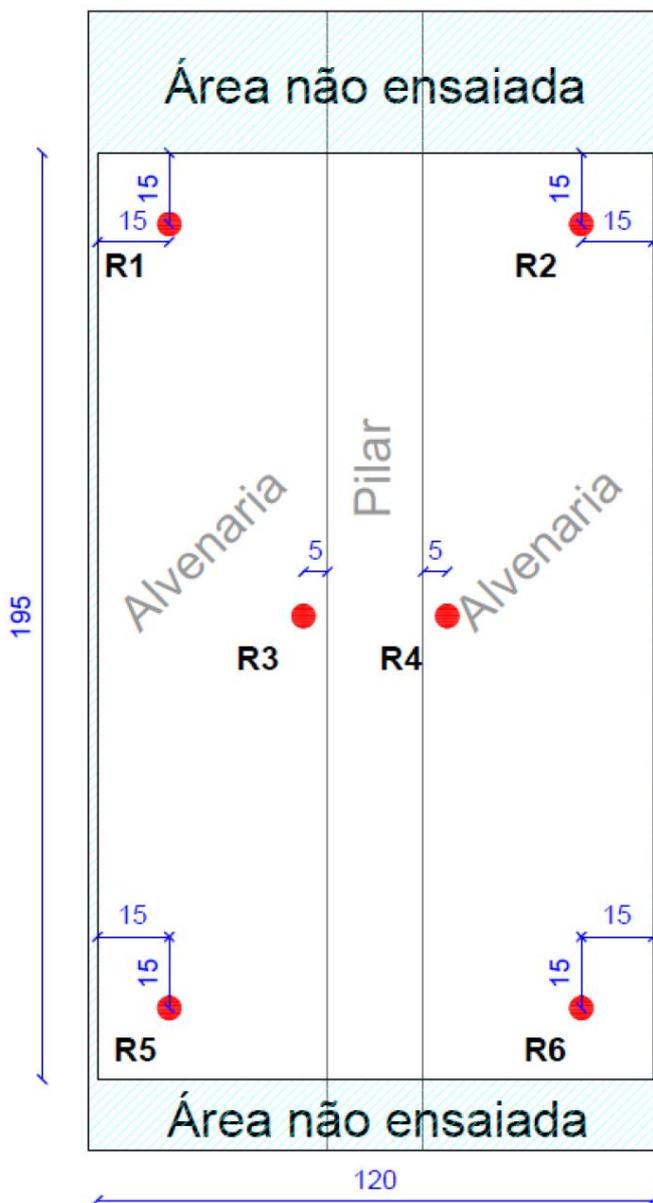


Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.2 Deslocamento em relação ao plano

O deslocamento em relação ao plano foi medido através de seis (6) relógios comparadores. Os relógios, denominados R1, R2, R3 e R4, foram posicionados na face oposta à face ensaiada, conforme detalhado na figura 16. As medições foram realizadas em cada ciclo, sendo divididas em duas partes. Uma medição aos 45 min da estabilização da temperatura superficial em $(80 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C})$ e outra imediatamente após o resfriamento da temperatura aos $(20 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C})$, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Figura 16 – Posição dos relógios na face oposta à face em ensaio.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.3 Controle de temperatura da água de resfriamento

O controle da temperatura de água de resfriamento foi realizado através de um termômetro culinário. A medição foi realizada em cada um dos dez ciclos, em dois instantes. Na primeira água que está prestes a entrar em contato com a amostra aquecida e logo após o contato com a amostra, conforme exemplificado na figura 17.

Figura 17 – Medição da temperatura da água de resfriamento



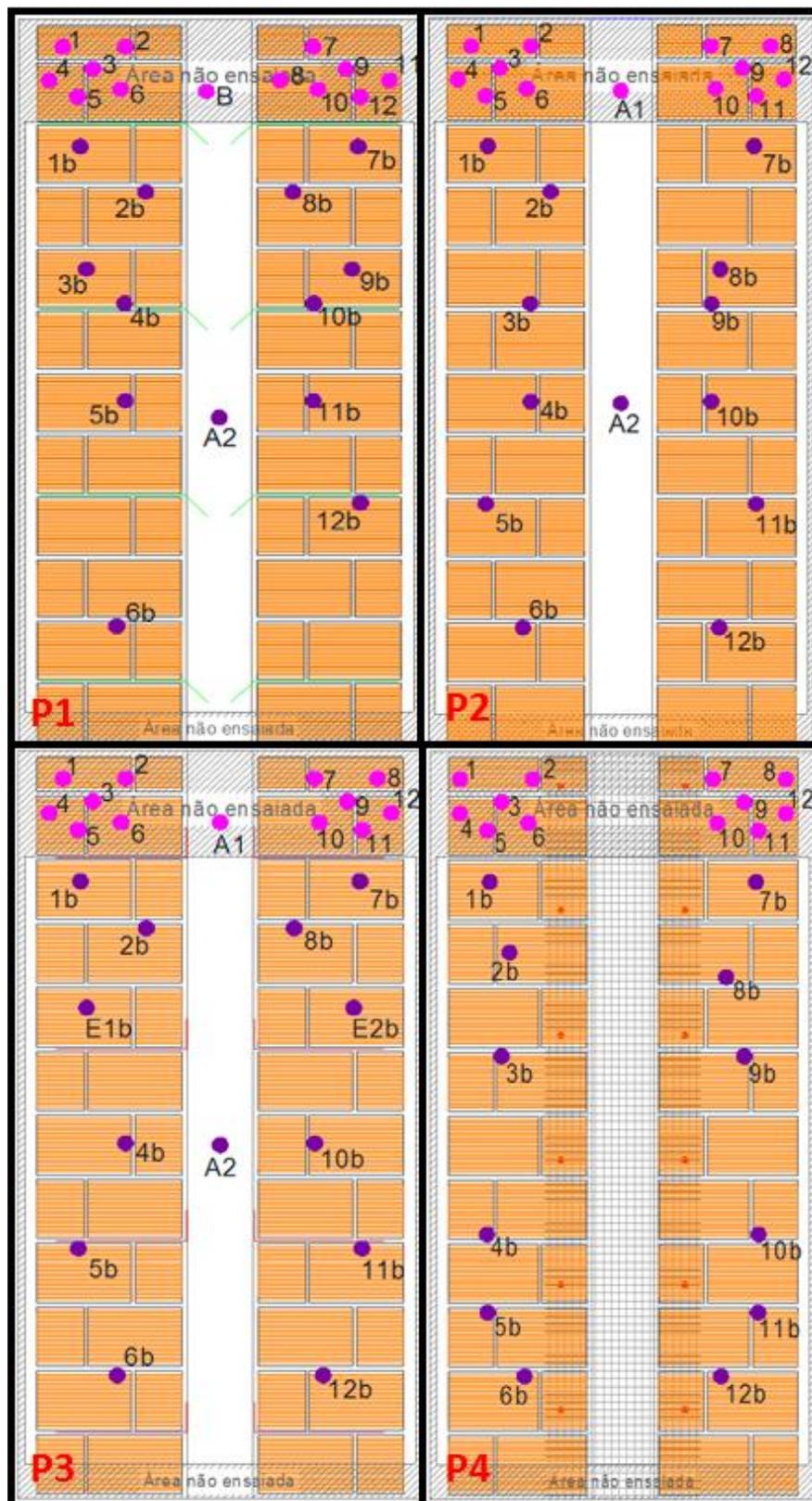
Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.4 Resistência de aderência à tração do revestimento

Após a realização dos ensaios de choque térmico realizou-se os ensaios de determinação da resistência de aderência à tração, conforme preceitos da NBR 13528 (ABNT, 2010). As extrações foram realizadas nas áreas expostas ao ensaio de “choque térmico” e também nas áreas não expostas, conforme detalhado na figura 18. O número de extrações foi determinado pela quantidade de pastilhas disponíveis para o ensaio, no caso 26 unidades.

A NBR 13528 (ABNT, 2010) orienta que um ensaio seja composto por 12 corpos de prova de mesmas características. Com isso tem-se a necessidade de os ensaios de aderência serem executados em área não exposta ao ensaio de choque térmico e em área exposta ao referido ensaio. Desta forma tem-se 12 corpos de prova para cada situação. Além disso, optou-se por extrair 1 corpo de prova de na área central onde encontrava-se o pilar de concreto armado para as áreas ensaiadas e não ensaiadas. Na amostra 4 (P4) não foi possível extrair amostras na área do revestimento reforçado com tela, devido a orientação da norma supracitada.

Figura 18 – Posição das pastilhas para ensaio de tração



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3 MATERIAIS

Os materiais utilizados no presente estudo foram os descritos abaixo:

- a) Bloco cerâmico de vedação com dimensões 19x19x29 cm (largura x altura x comprimento);
- b) Cimento Portland: CP IV -32;
- c) Aditivo para chapisco;
- d) Agregado miúdo: areia quartzosa de leito de rio;
- e) Argamassa estabilizada de assentamento: ARG. EXPRESS R/A 36H;
- f) Argamassa estabilizada de revestimento: ARG. EXPRESS R/A 36H;
- g) Argamassa estabilizada de revestimento com fibra: ARG. EXPRESS R/A 36H - COM FIBRA PP;
- h) Água;
- i) Tela para estruturação do revestimento de largura: 50 cm;
- j) Tela para vinculação da alvenaria ao pilar de dimensões: 7,5 x 50cm;
- l) Barra de aço para vinculação da alvenaria ao pilar, com extensão de 60 cm e diâmetro de 6,3mm;
- m) Pilar de concreto armado na dimensão de 20x20x240cm.

3.3.1 Caracterização dos blocos cerâmicos

A constatação das características dos blocos cerâmicos de vedação foi realizada seguindo os preceitos da NBR 15270/2 (ABNT, 2017). Os ensaios realizados foram os explanados na tabela 6.

Tabela 6 – Ensaios de caracterização dos blocos de vedação

Ensaios para Caracterização	Metodologia
Caracterização geométrica	
Caracterização física	NBR 15270 (ABNT, 2017)
Índice de absorção inicial	
Índice de absorção total	

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3.2 Caracterização da argamassa no estado fresco e endurecido

Os ensaios de caracterização das argamassas foram realizados nas dependências do laboratório de materiais de construção (LMC) na Unisinos. As argamassas utilizadas foram caracterizadas em seus estados fresco e endurecido. A tabela 7 descreve os procedimentos realizados e normas utilizadas na execução dos ensaios no estado fresco e endurecido.

Tabela 7 – Ensaio realizados na caracterização das argamassas utilizadas

Ensaio para Caracterização	Metodologia
Estado fresco	
Determinação do índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)
Determinação da densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005)
Determinação do teor de ar incorporado	NBR NM 47 (ABNT, 2002)
Estado endurecido	
Determinação da absorção de água total, índice de vazios e massa específica	NBR 9778 (ABNT, 2009)
Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005)
Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)
Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido	NBR 13280 (ABNT, 2005)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os procedimentos realizados foram os detalhados a seguir, nos subcapítulos 3.3.2.1 e 3.3.2.2.

3.3.2.1 Estado fresco

- **Índice de consistência:**

Para a determinação do índice de consistência por espalhamento foram executados os ensaios por repetidas duas vezes, seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016).

- **Densidade de massa:**

Para determinação da densidade de massa foram executados os ensaios por repetidas duas vezes, seguindo os preceitos estabelecidos pela NBR 13278 (ABNT, 2005). Os ensaios consistem em pesar por duas vezes a amostra acondicionada em um corpo cilíndrico de volume e tara conhecidos. Os resultados são expressos em kg/m^3 .

- **Teor de ar incorporado:**

A determinação do teor de ar incorporado foi executada por repetidas duas vezes. Foi atentado aos procedimentos estabelecidos pela NBR 47 (NM, 2002) adaptando-o com o uso do equipamento SOLOTEST (tubo B – norma Mercosul).

3.3.2.2 Estado endurecido

- **Densidade da massa aparente:**

A determinação da densidade de massa foi obtida seguindo recomendação da NBR 13280 (ABNT, 2005). Este ensaio foi realizado em três corpos de prova de aproximadamente 40x40x160mm para cada argamassa. A densidade da massa consiste na volumetria obtida pelas dimensões exatas de cada corpo de prova em centímetros e sua massa em gramas.

- **Resistência à tração na flexão e à compressão:**

Para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, foram realizados ensaios seguindo recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005). Para os ensaios de resistência à tração na flexão foram utilizados 3 corpos de prova de dimensões 40x40x160mm. Nos ensaios de resistência à compressão na flexão foram utilizados 6 corpos de prova de dimensões 40x40x40mm. O equipamento onde foram realizados os ensaios, trata-se de uma prensa universal de marca EMIC – modelo DL200, Classe I de calibração e velocidade de carregamento de 50 ± 10 N/s para os ensaios de resistência à tração na flexão e velocidade de carregamento de 500 ± 50 N/s para os ensaios à compressão.

- **Absorção capilar e coeficiente de capilaridade:**

Os ensaios para determinar da absorção capilar e coeficiente de capilaridade foram realizados seguindo os procedimentos estabelecidos na NBR 15259 (ABNT, 2005). Para a realização do ensaio, foram utilizados 3 corpos de prova de dimensão 40x40x160mm. A referida norma define que o coeficiente de capilaridade é

aproximadamente igual ao valor médio obtido pela diferença das massas determinadas nos tempos 10 min e 90 min. A absorção capilar é determinada através das massas obtidas nestes tempos subtraindo-se pela massa inicial e dividindo-se pela área da seção transversal do corpo de prova.

- **Absorção total, massa específica e índice de vazios:**

Para a determinação da absorção total, massa específica e índice de vazios seguiu-se os procedimentos recomendados pela NBR 9778 (ABNT, 2005), utilizando 3 corpos de prova de dimensão 40x40x160mm.

3.3.3 Cimento

O cimento utilizado na produção do chapisco foi o CP IV 32. As propriedades físicas e químicas seguem os limites estabelecidos na NBR 5736 (ABNT, 1999), conforme tabelas 8, 9 e 10:

Tabela 8 – Teores dos componentes do Cimento Portland pozolânico

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)		
		Clínquer sulfato de cálcio	Material pozolânico	Material carbonático
CP IV	32	85-45	15-50	0-5

Fonte: NBR 5736 (ABNT, 1999).

Tabela 9 – Exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland pozolânico

Características e propriedades	Unidade	Limites
		CP IV-32
Finura (resíduo na peneira 75 μ m)	%	$\leq 8,0$
Tempo de início de pega	h	≥ 1
Expansibilidade a quente	mm	≤ 5
Resistência à compressão	3 dias de idade	Mpa $\geq 10,0$
	7 dias de idade	Mpa $\geq 20,0$
	28 dias de idade	Mpa $\geq 32,0$

Fonte: NBR 5736 (ABNT, 1999)

Tabela 10 – Exigências química do Cimento Portland pozolânico

Determinações químicas	Limites (% da massa)
Perda ao fogo (PF)	$\leq 4,5$
Óxido de magnésio (MgO)	$\leq 6,5$
Trióxido de enxofre (SO ₃)	$\leq 4,0$
Anidrido carbônico (CO ₂)	$\leq 3,0$

Fonte: NBR 5736 (ABNT, 1999)

3.3.4 Aditivo para chapisco

A caracterização do aditivo adicionado ao chapisco foi realizada utilizando as propriedades químicas e físicas disponibilizadas pelo fabricante, conforme tabela 11. A adição deste aditivo foi em substituição de 75% do volume de água que seria adicionada ao traço do chapisco.

Tabela 11 – Características aditivo chapisco

Composição	Polímero acrílico
Tonalidade	Branco
Rendimento	3 m ² /L
Tempo de secagem	2h
Densidade	1 a 1,02 g/cm ³
Viscosidade	27 a 35 m ² /s
Estado físico	Líquido

Fonte: Fabricante

3.3.5 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média de origem quartzosa, extraída do leito do Rio Jacuí, na região metropolitana de Porto Alegre – Rio Grande do Sul.

