



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO – UFMT
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E CIÊNCIAS CONTÁBEIS – FACC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL
E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO – PROFNIT

Héllyda Sacal de Queiróz Teixeira

PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO

RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO: DESENVOLVIMENTO E
PROTOTIPAGEM DE SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EM SOLO-CIMENTO
AUTOADENSÁVEL

Cuiabá

2023



Hellyda Sacal de Queiróz Teixeira

**RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO: DESENVOLVIMENTO E
PROTOTIPAGEM DE SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EM SOLO-CIMENTO
AUTOADENSÁVEL**

Relatório Técnico apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e
Transferência de Tecnologia para a Inovação –
Ponto Focal Cuiabá

Orientador: Prof. Dr^a Luciane Cleonice Durante

Coorientador: Prof. Dr. Ivan Apolônio Callejas

Cuiabá

2023

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização de retirada do solo, UFMT-Cuiabá.....	18
Figura 2 - Solo extraído para ensaios de caracterização.....	19
Figura 3 - Solo extraído para ensaios de caracterização.....	19
Figura 4 - Areia de RCC na empresa de beneficiamento.	19
Figura 5 - Vista aproximada areia de RCC.	19
Figura 6 - Microfibra de vidro.....	22
Figura 7 – Macrofibra de vidro.....	22
Figura 8 - Fluxograma com procedimentos normativos para o solo e areia de RCC.....	23
Figura 9 – Confeção da mistura.....	25
Figura 10 - Adição da macrofibra de vidro	25
Figura 11 - Mistura após a homogeneização.....	26
Figura 12 - Protocolo dos ensaios para caracterização da mistura.....	27
Figura 13 - Enchimento do Cone de Abrams.....	28
Figura 14 - Segundos antes da desmoldagem.....	28
Figura 15 - Amostra após desmoldagem	28
Figura 16 - Medição da altura central da amostra.....	28
Figura 17 - Cone de Abrams normatizado e reduzido.....	29
Figura 18 - Desenho esquemático, cone de Abrams normatizado e reduzido.....	29
Figura 19 - Ensaio de espalhamento utilizando o mini cone de Abrams.....	29
Figura 20 - Espalhamento da mistura após a retirada do cone.....	29
Figura 21 - Minutos antes de realizar o ensaio de escoamento no anel J.....	30
Figura 22 - Amostra após a desmoldagem com o anel J no centro.....	30
Figura 23 - Prensa hidráulica servo-controlada capacidade de 1000 KN.....	31
Figura 24 - Corpo de prova após a compressão na prensa.....	31
Figura 25 - Corpos de prova após a desmoldagem.....	31
Figura 26 - Corpo de prova após rompimento axial.....	31
Figura 27 - Corpos de prova na balança hidrostática.....	32
Figura 28 - Corpo de prova imerso em água.....	32
Figura 29 - Amostras com lâmina de água de 5 mm de altura	33
Figura 30 - Amostras com 3h de contato com a base em água.....	33
Figura 31 - Amostras preparadas para as medições de variação dimensional.....	34
.Figura 32 - Equipamento utilizado para medição da variação dimensional.....	34
Figura 33 - Local de construção do protótipo.....	35
Figura 34 - Requadro para o contrapiso.....	36
Figura 35 - Armação do contrapiso.....	36
Figura 36 - Colocação dos materiais na betoneira.....	36
Figura 37 - Preenchimento do contrapiso.....	36
Figura 38 - Contrapiso em solo-cimento autoadensável.....	37
Figura 39 - Textura do contrapiso ainda fresco.....	37

Figura 40 - Fixação dos vergalhões de vibra de vidro.....	39
Figura 41 - Vergalhões fixados no contrapiso.....	39
Figura 42 - Início da montagem das fôrmas.....	39
Figura 43 - Montagem das fôrmas das paredes.....	39
Figura 44 - Produção das misturas nas três betoneiras.....	40
Figura 45 - Colocação das misturas na caçamba da retroescavadeira.....	40
Figura 46 - Transporte vertical das misturas na retroescavadeira.....	40
Figura 47 - Finalização do preenchimento das formas.....	40
Figura 48 - Ensaio de mini cone de Abrams.....	59
Figura 49 - Diâmetro de espalhamento.....	59
Figura 50 - Equipamentos utilizados na execução.....	61
Figura 51 - Operador de betoneira.....	61
Figura 52 - Desforma fachada lateral direita.....	63
Figura 53 - Aplicação de cura química.....	63
Figura 54 - Fachada lateral esquerda.....	63
Figura 55 - Falhas de preenchimento.....	63
Figura 56 - Preenchimento das falhas.....	64
Figura 57 - Preenchimento com colher de pedreiro.....	64
Figura 58 - Fachada posterior com patologia.....	64
Figura 59 - Patologia na fachada posterior.....	64
Figura 60 - Superfície irregular.....	65
Figura 61 - Trecho da parede desalinhada.....	65
Figura 62 - Aplicação da cura química e desmoldagem das fôrmas.....	65
Figura 63 - Aplicação da cura química para controle da saída de água.....	65
Figura 64 - Fachada lateral esquerda.....	66
Figura 65 - Fissuras F17 e F18.....	66
Figura 66 - Vista externa, parede frontal.....	66
Figura 67 - Vista externa, parede lateral direita.....	66
Figura 68 - Vista externa, parede posterior.....	66
Figura 69 - Vista