3.3.6 Argamassa industrializada

A argamassa utilizada na construção das amostras foi do tipo industrializada estabilizada, onde o traço utilizado não foi disponibilizado pelo fornecedor. Embora

sabe-se que estas argamassas estabilizadas, geralmente, são compostas por cimento, areia, cal, aditivos aeradores, aditivos estabilizadores de pega e água. Os aditivos estabilizadores de pega propiciam maior tempo de utilização da argamassa e os aditivos aeradores melhoram a trabalhabilidade da mesma. A cal também tem a função de melhorar a trabalhabilidade e reter a água, desta forma seu emprego pode ser suprimido devido ao uso de aditivos na produção de argamassas estabilizadas.

A dosagem e mistura da argamassa foi feita em usina e sua entrega realizada por caminhões do tipo betoneira. A entrega das argamassas foi realizada em 4 etapas, dividindo-se em entrega de argamassa de assentamento da fase 1 e entrega da argamassa de revestimento da fase 1, repetindo-se as mesmas entregas na fase 2. As entregas dividiram-se em 0,2 m³ para argamassas utilizadas no assentamento e 0,4 m³ para argamassas utilizadas no revestimento. A adição de fibras para execução da parede 2 (P2) foi realizada no próprio caminhão betoneira, na proporção de 600 g/m³.

Nas tabelas 12,13,14,15 e 16 apresentam-se os resultados dos ensaios de caracterização da argamassa nos seus estados fresco e endurecido.

Tabela 12 – Caracterização da argamassa de assentamento – fase 1

Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Índice de consistência (mm)	227
Determinação da densidade de massa (kg/m ³)	1759,8
Determinação do teor de ar incorporado (%)	17,00
Ensaio de caracterização no estado endurecido	Resultado
Absorção de água total (%)	11,76
Índice de vazios (%)	19,09
Massa específica (kg/m ³)	1622,5
Absorção de água por capilaridade 10 min (g/cm ²)	0,18
Absorção de água por capilaridade 90 min (g/cm ²)	0,41
Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min)	3,7
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,75
Resistência à compressão (MPa)	4,00
Densidade de massa aparente (kg/m ³)	1605,1

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 13 – Caracterização da argamassa de revestimento (sem fibra) – fase 1

Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Índice de consistência (mm)	230
Determinação da densidade de massa (kg/m ³)	1728
Determinação do teor de ar incorporado (%)	18,00
Ensaio de caracterização no estado endurecido	Resultado
Absorção de água total (%)	12,72
Índice de vazios (%)	19,80
Massa específica (kg/m ³)	1610,0
Absorção de água por capilaridade 10 min (g/cm ²)	0,17
Absorção de água por capilaridade 90 min (g/cm ²)	0,39
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min)	3,5
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,74
Resistência à compressão (MPa)	4,10
Densidade de massa aparente (kg/m ³)	1552,1

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 14 – Caracterização da argamassa de revestimento (com fibra) – fase 1

Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Índice de consistência (mm)	229
Determinação da densidade de massa (kg/m ³)	1727,3
Determinação do teor de ar incorporado (%)	20,00
Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Absorção de água total (%)	13,18
Índice de vazios (%)	21,17
Massa específica (kg/m ³)	1605,5
Absorção de água por capilaridade 10 min (g/cm ²)	0,15
Absorção de água por capilaridade 90 min (g/cm ²)	0,33
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min)	3,0
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,89
Resistência à compressão (MPa)	4,23
Densidade de massa aparente (kg/m ³)	1551,5

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 15 – Caracterização da argamassa de assentamento – fase 2

Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Índice de consistência (mm)	228
Determinação da densidade de massa (kg/m ³)	1753,2
Determinação do teor de ar incorporado (%)	17,50
Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Absorção de água total (%)	12,05
Índice de vazios (%)	19,32
Massa específica (kg/m ³)	1616,2
Absorção de água por capilaridade 10 min (g/cm ²)	0,15
Absorção de água por capilaridade 90 min (g/cm ²)	0,42
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min)	4,3
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,74
Resistência à compressão (MPa)	4,04
Densidade de massa aparente (kg/m ³)	1579,5

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 16 – Caracterização da argamassa de revestimento – fase 2

Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Índice de consistência (mm)	266
Determinação da densidade de massa (kg/m ³)	1745,1
Determinação do teor de ar incorporado (%)	21,00
Ensaio de caracterização no estado fresco	Resultado
Absorção de água total (%)	14,72
Índice de vazios (%)	22,96
Massa específica (kg/m ³)	1560,0
Absorção de água por capilaridade 10 min (g/cm ²)	0,20
Absorção de água por capilaridade 90 min (g/cm ²)	0,52
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min)	5,1
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,39
Resistência à compressão (MPa)	3,23
Densidade de massa aparente (kg/m ³)	1580,5

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados obtidos, enquadram-se as argamassas analisadas nas classificações estabelecidas na NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme apresentado na tabela 18.

Tabela 18 – Classificação das argamassas

Ensaio	Argamassa de assentamento - fase 1		Argamassa de revestimento s/ adição de fibra - fase 1		Argamassa de revestimento c/ adição de fibra PP - fase 1		Argamassa de assentamento - fase 2		Argamassa de revestimento - fase 2		
	Resultados	Classificação NBR 13281:2005	Resultados	Classificação NBR 13281:2005	Resultados	Classificação NBR 13281:2005	Resultados	Classificação NBR 13281:2005	Resultados	Classificação NBR 13281:2005	
Estado fresco	Determinação da densidade de massa (kg/m ³)	1759,8	D4	1728,0	D4	1727,3	D4	1753,2	D4	1745,1	D4
Estado endurecido	Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	3,7	C3	3,5	C3	3,0	C3	4,3	C4	5,1	C5
	Resistência à tração na flexão (MPa)	1,75	R3	1,74	R3	1,89	R3	1,74	R3	1,39	R2
	Resistência à compressão (MPa)	4,00	P4	4,10	P4	4,23	P4	4,04	P4	3,23	P3
	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	1605,1	M4	1552,1	M4	1551,5	M4	1579,5	M4	1580,5	M4

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.7 Blocos cerâmicos

Na caracterização dos blocos cerâmicos seguiram-se os procedimentos estabelecidos na NBR 15270-2 (ABNT, 2017). A partir dos resultados obtidos, compararam-se os mesmos com as tolerâncias estabelecidas na NBR 15270-1 (ABNT, 2017). Observou-se que os blocos utilizados na construção das amostras se enquadram nos limites estabelecidos pela referida norma e condizem com os dados fornecidos pelo fabricante. Na tabela 17 apresentam-se os resultados médios obtidos nos ensaios realizados.

Tabela 17 – Classificação dos blocos

Ensaio	Resultados médios
Largura (mm)	190
Altura (mm)	191
Comprimento (mm)	291
Planeza das faces (mm)	3
Desvio em relação ao esquadro (mm)	2
Índice de Absorção Inicial [(g/193,55 cm ²)/min]	27
Índice de Absorção Total (%)	19

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.8 Água

Na composição do chapisco, utilizou-se água tratada oriunda da rede pública de distribuição da cidade de São Leopoldo e para a produção das argamassas de assentamento e revestimento utilizou-se água procedente da rede pública de distribuição da cidade de Campo Bom. Ambas cidades estão localizadas no estado do Rio Grande do Sul.

3.3.9 Tela para estruturação do revestimento

A tela utilizada para estruturação do revestimento na interface da estrutura com a alvenaria da parede 4 (P4) foi caracterizada de acordo com as especificações técnicas fornecidas pelo fabricante, conforme tabela 19:

Tabela 19 – Caracterização tela de revestimento

Malha	25x25 mm
Largura	50 cm
Diâmetro dos fios	1,24 mm
Galvanização	Camada leve - Mín. 35 g/m ²
Carga	760 g/m ²

Fonte: Fabricante

3.3.9.1 Fixação da tela sob-revestimento

A fixação das telas para estruturação do revestimento supracitado se deu através da utilização do conjunto parafuso, arruela e bucha.

3.3.10 Tela para vinculação da alvenaria ao pilar

A tela utilizada na vinculação da alvenaria ao pilar, durante o assentamento dos blocos, para a produção da parede 3 (P3) foi caracterizada segundo especificações técnicas fornecidas pelo fabricante, conforme tabela 20:

Tabela 20 – Caracterização tela de assentamento para vinculação ao pilar

Malha	15x15 mm
Largura	7,5 cm
Comprimento	50 cm
Diâmetro dos fios	1,65 mm
Galvanização	Camada leve - Mín. 35 g/m ²

Fonte: Fabricante

3.3.10.1 Fixação da tela durante o assentamento dos blocos

A fixação das telas para vinculação da alvenaria ao pilar acima citado se deu através da utilização de pinos.

3.3.11 Fibra de polipropileno

A fibra utilizada na argamassa de revestimento da parede 2 (P2) foi caracterizada seguindo propriedades físicas fornecidas pelo fornecedor, conforme tabela 21.

Tabela 21 – Caracterização da fibra de PP

Densidade	0,93 g/cm ³
Seção Circular	18 µm
Alongamento	80%
Resistência à tração	300 Mpa
Temperatura de fusão	160 °C
Comprimento	12 mm e 25 mm

Fonte: Fabricante

3.3.12 Barras de aço

Os vergalhões de aço, CA 50 de 6,3 mm de diâmetro, utilizadas na construção da parede 1 (P1) foram caracterizadas seguindo propriedades físicas e químicas disponibilizadas pelo fabricante, conforme tabela 22.

Tabela 22 – Caracterização do vergalhão de aço

Diâmetro Nominal (DN)	6,3 mm
Superfície	nervurada
Massa nominal	0,245 kg/m
Tolerância massa linear	7%
Resistência característica de escoamento (fy)	500 Mpa
Limite de Resistência (Mpa)	1,08 x fy
Alongamento	8%
Diâmetro do pino para dobramento a 180 ° (mm)	3 x DN

Fonte: Fabricante

3.3.12.1 Fixação das barras de aço

A fixação das barras de aço ocorreu por meio de resina epóxi apropriada para o uso.

3.3.13 Pilar de concreto armado

Os pilares foram confeccionados em concreto armado nas dimensões de 20x20x240 cm e dimensionados com taxa de armadura mínima, conforme estabelecido na NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.4 INSTRUMENTAÇÃO

3.4.1 Termopares

Na medição da temperatura do lado exposto ao ensaio de choque térmico, foram utilizados cinco (5) termopares do tipo K com diâmetro de 1,5 mm, acoplados em discos de cobre com diâmetro de 30 mm e 0,2 mm de espessura, conforme figura 19. Os termopares foram dispostos, conforme exposto na figura 20, seguindo recomendação da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Figura 19 – Termopares tipo K com diâmetro de 1,5mm



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 20 – Disposição dos termopares na face ensaiada



Fonte: Elaborada pelo autor

3.4.2 Relógios comparadores

A medição dos deslocamentos em relação ao plano da amostra foi realizada utilizando dois modelos de relógios comparadores, ambos digitais da marca Mitutoyo. Os modelos utilizados foram o 543-390B, com capacidade de 12,7mm e precisão de 0,001mm e o 543-564-1, com capacidade de 60,9mm e precisão de 0,0025mm, ambos podem ser visualizados na figura 21. Os mesmos foram

posicionados e fixados com o uso de base magnética figura 22, na face oposta à do ensaio, conforme já demonstrado anteriormente na figura 16.

Figura 21 – Modelos de relógios comparadores utilizados



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 22 – Modelo de base magnética utilizada



Fonte: Elaborada pelo autor

3.4.3 Termômetro

A medição da temperatura da água de resfriamento da amostra 1ª água de entrada e 1ª água de saída foi realizado através de um termômetro culinário de marca Tramontina, modelo 25683100, precisão 8°C, conforme apresentado na figura 23.



Figura 23 – Disposição dos termopares na face ensaiada

Fonte: Elaborada pelo autor

3.4.4 Dinamômetro de tração

Para determinação da resistência de aderência à tração foi utilizado um dinamômetro de tração montado pela empresa Dinateste – modelo 1937 AA, conforme constatado na figura 24.

Figura 24 – Modelo dinamômetro de tração utilizado



Fonte: Elaborada pelo autor

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados com base nas verificações executadas. Estão divididos em três partes para melhor apresentação, análise e discussão dos resultados.

4.1 - PARTE 1: COMPORTAMENTO À AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO (ACCT).

Esta parte trata da apresentação dos resultados obtidos nos ensaios de verificação do comportamento à ação de calor e choque térmico, assim como da análise e discussão dos resultados.

A análise dos resultados baseia-se nos critérios exigidos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013b). Desta forma aborda os deslocamentos em relação ao plano e a verificação de fissuras e/ou falhas nos revestimentos durante os ciclos.

4.1.1 - Deslocamento horizontal instantâneo.

Esta parte aborda os resultados, análise e discussão dos deslocamentos horizontais em relação ao plano, detectados por meio de seis relógios comparadores posicionados na face oposta ao ensaio de ACCT.

4.1.1.1 Amostra 1 (P1) “Ferro cabelo”

Os deslocamentos obtidos em cada relógio durante a fase de aquecimento e posterior resfriamento são expostos na tabela 23, onde se apresenta os resultados de cada ciclo do ensaio de ACCT.

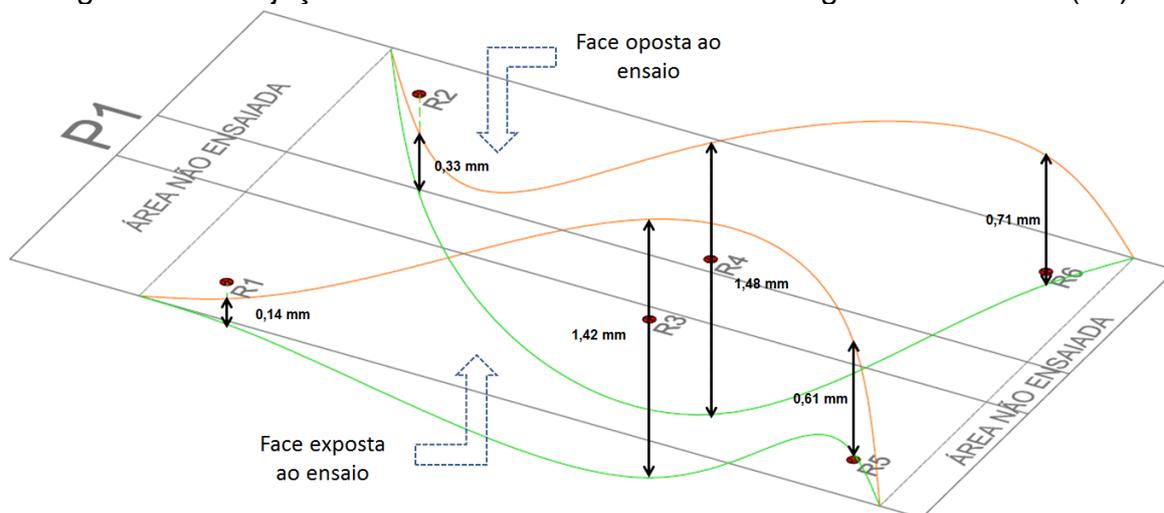
Tabela 23 – Deslocamentos obtidos para amostra P1.

Ciclo do ensaio	Fase do ensaio	Deslocamentos em cada relógio (mm)					
		R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	Aquecimento	0,13	0,22	-0,55	-0,63	-0,32	-0,27
	Resfriamento	0,22	0,33	-0,23	-0,34	-0,27	-0,22
2	Aquecimento	0,23	0,38	-0,19	-0,29	-0,59	-0,54
	Resfriamento	0,23	0,45	0,11	0,06	-0,57	-0,52
3	Aquecimento	0,17	0,36	0,22	0,14	-0,04	-0,05
	Resfriamento	0,21	0,44	0,49	0,43	-0,27	-0,22
4	Aquecimento	0,15	0,39	0,31	0,28	-0,61	-0,57
	Resfriamento	0,20	0,46	0,65	0,63	-0,04	-0,03
5	Aquecimento	0,16	0,46	0,45	0,42	-0,65	-0,64
	Resfriamento	0,18	0,52	0,74	0,71	-0,62	-0,60
6	Aquecimento	0,09	0,41	0,49	0,47	-0,04	-0,04
	Resfriamento	0,14	0,51	0,77	0,74	-0,60	-0,55
7	Aquecimento	0,10	0,43	0,50	0,48	-0,06	-0,06
	Resfriamento	0,14	0,52	0,74	0,74	-0,05	-0,04
8	Aquecimento	0,12	0,44	0,59	0,56	-0,34	-0,30
	Resfriamento	0,15	0,53	0,80	0,78	-0,31	0,07
9	Aquecimento	0,12	0,45	0,65	0,60	-0,35	-0,30
	Resfriamento	0,16	0,54	0,87	0,85	-0,30	-0,26
10	Aquecimento	0,11	0,45	0,68	0,62	-0,37	-0,32
	Resfriamento	0,16	0,55	0,36	0,35	-0,33	-0,28

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na tabela 23, ilustra-se na figura 25 as amplitudes dos deslocamentos máximos da amostra durante o ensaio.

Figura 25 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 1 (P1).



Fonte: Elaborada pelo autor

A análise dos resultados obtidos nesta amostra foi baseada nas amplitudes máximas dos deslocamentos e análise destes, comparando os deslocamentos por meio de representações gráficas localizadas no “Apêndice A” do presente trabalho.

A partir das análises realizadas, percebe-se que no primeiro ciclo (ciclo 1) a expansão máxima da referida amostra ocorreu em área central durante a fase de aquecimento. A partir do resfriamento, neste mesmo ciclo, a amostra não obteve expansão semelhante na região central nos ciclos subsequentes. Além disso, à medida que foram executados os ciclos posteriores de resfriamento, a amostra P1 apresentou maior retração nas etapas de resfriamento do que expansão nas etapas de aquecimento. Tal fato resultou em uma amplitude de deslocamento, na região central e inferior, não constatada nas demais amostras.

Entende-se que o fator determinante para tal comportamento pode ser justificado por grandes vazamentos de água, em cada ciclo de resfriamento, da metade para baixo da amostra, na interface de vedação da face da parede com o painel de resfriamento, conforme pode ser constatado pela figura 26, onde percebe-se o piso do laboratório repleto de água em torno da amostra em ensaio.

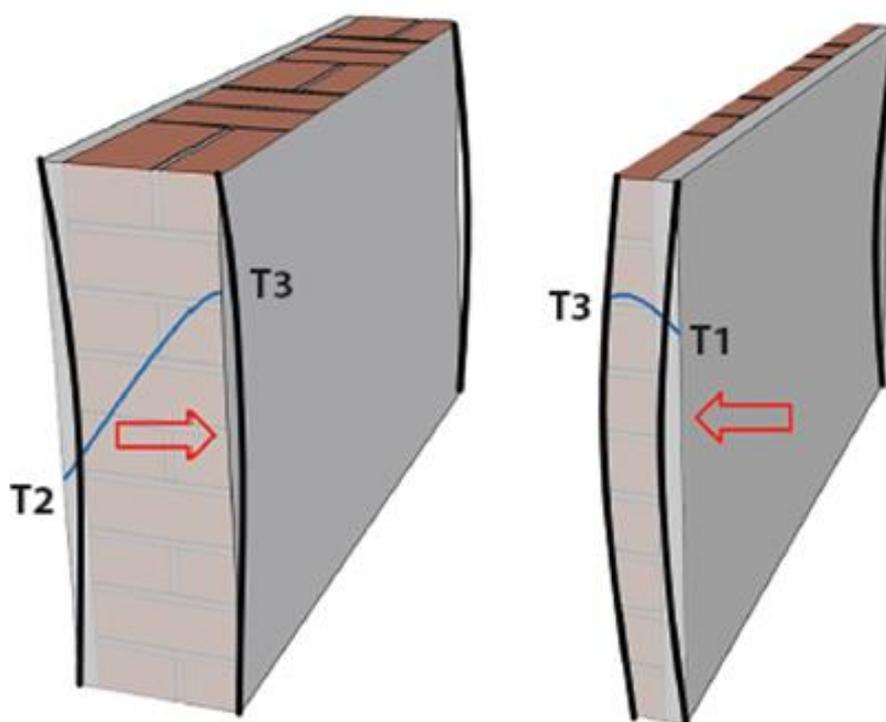
Figura 26 – Vazamento de água no resfriamento da amostra 1 (P1)



Fonte: O autor.

Este vazamento na etapa de resfriamento pode ter proporcionado umidade excessiva ao revestimento da amostra, em regiões não expostas ao aquecimento, fazendo com que este ficasse cada vez mais saturado com o passar dos ciclos. E assim, resultando em expansões menores na região central da amostra nos ciclos de aquecimento posteriores. Ou seja, nesta hipótese tem-se variação do gradiente térmico ao longo da seção da parede, conforme também apontado por Fontenelle, et al. (2017) e ilustrado na figura 27.

Figura 27 –Variância no gradiente térmico da seção da amostra



Fonte: Elaborada por Fontenelle, et al. (2017), baseado em Kreith e Bohn (2003).

Segundo Fontenelle, et al. (2017) os deslocamentos e deformações são ocasionados pela alternância simultânea de umidade e temperatura. Sendo impossível afirmar genericamente qual é o fenômeno que prevalece, pois é sabido que existe expansão quando se eleva a temperatura, mas também há retração pela perda de umidade.

4.1.1.2 Amostra 2 (P2) “Fibra PP”

Os deslocamentos obtidos em cada relógio durante a fase de aquecimento e posterior resfriamento são expostos na tabela 24, onde se apresenta os resultados de cada ciclo do ensaio de ACCT.

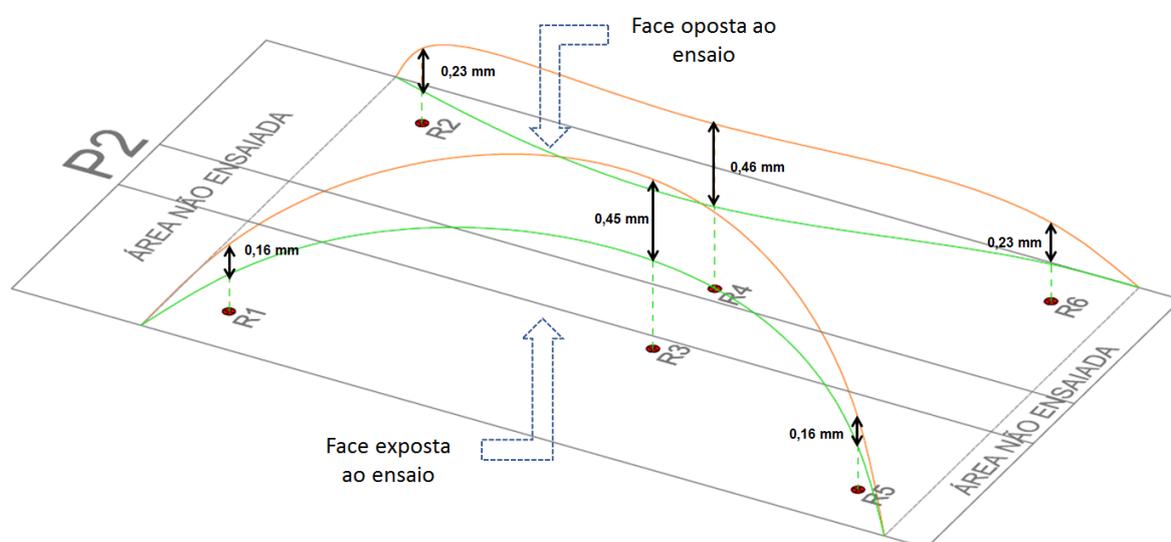
Tabela 24 – Deslocamentos obtidos para amostra P2.

Ciclo do ensaio	Fase do ensaio	Deslocamentos em cada relógio (mm)					
		R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	Aquecimento	-0,20	-0,18	-0,61	-0,60	-0,26	-0,23
	Resfriamento	-0,23	-0,20	-0,54	-0,55	-0,25	-0,25
2	Aquecimento	-0,25	-0,23	-0,93	-0,90	-0,39	-0,43
	Resfriamento	-0,28	-0,25	-0,85	-0,83	-0,37	-0,42
3	Aquecimento	-0,28	-0,26	-0,81	-0,79	-0,35	-0,40
	Resfriamento	-0,23	-0,21	-0,62	-0,59	-0,27	-0,24
4	Aquecimento	-0,33	-0,32	-0,74	-0,72	-0,32	-0,26
	Resfriamento	-0,26	-0,24	-0,53	-0,51	-0,24	-0,21
5	Aquecimento	-0,35	-0,35	-0,71	-0,68	-0,31	-0,24
	Resfriamento	-0,26	-0,25	-0,48	-0,45	-0,24	-0,20
6	Aquecimento	-0,35	-0,34	-0,72	-0,69	-0,32	-0,25
	Resfriamento	-0,26	-0,26	-0,56	-0,53	-0,27	-0,21
7	Aquecimento	-0,37	-0,41	-0,74	-0,71	-0,33	-0,25
	Resfriamento	-0,27	-0,28	-0,53	-0,50	-0,26	-0,21
8	Aquecimento	-0,36	-0,41	-0,73	-0,70	-0,33	-0,25
	Resfriamento	-0,27	-0,24	-0,55	-0,53	-0,27	-0,21
9	Aquecimento	-0,36	-0,35	-0,73	-0,69	-0,33	-0,25
	Resfriamento	-0,26	-0,24	-0,58	-0,55	-0,29	-0,23
10	Aquecimento	-0,37	-0,38	-0,77	-0,74	-0,35	-0,27
	Resfriamento	-0,27	-0,28	-0,62	-0,60	-0,30	-0,24

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na tabela 24, ilustra-se na figura 28 as amplitudes dos deslocamentos máximos da amostra durante o ensaio.

Figura 28 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 2 (P2).



Fonte: Elaborada pelo autor

A análise dos resultados obtidos nesta amostra foi baseada nas amplitudes máximas dos deslocamentos e análise destes, comparando os deslocamentos por meio de representações gráficas localizadas no “Apêndice A” do presente trabalho.

Baseado nas análises realizadas percebe-se que a expansão máxima da amostra P2 ocorreu em área central, durante a fase de aquecimento no segundo ciclo (ciclo 2). Tal expansão, foi a maior detectada nas amostras analisadas. Fato este que se justifica pela forma construtiva da referida parede, a qual não faz uso de elementos de ligação, da alvenaria de vedação ao pilar de concreto. Desta forma, não proporciona à amostra “P2” a redução da esbeltez que ocorre nas alvenarias que fazem uso destes elementos.

Conforme Thomaz et al, (2009), a esbeltez da parede de vedação pode ser reduzida empregando elementos de ligação da alvenaria ao pilar, como por exemplo “ferros cabelo” e telas metálicas galvanizadas (ambos utilizados neste trabalho nas amostras “P1” e “P3”, respectivamente).

4.1.1.3 Amostra 3 (P3) “Tela assentamento”

Os deslocamentos obtidos em cada relógio durante a fase de aquecimento e posterior resfriamento são expostos na tabela 25, onde se apresenta os resultados de cada ciclo do ensaio de ACCT.

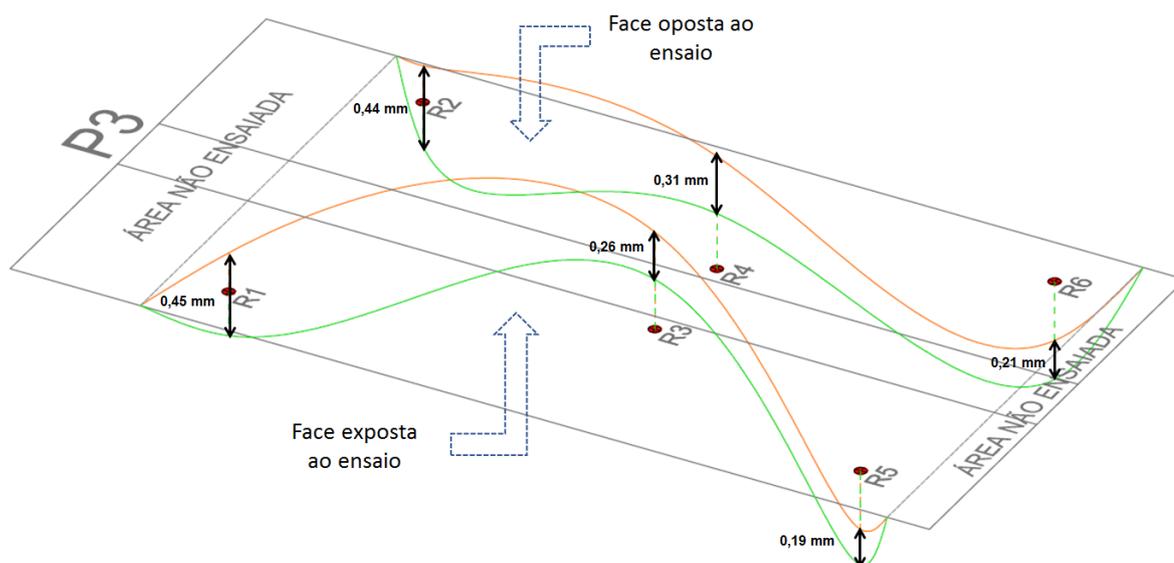
Tabela 25 – Deslocamentos obtidos para amostra P3.

Ciclo do ensaio	Fase do ensaio	Deslocamentos em cada relógio (mm)					
		R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	Aquecimento	0,11	0,11	-0,32	-0,41	0,32	0,34
	Resfriamento	-0,16	-0,16	-0,32	-0,34	0,32	0,36
2	Aquecimento	0,24	0,24	-0,53	-0,61	0,36	0,32
	Resfriamento	-0,16	-0,16	-0,50	-0,52	0,36	0,36
3	Aquecimento	0,10	0,11	-0,47	-0,53	0,43	0,48
	Resfriamento	-0,21	-0,20	-0,43	-0,44	0,42	0,41
4	Aquecimento	0,19	0,17	-0,50	-0,56	0,43	0,47
	Resfriamento	-0,19	-0,17	-0,45	-0,47	0,43	0,41
5	Aquecimento	0,16	0,16	-0,45	-0,50	0,47	0,50
	Resfriamento	-0,16	-0,16	-0,44	-0,47	0,42	0,42
6	Aquecimento	0,15	0,15	-0,43	-0,49	0,49	0,51
	Resfriamento	-0,18	-0,17	-0,40	-0,40	0,44	0,47
7	Aquecimento	0,12	0,12	-0,40	-0,45	0,49	0,53
	Resfriamento	-0,14	-0,14	-0,40	-0,45	0,47	0,50
8	Aquecimento	0,18	0,18	-0,41	-0,47	0,49	0,51
	Resfriamento	-0,12	-0,14	-0,36	-0,38	0,45	0,47
9	Aquecimento	0,19	0,18	-0,39	-0,45	0,50	0,49
	Resfriamento	-0,07	-0,09	-0,27	-0,30	0,51	0,50
10	Aquecimento	0,21	0,23	-0,38	-0,44	0,51	0,50
	Resfriamento	-0,10	-0,11	-0,39	-0,40	0,46	0,47

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na tabela 25, ilustram-se na figura 29 as amplitudes dos deslocamentos máximos da amostra durante o ensaio.

Figura 29 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 3 (P3).



Fonte: Elaborada pelo autor

A análise dos resultados obtidos nesta amostra foi baseada nas amplitudes máximas dos deslocamentos e análise destes, comparando os deslocamentos por meio de representações gráficas localizadas no “Apêndice A” do presente trabalho.

Baseado nas análises realizadas percebe-se que a maior amplitude dos deslocamentos foi obtida na parte superior da amostra. Tal amplitude pode ter ocorrido pela influência do gradiente térmico diferencial ao longo da amostra, em decorrência da fissuração do revestimento em área superior da face externa da amostra, quando da exposição ao ensaio de ACCT. Desta forma, com o decorrer do ensaio, pode ter ocorrido uma concentração de umidade na região fissurada, proporcionando infiltrações na amostra e acentuando a movimentação higrotérmica da região em questão.

Com base na análise dos deslocamentos detectados, nas representações gráficas do “Apêndice A”, percebe-se que a expansão máxima da referida amostra ocorreu em área central durante a fase de aquecimento do segundo ciclo (ciclo 2). No entanto, foi a menor expansão registrada em área central dentre as amostras analisadas neste trabalho, embora muito próxima à expansão ocorrida no primeiro ciclo (ciclo 1). Além disso, foi a amostra que apresentou menor amplitude de deslocamentos na região central entre as amostras ensaiadas.

4.1.1.4 Amostra 4 (P4) “Tela revestimento”

Os deslocamentos obtidos em cada relógio durante a fase de aquecimento e posterior resfriamento são expostos na tabela 26, onde se apresenta os resultados de cada ciclo do ensaio de ACCT.

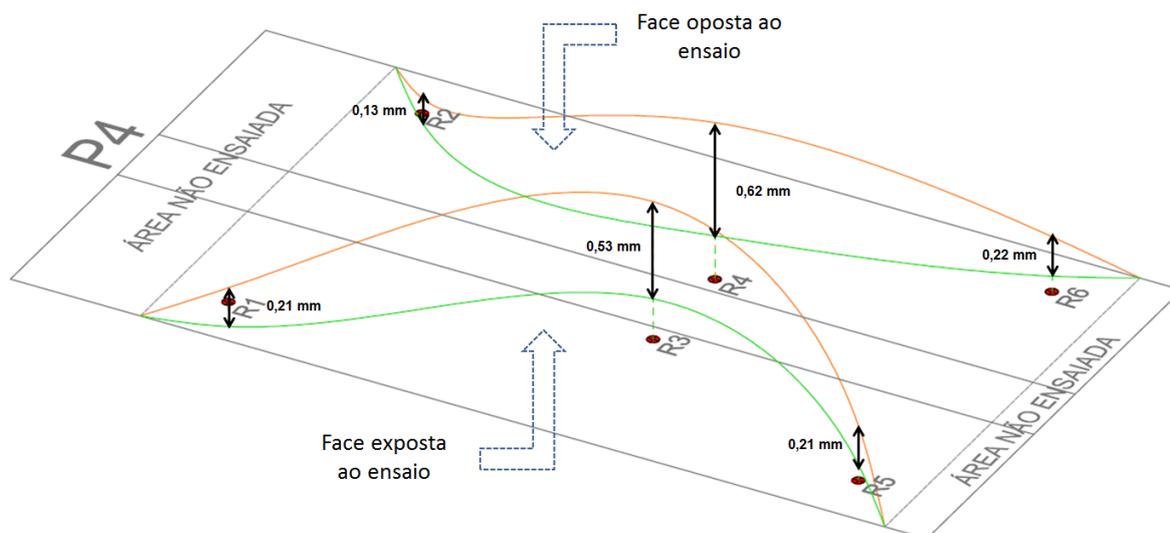
Tabela 26 – Deslocamentos obtidos para amostra P4.

Ciclo do ensaio	Fase do ensaio	Deslocamentos em cada relógio (mm)					
		R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	Aquecimento	-0,05	-0,05	-0,57	-0,65	-0,21	-0,24
	Resfriamento	-0,07	-0,06	-0,45	-0,47	-0,19	-0,23
2	Aquecimento	-0,06	-0,05	-0,75	-0,86	-0,30	-0,30
	Resfriamento	-0,04	-0,08	-0,62	-0,65	-0,29	-0,30
3	Aquecimento	-0,07	-0,07	-0,72	-0,82	-0,27	-0,27
	Resfriamento	-0,06	-0,02	-0,50	-0,56	-0,18	-0,19
4	Aquecimento	-0,06	-0,06	-0,66	-0,74	-0,21	-0,25
	Resfriamento	-0,03	-0,08	-0,51	-0,52	-0,19	-0,22
5	Aquecimento	-0,06	-0,06	-0,69	-0,77	-0,25	-0,26
	Resfriamento	-0,05	-0,08	-0,53	-0,55	-0,23	-0,23
6	Aquecimento	-0,05	-0,02	-0,49	-0,56	-0,18	-0,15
	Resfriamento	-0,06	-0,05	-0,34	-0,36	-0,11	-0,15
7	Aquecimento	-0,04	-0,04	-0,57	-0,65	-0,18	-0,21
	Resfriamento	-0,05	-0,04	-0,40	-0,42	-0,14	-0,18
8	Aquecimento	-0,05	-0,03	-0,57	-0,66	-0,20	-0,20
	Resfriamento	-0,08	-0,01	-0,34	-0,36	-0,11	-0,15
9	Aquecimento	0,07	-0,01	-0,51	-0,60	-0,21	-0,18
	Resfriamento	0,08	-0,01	-0,36	-0,38	-0,12	-0,16
10	Aquecimento	0,08	0,02	-0,45	-0,54	-0,11	-0,15
	Resfriamento	0,13	0,05	-0,22	-0,24	-0,09	-0,09

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados na tabela 26, ilustra-se na figura 30 as amplitudes dos deslocamentos máximos da amostra durante o ensaio.

Figura 30 – Projeção dos deslocamentos de cada relógio na amostra 4 (P4).



Fonte: Elaborada pelo autor

A análise dos resultados obtidos nesta amostra foi baseada nas amplitudes máximas dos deslocamentos e análise destes, comparando os deslocamentos por meio de representações gráficas localizadas no “Apêndice A” do presente trabalho.

Por meio das análises realizadas, percebe-se que a expansão máxima da amostra P4 ocorreu em área central, durante a fase de aquecimento no segundo ciclo (ciclo 2). Tal expansão, foi a segunda maior detectada nas amostras analisadas. Fato este que se justifica pela forma construtiva da referida parede. A qual, assim como a amostra 2 (P2), não faz uso de elementos de ligação da alvenaria ao pilar de concreto. Portanto, não é beneficiada pelo uso destes elementos na redução da esbeltez da alvenaria.

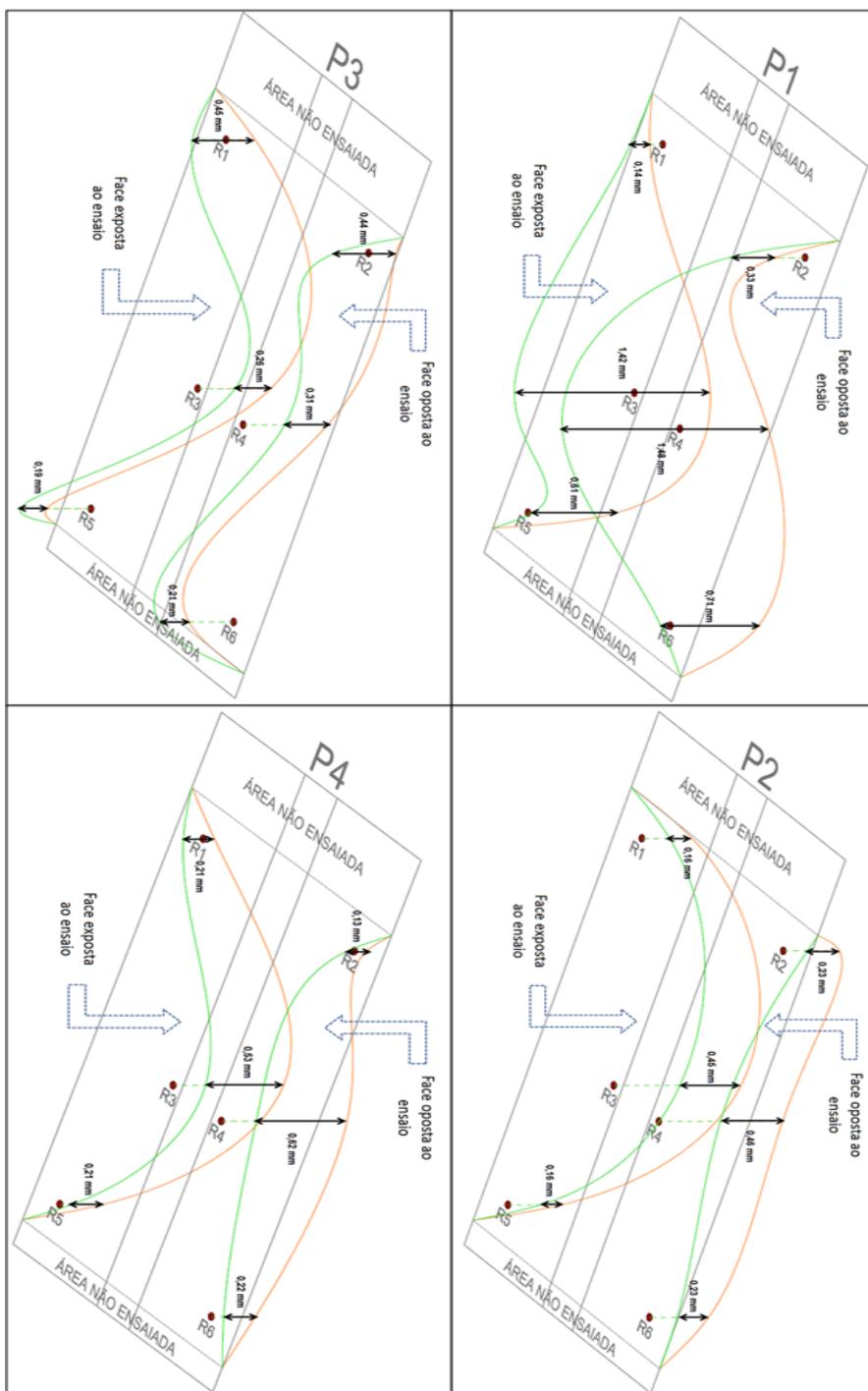
Conforme já descrito no item 4.1.1.2, segundo Thomaz et al, (2009), a esbeltez da parede de vedação pode ser reduzida empregando elementos de ligação da alvenaria ao pilar, como por exemplo “ferros cabelo” ou telas metálicas galvanizadas (ambos utilizados neste trabalho nas amostras “P1” e “P3”, respectivamente).

4.1.1.5 – Considerações sobre os deslocamentos horizontais obtidos:

A partir dos resultados constatados, percebe-se que todos os deslocamentos obtidos são inferiores ao máximo permitido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), a qual permite um deslocamento máximo de até $h/300$, onde h é a altura da amostra. Ao

fazer uma comparação dos deslocamentos de cada amostra, através da figura 31, observa-se que o deslocamento máximo ocorreu nas áreas centrais de cada parede.

Figura 31 – Comparação da amplitude dos deslocamentos de cada parede.



Fonte: Elaborada pelo autor

Além disso, percebe-se uma similaridade quanto a tendência ao deslocamento das amostras P2 e P4. Esta mesma similaridade não fica evidente nas amostras P1 e P3, onde também se esperava deslocamentos semelhantes. Tal diferença pode ter ocorrido justamente pela influência do gradiente térmico anteriormente citado. Desta forma, entende-se que é necessário a realização de mais estudos a respeito da influência do gradiente térmico em amostras com as características ensaiadas, para comprovar os efeitos deste no deslocamento horizontal dos SVVE em questão.

4.1.2 – Fissuração e falhas nos revestimentos:

Esta parte aborda os resultados, análise e discussão da fissuração e falhas apresentadas nos revestimentos das amostras, detectadas antes, durante e após os ciclos de ensaios de ACCT. Em virtude da dificuldade de visualização das mesmas, estão apresentadas de forma destacada, onde é possível visualizar a distribuição, formato e extensão das mesmas para melhor compreensão e análise dos resultados.

Os ciclos em que as fissuras ocorreram estão representados nas figuras pela consoante “C”, seguido pela numeração do ciclo da ocorrência. As fissuras preexistentes (desenvolvidas em processo de cura do revestimento) estão destacadas em azul, já às posteriores ao ensaio, desenvolvidas durante os ciclos de ensaios de ACCT, estão destacadas em preto envoltas por uma elipse na cor vermelha.

4.1.2.1 Amostra 1 (P1) “Ferro cabelo”

Nesta amostra foi detectado durante a fase de aquecimento fissuras na região central e inferior da face oposta ao ensaio de ACCT, durante o primeiro, segundo e quinto ciclo. As fissuras apresentadas tiveram aberturas da ordem de 0,20 a 0,5mm, com extensões e configuração apresentadas na figura 31.

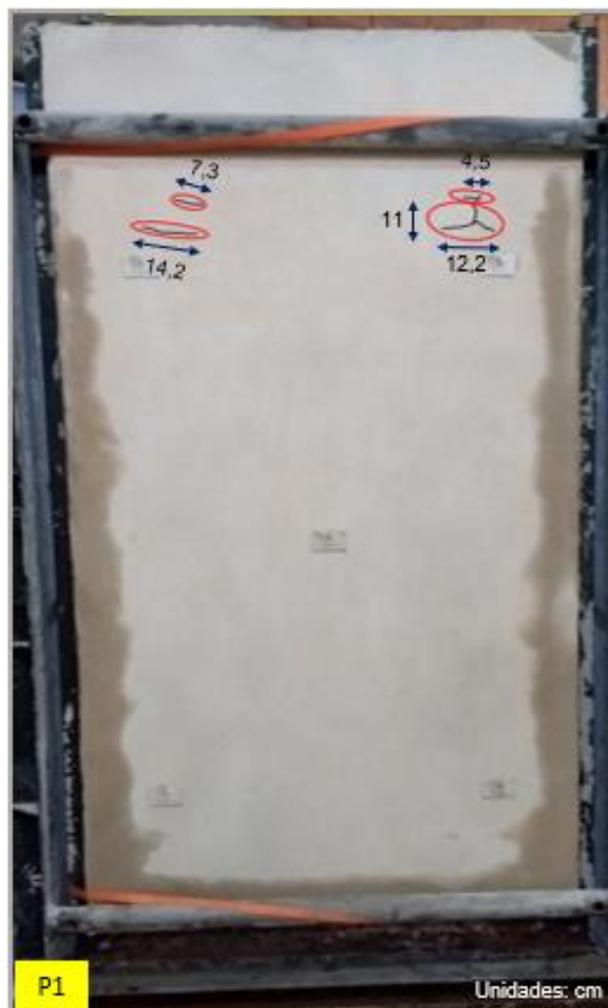
Figura 32 – Mapeamento das fissuras na amostra P1 (face oposta ao ensaio)



Fonte: Elaborada pelo autor

Após conclusão dos ensaios foi observado fissuras, na região superior da face exposta ao ensaio de ACCT, durante o primeiro, segundo e quinto ciclo. As fissuras apresentadas tiveram aberturas da ordem de 0,25 a 0,5mm, com extensões e configuração apresentadas na figura 32.

Figura 33 – Mapeamento das fissuras na amostra P1 (face exposta ao ensaio)

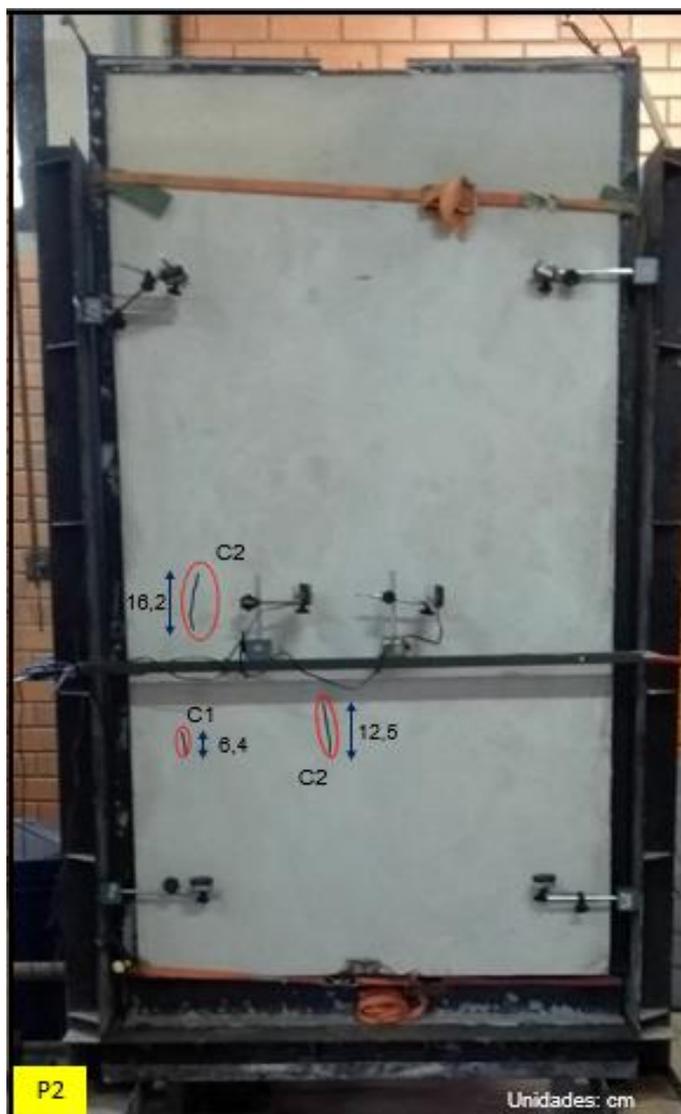


Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.2.2 Amostra 2 (P2) “Fibra PP”

Nesta amostra foi detectadas fissuras durante a fase de aquecimento, na região central face oposta ao ensaio de ACCT, durante o primeiro e segundo ciclo. As fissuras apresentadas tiveram aberturas da ordem de 0,20 a 0,4mm, com extensões e configuração apresentadas na figura 33.

Figura 34 – Mapeamento das fissuras na amostra P2 (face oposta ao ensaio)



Fonte: Elaborada pelo autor

Após conclusão dos ensaios foi observado fissuras, na região superior e inferior da face exposta ao ensaio de ACCT, durante o primeiro e segundo ciclo. As fissuras apresentadas tiveram aberturas da ordem de 0,25 a 0,40 mm, com extensões e configuração apresentadas na figura 34.

Figura 35 – Mapeamento das fissuras na amostra P2 (face exposta ao ensaio)

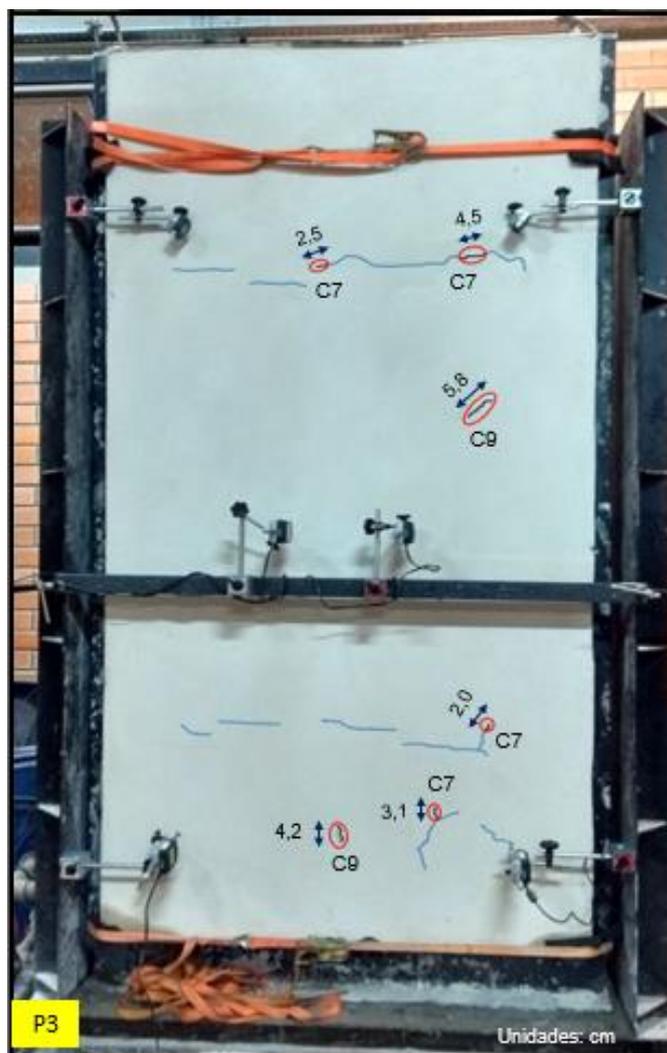


Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.2.3 Amostra 3 (P3) “Tela assentamento”

Nesta amostra foi detectado fissuração, durante a fase de aquecimento. Percebe-se que a concentração de fissuras foi na região superior e inferior da face oposta ao ensaio de ACCT, durante sétimo e nono ciclo. As fissuras apresentadas tiveram aberturas da ordem de 0,2 a 0,4mm. As extensões e configuração são apresentadas na figura 35.

Figura 36 – Mapeamento das fissuras na amostra P3 (face oposta ao ensaio)



Fonte: Elaborada pelo autor

Após conclusão dos ensaios, foi observado fissuras na região superior e inferior da face exposta ao ensaio de ACCT. As quais tiveram aberturas da ordem de 0,25 a 0,40 mm. As extensões e configuração são apresentadas na figura 36.

Figura 37 – Mapeamento das fissuras na amostra P3 (face exposta ao ensaio)

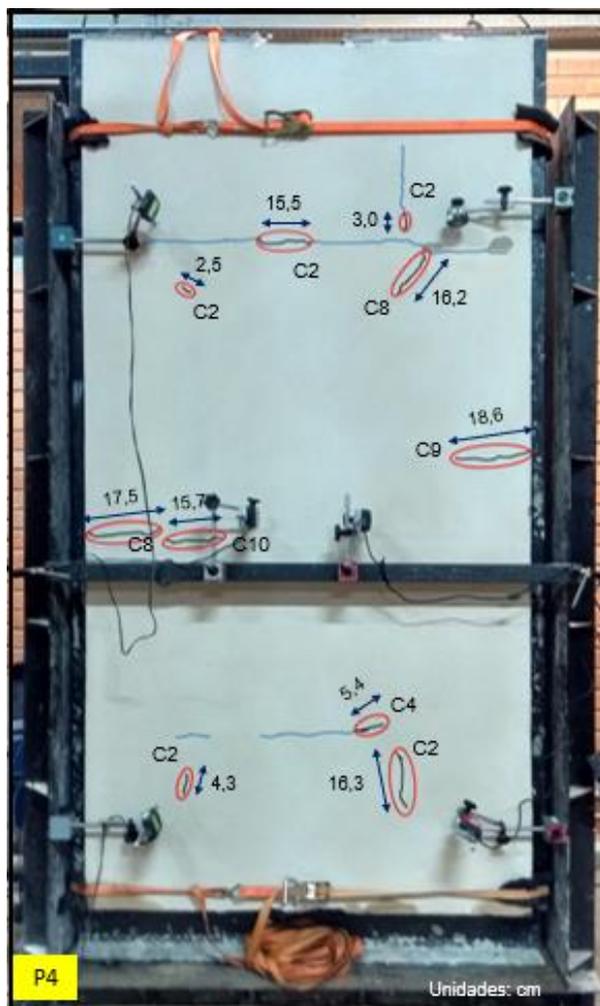


Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.2.4 Amostra 4 (P4) “Tela revestimento”

Nesta amostra foram detectadas fissuras na face oposta aos ensaios de ACCT, durante a fase de aquecimento. As quais ocorreram durante o segundo, quarto, oitavo, nono e décimo ciclo. Todas as fissuras apresentaram aberturas da ordem de 0,3 a 0,5mm, com extensões e distribuição apresentadas na figura 37.

Figura 38 – Mapeamento das fissuras na amostra P4 (face oposta ao ensaio)



Fonte: Elaborada pelo autor

Após conclusão dos ensaios foram observadas fissuras nas regiões superior e inferior da amostra em face exposta ao ensaio de ACCT. Na região superior a fissura apresentada ocorreu em área não submetida ao ensaio de ACCT e teve abertura variando em 0,2 a 0,5mm. Já as fissuras apresentadas em região submetida ao ensaio de ACCT, apresentaram abertura na ordem de 0,25 a 0,40mm. As extensões das fissuras e suas orientações são apresentadas na figura 38.

Figura 39 – Mapeamento das fissuras na amostra P4 (face exposta ao ensaio)

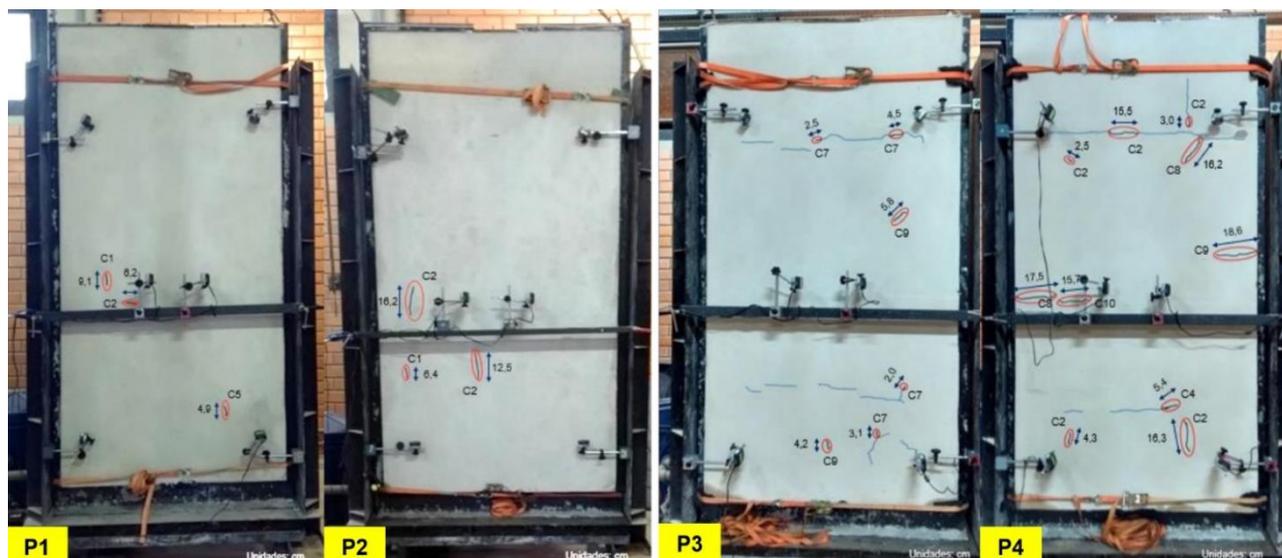


Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.2.5 – Considerações sobre fissuração e falhas nos revestimentos:

Para melhor comparação visual dos resultados supracitados, apresenta-se na figura 39 o mapeamento das fissuras em cada parede, na face oposta ao ensaio de ACCT.

Figura 40– Mapeamento das fissuras nas amostras (face oposta ao ensaio)



Fonte: Elaborada pelo autor

Com base nos resultados expostos na figura 39, percebe-se uma concentração maior de fissuras nas amostras P3 e P4 em relação às amostras P1 e P2.

A fim de confrontar visualmente os resultados anteriormente descritos expõe-se na figura 40, o mapeamento das fissuras em cada parede, na face exposta ao ensaio de ACCT.

Figura 41– Mapeamento das fissuras nas amostras (face exposta ao ensaio)



Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados expostos na figura 40, percebe-se uma quantidade ligeiramente maior de fissuras nas amostras P3 e P4 em relação às amostras P1 e P2.

Baseado nos resultados anteriormente apresentados apresenta-se na tabela 27 às extensões das fissuras para melhor avaliação dos resultados.

Tabela 27 – Extensões das fissuras

Extensão das fissuras detectadas durante/após ensaio de ACCT (cm)								
Região	P1 “ferro cabelo”		P2 “fibra PP”		P3 “tela assentamento”		P4 “tela revestimento”	
	Face oposta	Face exposta	Face oposta	Face exposta	Face oposta	Face exposta	Face oposta	Face exposta
Superior		49,2	0	11,5	7	49,6	37,2	25,1
Central	15,3	0	35,1	0	5,8	0	51,8	25,5
Inferior	4,9	0	0	15,3	9,3	28	26	6,7
Subtotal	20,2	49,2	35,1	26,8	22,1	77,6	115	57,3
Representatividade no total	100%	100%	100%	100%	9%	57%	42%	100%
Extensão das fissuras pré-existentes ao ensaio de ACCT (cm)								
Região	P1 “ferro cabelo”		P2 “fibra PP”		P3 “tela assentamento”		P4 “tela revestimento”	
	Face oposta	Face exposta	Face oposta	Face exposta	Face oposta	Face exposta	Face oposta	Face exposta
Superior	0	0	0	0	55	58	120	0
Central	0	0	0	0	0	0	0	0
Inferior	0	0	0	0	160	0	42	0
Subtotal	0	0	0	0	215	58	162	0
Representatividade no total	0%	0%	0%	0%	91%	43%	58%	0%
Total	20,2	49,2	35,1	26,8	237,1	135,6	277	57,3

Fonte: Elaborada pelo autor

Desta forma percebe-se que as amostras 3 e 4 apresentaram fissuras predominantemente horizontais, anterior à realização dos ensaios de ACCT, na face oposta ao ensaio. O mesmo não aconteceu para as amostras P1 e P2. Tais fissuras preexistentes, observadas nas amostras P3 e P4, ocorreram durante o processo de cura do revestimento em posições ocupadas, durante a execução do revestimento, pelas taliscas, conforme apontado na figura 39. Logo, entende-se que a reposição da argamassa das taliscas possa ter comprometido o revestimento nestes trechos,

manifestando assim o “pré-fissuramento” durante a cura do revestimento na face interna das amostras P3 e P4.

Além disso, observa-se que o grau de fissuração das amostras P1 e P2 foi inferior às amostras P3 e P4, em ambas as faces. Tal fato também pode estar relacionado à superioridade na resistência de tração à flexão e a compressão apresentado na caracterização das argamassas de revestimento das amostras P1 e P2, em relação às amostras P3 e P4.

Figura 42 – Posição das taliscas das amostras P3 e P4 (face exposta ao ensaio)



Fonte: Elaborada pelo autor

4.2 PARTE 2 – TEMPERATURA, VAZÃO E TEMPO DE ASPERSÃO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Esta parte apresenta os resultados obtidos no monitoramento da temperatura e vazão da água de resfriamento.

Segundo Fontenelle, et al. (2017), o monitoramento da temperatura da água tem ação direta na troca de calor por convecção entre a face exposta ao ensaio e a lâmina de água que toca a amostra. Da mesma forma que a vazão da água afeta o coeficiente e a taxa de transmissão do calor.

Na tabela 28 apresentam-se os resultados da temperatura da água, bem como a variação desta nos instantes anterior e posterior ao contato com a amostra.

Tabela 28 – Temperatura da água de resfriamento – fase 2

Ciclos	Amostra 1 (P1)			Amostra 2 (P2)			Amostra 3 (P3)			Amostra 4 (P4)		
	Entrada °C	Saída °C	Variação °C	Entrada °C	Saída °C	Variação °C	Entrada °C	Saída °C	Variação °C	Entrada °C	Saída °C	Variação °C
C1	19,8	56,5	36,7	17,7	50,2	32,5	17,6	52,8	35,2	18,2	49,2	31,0
C2	16,5	53,0	36,5	17,6	62,8	45,2	15,5	55,7	40,2	14,6	60,0	45,4
C3	15,6	48,9	33,3	20,0	56,4	36,4	18,4	61,4	43,0	15,8	61,7	45,9
C4	16,9	62,4	45,5	19,1	56,6	37,5	18,8	60,8	42,0	16,3	63,0	46,7
C5	16,3	64,4	48,1	19,5	63,6	44,1	14,0	60,8	46,8	16,2	55,2	39,0
C6	15,8	51,9	36,1	17,3	61,5	44,2	14,1	63,2	49,1	18,9	63,1	44,2
C7	17,1	56,9	39,8	19,5	60,3	40,8	14,2	63,3	49,1	18,8	64,1	45,3
C8	17,5	58,8	41,3	16,1	51,9	35,8	14,1	63,2	49,1	16,9	62,9	46,0
C9	18,4	60,2	41,8	11,1	58,0	46,9	13,8	62,9	49,1	16,6	62,6	46,0
C10	17,0	59,3	42,3	10,0	54,4	44,4	15,2	61,4	46,2	16,4	61,8	45,4
Média	17,1	57,2	40,1	16,8	57,6	40,8	15,6	60,6	45,0	16,9	60,4	43,5
Desvio Médio	0,89	3,78	3,65	2,63	3,68	4,18	1,62	2,52	3,90	1,06	3,34	3,40

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados apresentados observa-se que os desvios médios de maior relevância ocorreram na temperatura da água de resfriamento (entrada) utilizada na parede 2 e na temperatura da água de saída da parede 1. Além disso, constatou-se que a temperatura média geral da água de entrada foi de 16,6 °C e a temperatura média de saída foi de 58,9 °C. Desta forma a variação média obtida foi de 42,3°C.

Com relação a temperatura de água de entrada monitorada em cada ciclo, observou-se que a mesma atendeu o especificado em ETAG 004 (ETAG, 2013) e ASTM C1185-8 (ASTM, 1999). Onde, conforme tabela 29, estes documentos técnicos, estabelecem que a temperatura da água de resfriamento deve ser de $15 \pm 5^\circ\text{C}$ e $<30^\circ\text{C}$, respectivamente.

Referente ao fluxo e tempo de aspersion d'água monitorados, os valores apontam que o fluxo médio foi de aproximadamente 43 L/(m².min), já o tempo de

aspersão médio foi de aproximadamente 2,5 minutos. Desta forma estes valores diferem acentuadamente dos estabelecidos nos métodos apresentados na tabela 29.

Tabela 29 – Parâmetros estabelecidos para a água aspergida no resfriamento.

Documento	Fluxo	Temp. (°C)	Tempo
ISO 8336	1 L/(m ² . min)	-	2 h 50 min ±5 min
ASTM C1185	≈ 1 L/(m ² . min)	< 30°C	2 h 55 min
ETAG 004	1 L/(m ² . min)	(15 ± 5)°C	1 h

Fonte: Fontenelle, et al. (2017).

Na metodologia, estabelecida para o ensaio de ACCT, da NBR 15575 (ABNT, 2013b) os parâmetros supracitados não são abrangidos.

4.3 PARTE 3 – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Nesta parte apresenta-se os resultados e a discussão dos mesmos nos ensaios para determinação da resistência de aderência à tração do revestimento na face externa da parede, em áreas exposta e não exposta aos ensaios de ACCT.

A tabela 29 apresenta os resultados médios de resistência de aderência à tração obtida em cada parede para área não exposta ao ensaio de ACCT.

Tabela 30 – Resistência de aderência a tração em área não exposta a ACCT.

Amostras	Tensão requerida	Tensão Média Ra: face ã exposta	Umidade	CP's c/ tensão requerida	Aceitação ou rejeição NBR 13528
	(MPa)	(MPa)	(%)	(Unid.)	
P1 “ferro cabelo”	> 0,30	0,29	2,77%	5	Rejeita-se
P2 “fibra pp”	> 0,30	0,37	4,33%	7	Rejeita-se
P3 “tela assentamento”	> 0,30	0,36	1,21%	8	Aceita-se
P4 “tela revestimento”	> 0,30	0,47	4,9 %	10	Aceita-se

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados obtidos, observou-se que o ensaio de determinação da resistência de aderência à tração – DRAT, realizado nas paredes P1 e P2 em área não exposta ao ensaio de ACCT, apresentou número de corpos de prova com resistência mínima requerida inferior ao determinado pela NBR 13528 (ABNT, 2010). O mesmo não aconteceu para a mesma situação nas amostras P3 e P4, onde se obteve número desejado de corpos de prova com resistência superior à mínima.

A tabela 30 apresenta os resultados médios de resistência de aderência à tração obtida em cada parede para área não exposta ao ensaio de ACCT.

Tabela 31 – Resistência de aderência a tração em área exposta a ACCT.

Amostras	Tensão requerida	Tensão Média Ra: face exposta	Umidade	CP's c/ tensão requerida	Aceitação ou rejeição NBR 13528
	(MPa)	(MPa)	(%)	(Unid.)	
P1 “ferro cabelo”	> 0,30	0,25	3,17%	4	Rejeita-se
P2 “fibra pp”	> 0,30	0,35	5,60%	6	Rejeita-se
P3 “tela assentamento”	> 0,30	0,29	2,72%	5	Rejeita-se
P4 “tela revestimento”	> 0,30	0,40	3,86%	8	Aceita-se

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de DRAT realizados em área exposta ao ensaio de ACCT, comparando-os com os ensaios realizados em área não exposta, observou-se um declínio da tensão média na resistência de aderência à tração para as quatro amostras, assim como do número de corpos de prova que atendam a resistência mínima requerida pela norma supracitada.

A partir dos resultados obtidos conclui-se que o efeito de sucessivos ciclos de choque térmico provocou a redução da resistência de aderência à tração dos revestimentos ensaiados. Tal conclusão também foi obtida por Esquivel (2009), onde o autor conclui que os sucessivos choques térmicos combinados com defeitos na interface dos revestimentos resultam na degradação da resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento.

5 CONCLUSÃO

As conclusões deste trabalho são apresentadas neste capítulo com base no referencial teórico e nos resultados obtidos por meio do programa experimental proposto. Este capítulo se divide em duas partes. Na primeira apresentará as considerações finais depois de concluída esta pesquisa e na segunda será proposto sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a influência da ação ao calor e choque térmico no comportamento de quatro amostras de paredes executadas em alvenaria com a inserção de um pilar de concreto em meio a parede. Cada amostra representa uma forma executiva de alvenarias nesta situação, onde tem-se a interface entre materiais diferentes. Para isso, a execução do programa experimental proposto, anteriormente descrito, foi de fundamental importância no atendimento do objetivo desta pesquisa.

Ao final do presente trabalho conclui-se que é de extrema relevância o controle da temperatura da água de resfriamento, assim como da vazão da mesma para padronizar os ensaios realizados. Assim como já estabelecido em normas internacionais, como na ETAG 004 (ETAG, 2013) e na ASTM C1185 (ASTM, 1999).

Com base nos resultados constatados, conclui-se que as amostras apresentaram diferentes deslocamentos de acordo com a tecnologia construtiva adotada. Sendo que para as amostras, onde não há ligação reforçada da alvenaria com o pilar, a expansão na região central frente a ação do calor é claramente maior do que as que contam com tal ligação. Tal comportamento pode ser atribuído à esbeltez da amostra, desta forma quanto maior a esbeltez maior serão os deslocamentos apresentados quando da ação ao calor.

Os resultados constatados na amostra 1 (P1) tiveram influência dos vazamentos de água na etapa de resfriamento, os quais proporcionaram concentração diferencial de umidade na face da amostra. Desta forma, conclui-se que estes comprometeram o desempenho final constatado. Com base nisso, recomenda-se a execução de ensaios futuros sob condições similares às demais amostras para validar os resultados obtidos nesta pesquisa.

Conclui-se que, de maneira geral a amostra 2 (P2) foi a que melhor se comportou sob o efeito dos ensaios de ACCT no quesito da apresentação de fissuras. No entanto, não é possível afirmar que a menor ocorrência de fissuras tenha sido influenciada diretamente pelo reforço utilizado nesta (adição de fibra PP na argamassa de revestimento). Isso porque, na caracterização da argamassa de revestimento, os resultados obtidos nas amostras 1 (P1) e 2 (P2) divergiram substancialmente em relação aos resultados obtidos nas amostras 3 (P3) e 4 (P4). Desta forma atribui-se uma parcela dos resultados às características da argamassa de revestimento, principalmente, no que diz respeito a resistência mecânica destas.

Além disso é importante salientar que as amostras 3 (P3) e 4 (P4) apresentaram elevada quantidade de fissuras pré-existentes à realização dos ensaios de ACCT. Desta forma, conclui-se que tal fato possa ter afetado os resultados obtidos na avaliação das fissuras apresentadas durante os ciclos de ensaio de ACCT nas referidas amostras.

Sobre o atendimento dos critérios estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013) para o ensaio de ACCT, conclui-se que todas as quatro amostras ensaiadas não atenderam por completo os critérios estabelecidos na referida norma, a qual trata de deslocamentos e degradações durante o ensaio. Uma vez que todas as amostras apresentaram fissuras durante o ensaio em face exposta e oposta ao ensaio.

Além disso, conclui-se que os ensaios de ACCT tem ação deletéria na resistência de aderência dos revestimentos analisados, mas que é necessário mais estudo para comprovar as reais causas da perda de resistência, uma vez que não se observou relação entre as manifestações apresentadas e a perda de aderência frente ao ensaio de ACCT.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final deste trabalho, baseado nos resultados obtidos, observou-se a necessidade de realizar mais pesquisas para aprimorar os ensaios realizados e obter resultados com menor número de variáveis, desta forma apresentam-se sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar ensaios onde possa ser controlada a umidade e temperatura ambiente durante a construção, cura e execução de ensaios de ACCT e DRAT.

- Executar ensaios onde seja possível utilizar o mesmo lote de argamassa para todas as amostras.
- Fazer novos ensaios variando as dimensões dos blocos, mas mantendo a espessura da parede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8545**: Execução de Alvenaria sem Função Estrutural de Tijolos e Blocos Cerâmicos. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 13755**. Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **NBR 7200**. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR 13278**. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13279**. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação de resistência à tração na flexão e compressão*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13280**. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13281**. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15259**. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 9778**. *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13528**. *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 13749**. *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação*. 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.

- _____. **NBR 6118**. *Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 13276**. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 15270/1**. *Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **NBR 15270/2**. *Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 2: Métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 2017.
- AGENCE QUALITÉ CONSTRUCTION. **L'étanchéité des façades 1: exigences et moyens**. Paris: EG, 1995. 72p. apud ESQUIVEL, T. (2009). **Avaliação da Influência do Choque Térmico na Aderência dos Revestimentos de Argamassa**. São Paulo. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 262 p.
- ALVES, C. **Com cerâmicas soltando, prédios representam risco a pedestres**. Disponível em: <<http://www.capitalteresina.com.br/noticias/teresina/com-ceramicas-soltando-predios-representam-risco-a-pedestres-51334.html>>. Acesso em 26 de maio de 2017.
- ANTUNES, G. R. **Proposta de avaliação de desempenho de revestimentos de argamassas reforçados com telas metálicas**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.
- ANTUNES, R. P. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 247 p.
- ARCELORMITAL. **Cartilha BelgoRevest**. Disponível em: <<http://belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Belgorevest.aspx>>. Acesso em 05 de jan. de 2018.
- ARNOULT, J., KREMP, V., & MUSEMBI, M.. **Proceeding of the Pan-African Conference on the Preservation and Conservation of Library and Archival Materials**. 1995. Headquarters: University of Virginia.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM C1185-8**: Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat

- Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards. West Conshohocken, ASTM, 1999.
- _____. **ASTM C270**: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. West Conshohocken, ASTM, 2014.
- _____. **ASTM C648-04**: Standard Test Method for Breaking Strength of Ceramic Tile. West Conshohocken, ASTM, 2014.
- BAUER, E. **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília, 2005. (LEM-UnB/Sinduscon-DF, Ed.)
- BAUER, E.; CORTEZ, I. Compósitos à base de fibras sintéticas em argamassas para revestimento na prevenção da fissuração. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4. 2001, Brasília: **Anais do IV SBTA**. Brasília: ANTAC, 2001. p. 89-100.
- BAZANT, Z.; KAPLAN, M. **Concrete at high temperatures : material properties and mathematical models**. Harlow: Longman, 1996. 412 p.
- BENTUR, A.; KOVLER, K. Evaluation of early age cracking characteristics in cementitious systems. **Materials and Structures**, v. 36: n.3 p. 183-190, 2003.
- BENTUR, A., & MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. e-book: Modern Concrete Technology Series Londres, 2007.
- CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação**. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Engenharia de Materiais. Argamassas**. Ed. Ibracon, p. 885-937, São Paulo, 2010.
- CARASEK, H., COSTA, E. B., ALVES, A., & MELO, T. (2008). **Influência da Umidade nas Propriedades dos Revestimentos de Argamassa**. In: Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, 7. 2008, Fortaleza: XII ENTAC. Fortaleza, 2008.
- CARDOSO, F.A. PILEGGI, R.G., JOHN, V.M. Caracterização reológica de argamassas através do método squeeze-flow. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6, 2005. **Anais**, Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 121-143.

- CAVANI, G. d., MORAES, E. P., & BANDUK, R. C. Argamassa para revestimento. **Téchne**, São Paulo, 2005.
- CHAMELETE, A. G. **Armaduras para argamassa armada**. *Esudo técnico*, 2009.
- CHILDS, P., WONG, A.C. L., GOWRIPALAN, N; PENG, G. D. Measurement of the coefficient of thermal expansion of ultra-high strength cementitious composites using fibre optic sensors. **Cement and Concrete Research**, Oxford, v. 37 p. 789-795, 2007
- COBLE, R.L.; KINGERY, W. D. Effect of porosity on thermal stress fracture. **Journal of the American Ceramic Society**. Easton, v. 38, n. 1, p. 33-37, 1955.
- COLLANTES, M. F. Desenvolvimento de um método de ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 8, 2000. **Anais**, Salvador: ANTAC, 2000, v. 2, p. 994-1001.
- CRESCENCIO, R., & BARROS, M. A influência do choque térmico na resistência à tração do revestimento decorativo monocamada. In: Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas, 5, São Paulo, 2003. **Anais**. São Paulo: ANTAC, 2003. p. 631-642). São Paulo: ANTAC.
- DÉTRICHÉ, C., & MASO, J. (1986). Differential hydration in rendering mortars . **Cement and Concrete Research**, Oxford, v.16, p. 429-439, 1986.
- DÉTRICHÉ, C.H., GALLIAS, J.L., GRANDET, J., MASO, J.C. Mouvements d'eau, hydratation et comportement mécanique des mortiers d'enduit. **Matériaux et Constructions**, Paris, v.17, n.100, p. 297-302.1984.
- EKANE, E. B.. **Estudo de fissuração em concreto armado com fibras e armadura convencional**. São Paulo. 1999. *Dissertação (Mestrato) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo*. São Paulo, 1999.
- ESQUIVEL, J., & BARROS, M. **Choque térmico nos revestimentos de argamassa**. 2009. 32p. *Escola Politécnica, Universidade de São Paulo*. São Paulo, 2009.
- ESQUIVEL, T. (2009). **Avaliação da Influência do Choque Térmico na Aderência dos Revestimentos de Argamassa**. São Paulo. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 262 p.
- EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. **ETAG 004**: External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. 2013.

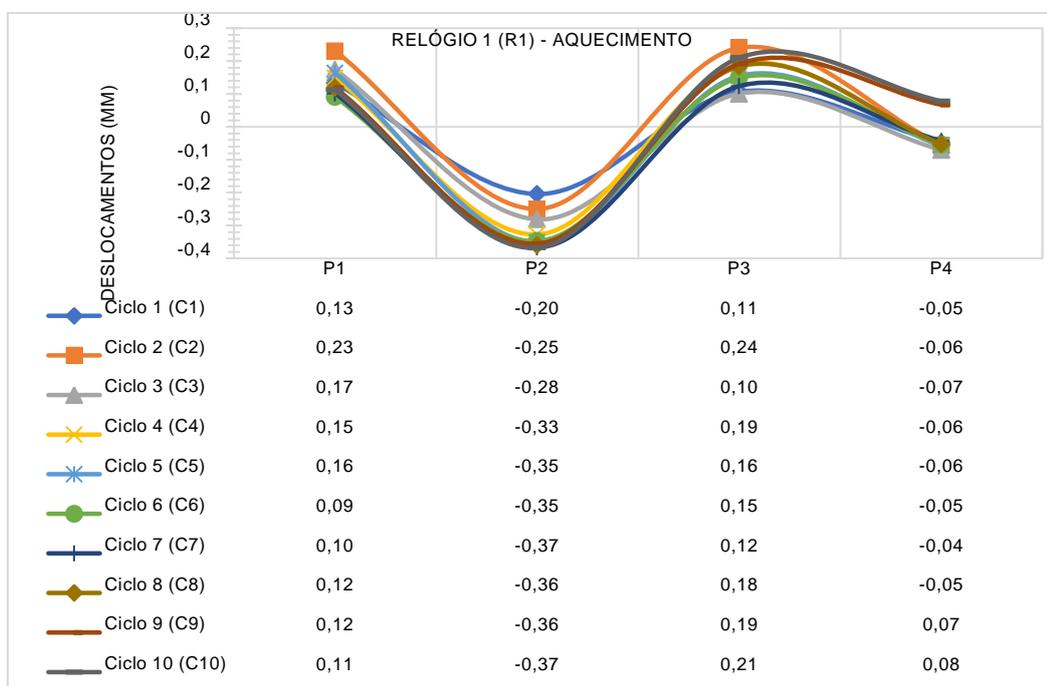
- FIORITO, A. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. Ed. Pini, 2a edição, São Paulo, 2009.
- FONTENELLE, J. H.; MITIEDERI FILHO, C. V.; BRITO, A.; KANACIRO, C.; OLIVEIRA, L. A.; VITTORINO, F. **Proposta de Aprimoramento do Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico na NBR15575**. Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação. 2017.
- GATEWOOD, B. E.. **Thermal stresses**. New York, Toronto e London: McGraw-Hill Book Company. 1957.
- GOLDBERG, R. P. **Revestimientos exteriores con adherencia directa de azulejos**. In: *Manual de diseño técnico*. Bethany: Laticrete International. 1998. 200 p.
- GRIPP, R. A. **A Importância do projeto de revestimento de fachada, para a redução de patologias**. Curso de Especialização em Construção Civil-Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- IGNATIEV, N., & CHATTERJI, S. **Cement & Concrete Composites**. On the mutual compatibility of mortar an concrete in composite members, p. 179-183. 1992.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8336**: Fibre-cement flat sheets - Product specification and test methods. 2017.
- JOHN, V. M., & SATO, N. M. **Durabilidade de Componentes da Construção**. Em C. H.- v. 7, *Construção e Meio Ambiente*. Porto Alegre: Miguel Aloysio Sattler e Fernando Oscar Ruttkay Pereira. p. 21-57. Porto Alegre, 2006.
- JOISEL, A. **Les fissures du ciment: causes et remèdes**. *Ciment et Betons*. Paris, França, 1961.
- KOPSHITZ, P., FRANCINETE Jr., P., CINCOTTO, M. A., & JOHN, V. M. (1997). Estudo da retração e do desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1997, Salvador. **Anais**. II SBTA. Salvador: Antac, 1997. p. 120-132.
- KOVLER, K., FROSTIG, Y. *On the problem of cracking in plaster layers*. **Construction and building materials**. n. 12, p. 251-258, 1998.
- LEWRY, A. J., CREWDSON, L. F. E. Approaches to Testing the Durability of Materials Used in the Construction and Maintenance of Buildings. **Construction and Building Materials**, v. 8, n. 4, p. 211-222, 1994.

- MACIEL, L. L., BARROS, M. M., & SABBATINI, F. H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos.** 1998.
- MEDEIROS, H. **Reforço de fachada com tela metálica.** Fonte: Equipe de Obra, março de 2011. 2011.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Estrutura, propriedades e materiais.** ed. Ibracon. São Paulo, 2008.
- MOSCOVO, Y. F. **Estudo numérico e experimental das tensões atuantes na argamassa colante de fachadas de edificações sob ação da fadiga termo-mecânica.** Publicação E. DM – 008 A/13, p. 142. 2013.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** ed. bookman, 5ª edição, São Paulo, 2015.
- OLIVEIRA, L. A., FONTENELLE, J. H., & MITIDIÉRI FILHO, C. V. **Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico.** Revista Ambiente Construído, p. 53-67. 2014.
- PEREIRA JUNIOR, S. A. **Procedimento executivo de revestimento externo em argamassa.** Belo Horizonte, 2010.
- ROMAN H., R., ALARCON, O., SILVA, D. A., ROMAN L., & SEGAVE, A. (2003). **Desenvolvimento de técnicas de avaliação e critério de desempenho de materiais e componentes da construção.** Normalização e certificação na construção habitacional, p. 110-133. 2003.
- SILVA, A. J.. **Discussão de elementos para reforço de argamassas de revestimento para fachada.** *Congresso APFAC.* Coimbra. 2012.
- SILVA, A. S., AZEVEDO, M. T., MOTA, R. M., & D' ALMEIDA, C. R. Avaliação do desempenho de argamassa de revestimento com uso de fibra de polipropileno na cidade de Salvador/BA. In *Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 5.2003*, São Paulo. **Anais** do V SBTA. São Paulo: ANTAC, 2003.
- SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno - estudo de comportamento reológico e mecânico.** 2006. 175 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- TÉCHNE. **Alvenaria racionalizada.** Disponível em:
<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285542-1.aspx>>. Acesso em 8 jul. de 2017. 2006

- TECIAM. **Telas Soldadas para Fachada.** *Telas Soldadas para Revestimento de Fachadas.* São Paulo, 2013.
- TEC-MACHINE. (2018). <http://www.tecmachinefm.com.br/fibertech-pp-fibra-de-polipropileno>.
- THOMAS, E., MITIDIERI FILHO, C. V., CLETO, F. d., & CARDOSO, F. F. **Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.** *Código de práticas Nº 1.* São Paulo, 2009.
- TIMOSHENKO, S., & GOODIER, J. *Teoria de la elasticidad.* Bilbao, 1968.
- VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação.** Porto, 1998.

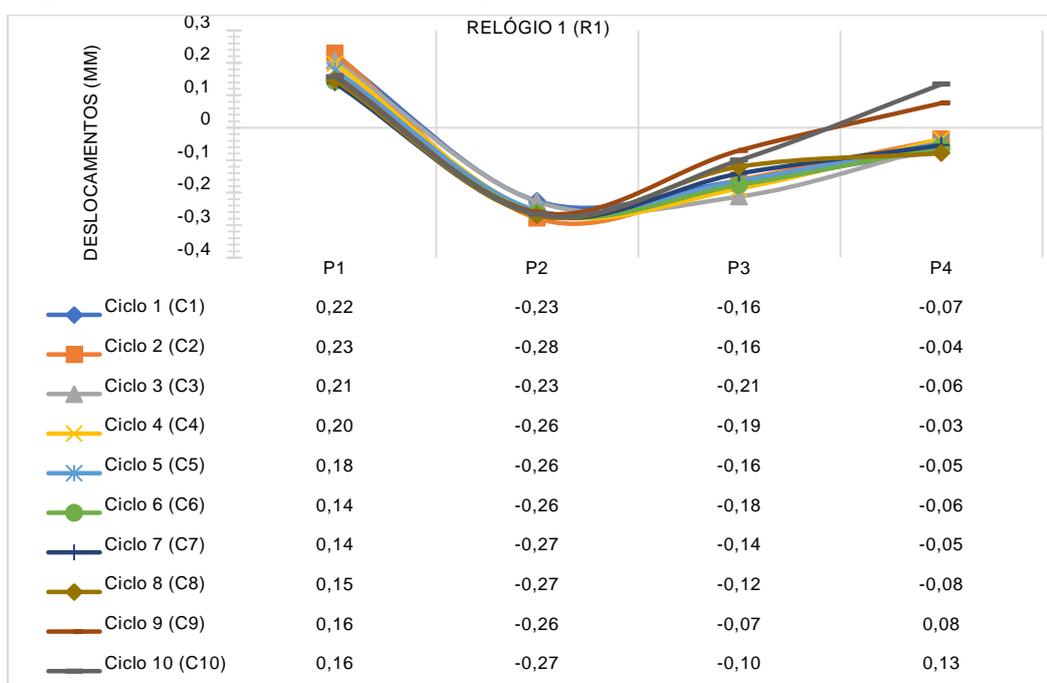
APÊNDICE– RESULTADOS OBTIDOS NOS DESLOCAMENTOS

Figura 43– Deslocamentos relógio 1 (R1) na fase de aquecimento



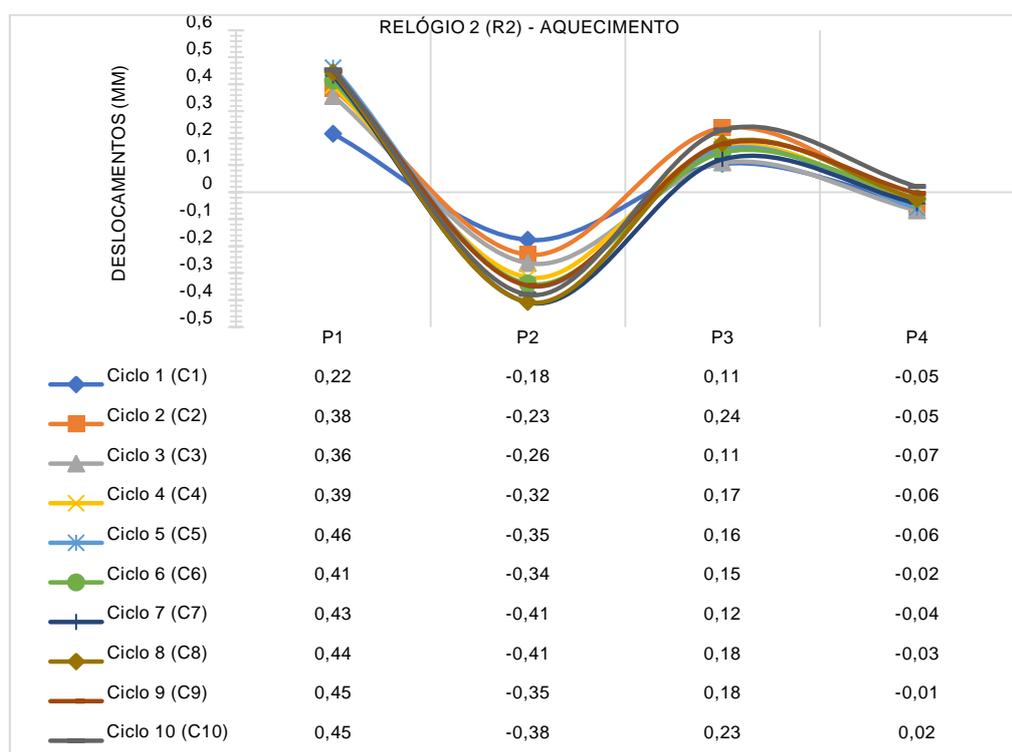
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 44 – Deslocamentos relógio 1 (R1) na fase de resfriamento



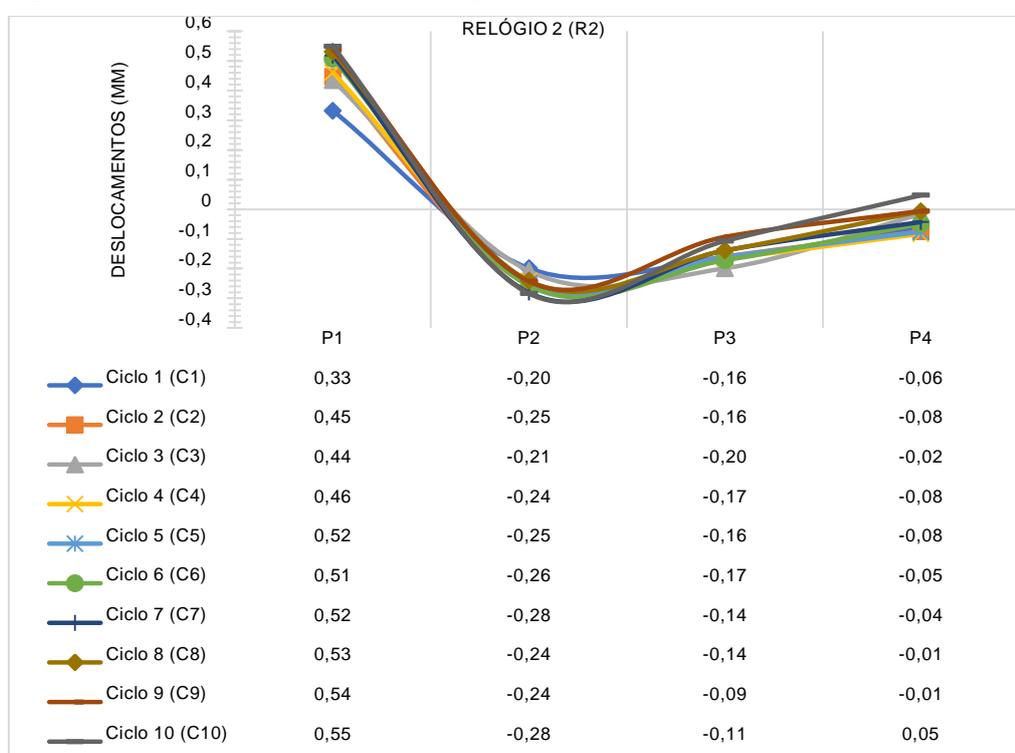
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 45 – Deslocamentos relógio 2 (R2) na fase de aquecimento



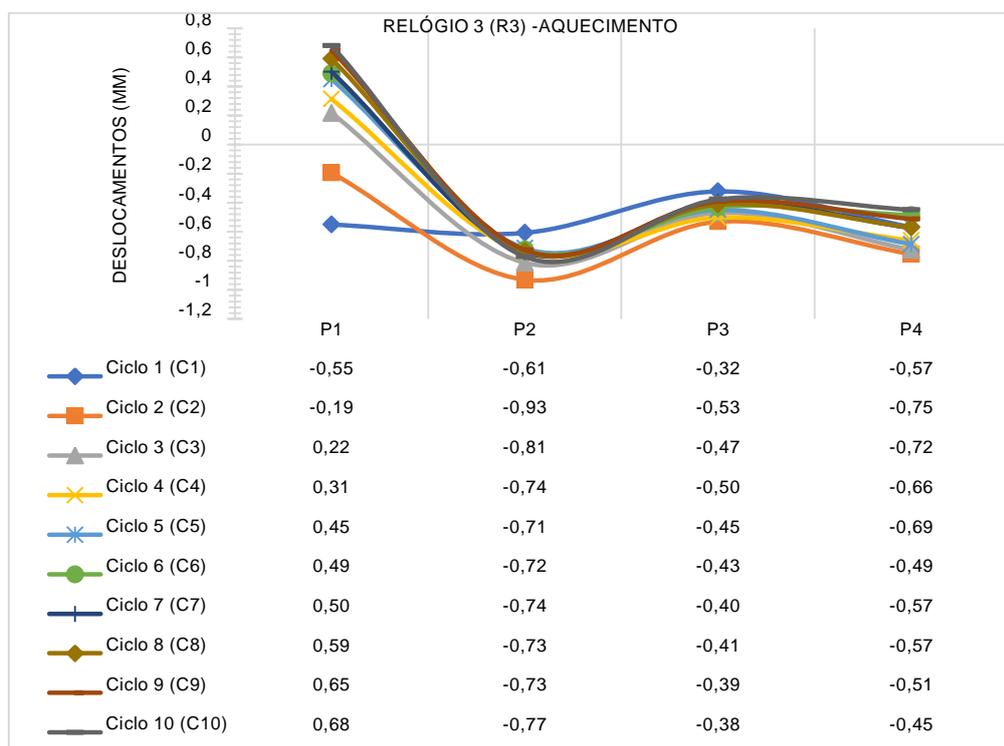
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 46 – Deslocamentos relógio 2 (R2) na fase de resfriamento



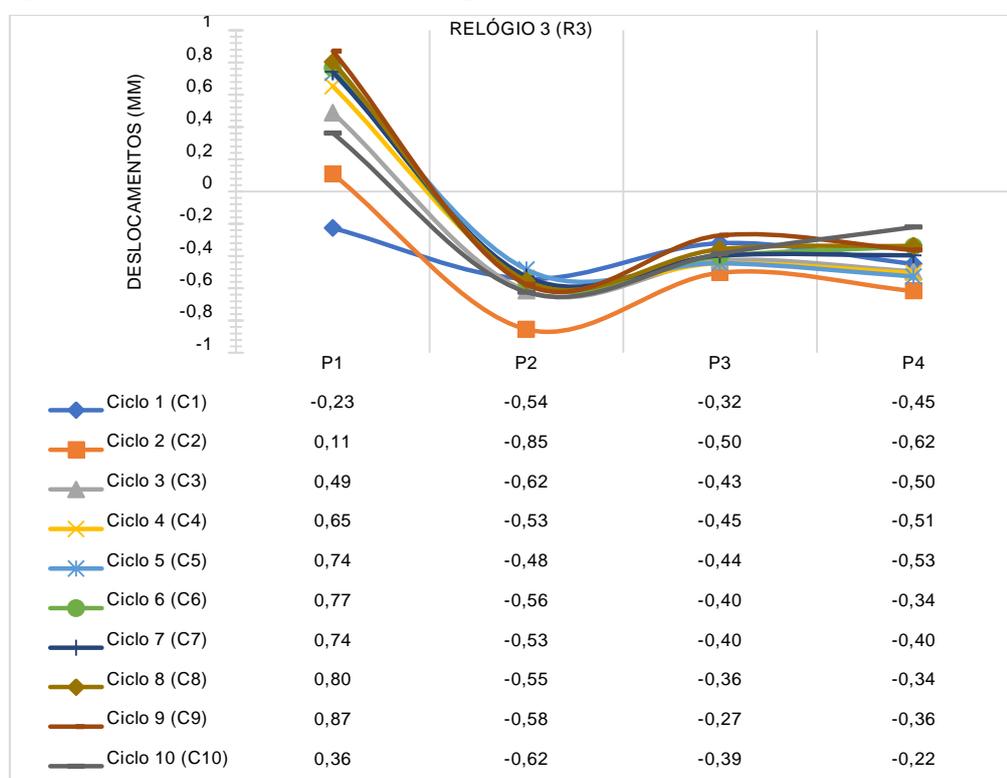
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 47 – Deslocamentos relógio 3 (R3) na fase de aquecimento



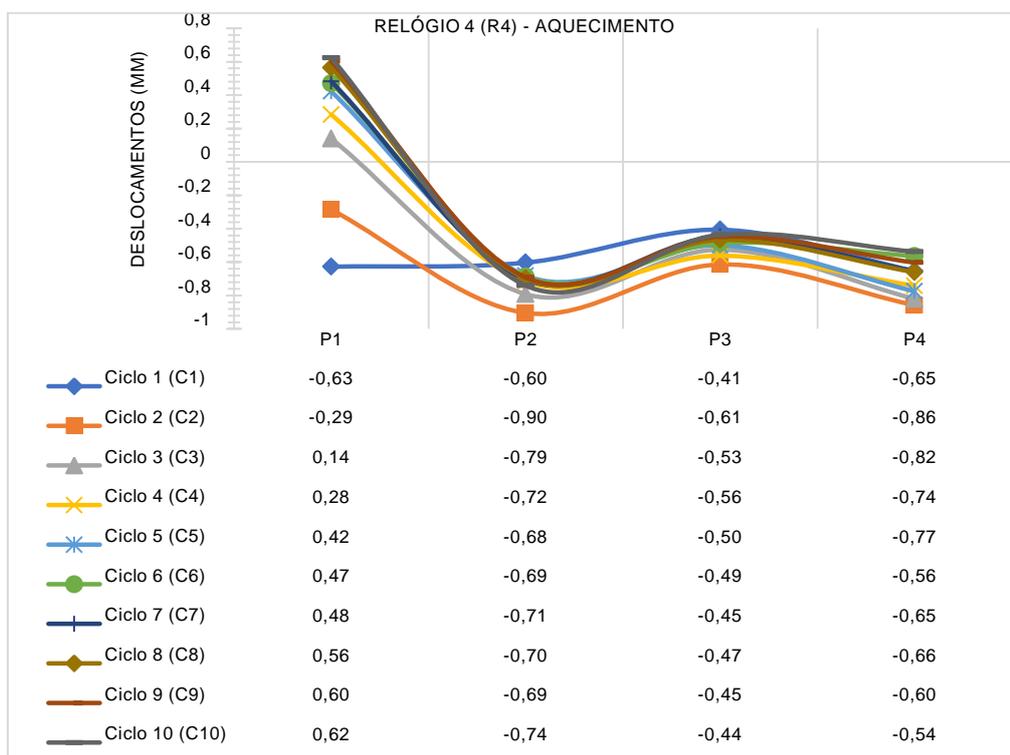
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 48 – Deslocamentos relógio 3 (R3) na fase de resfriamento



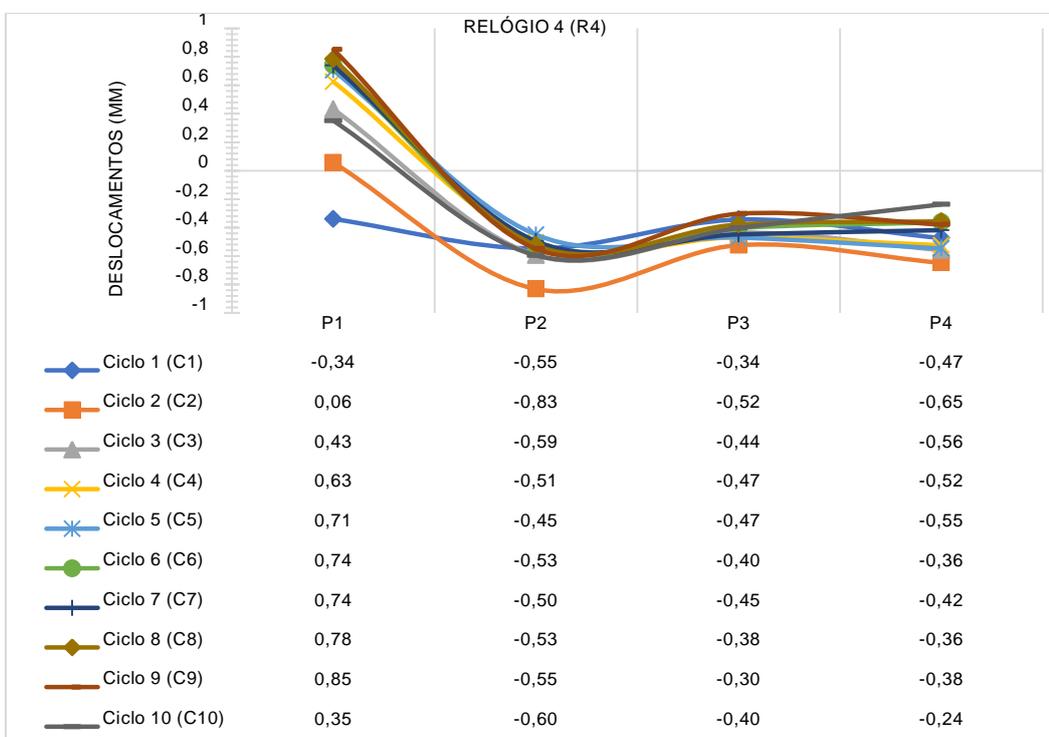
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 49 – Deslocamentos relógio 4 (R4) na fase de aquecimento



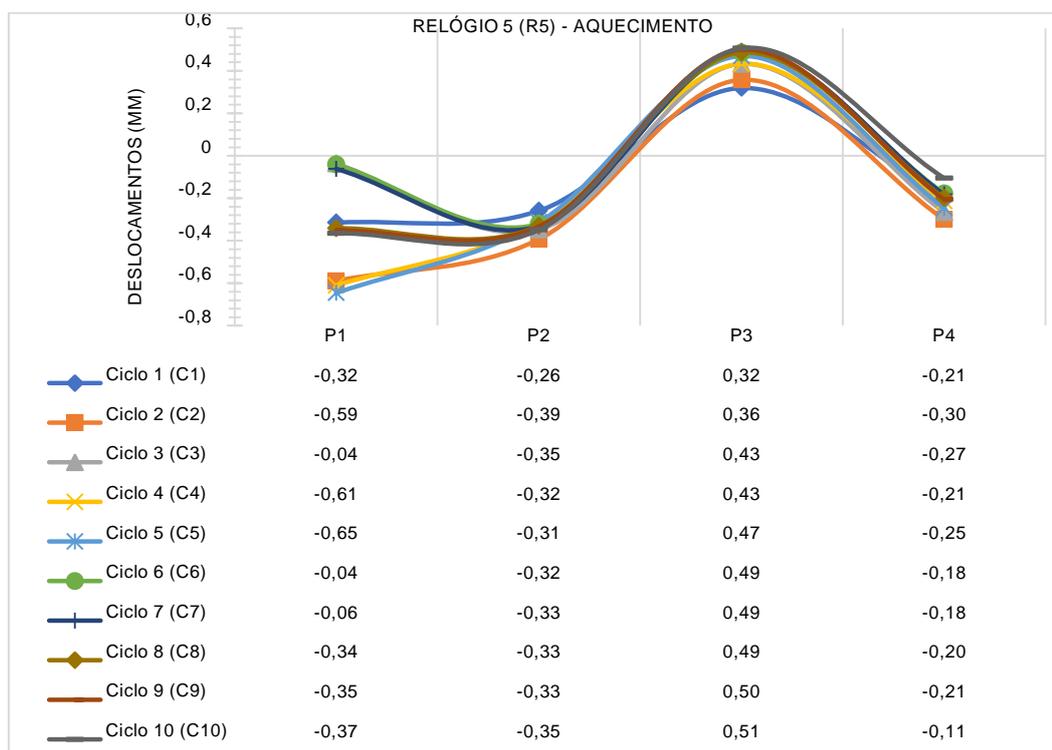
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 50 – Deslocamentos relógio 4 (R4) na fase de resfriamento



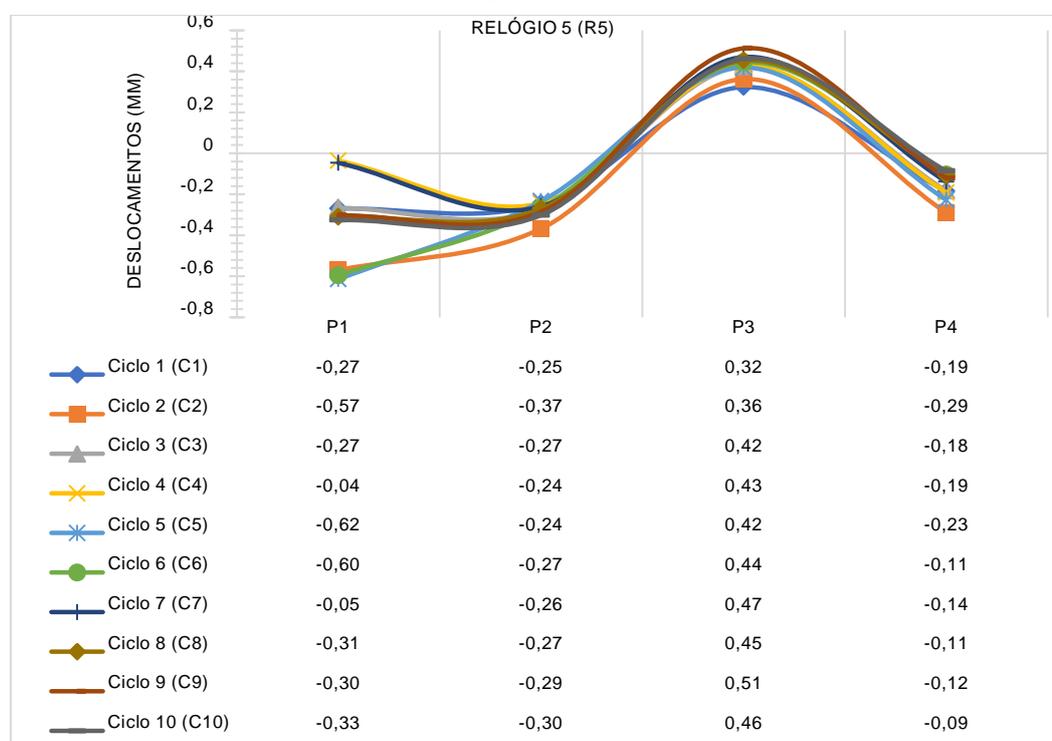
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 51 – Deslocamentos relógio 5 (R5) na fase de aquecimento



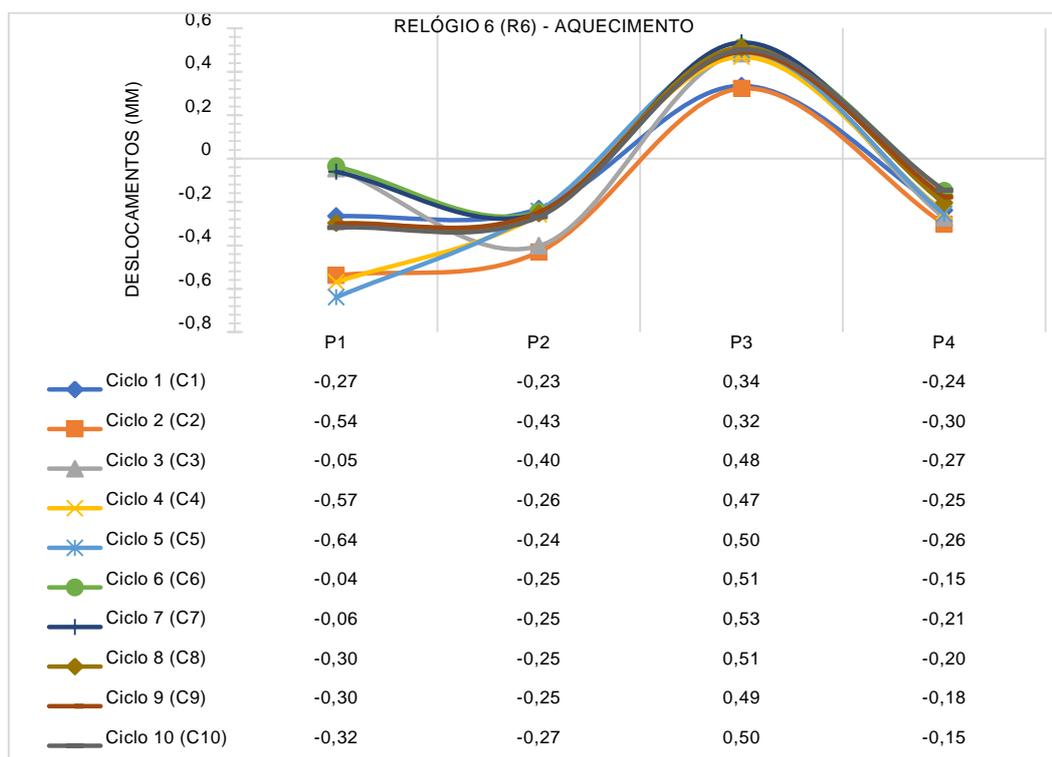
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 52 – Deslocamentos relógio 5 (R5) na fase de resfriamento



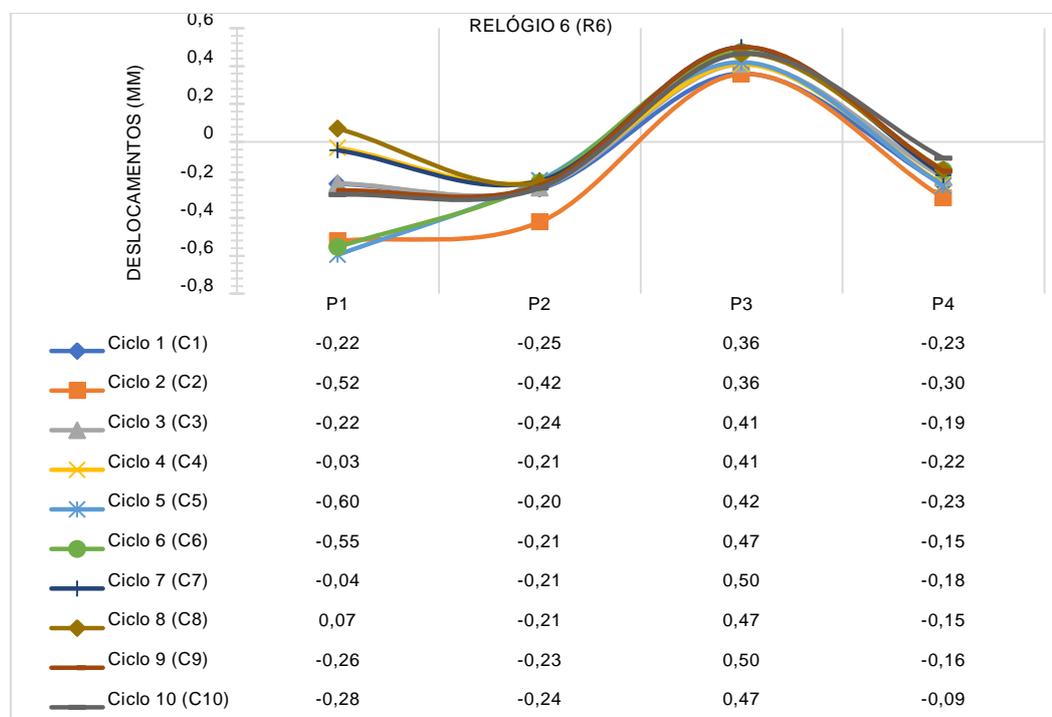
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 53 – Deslocamentos relógio 6 (R6) na fase de aquecimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 54 – Deslocamentos relógio 6 (R6) na fase de resfriamento



Fonte: Elaborado pelo autor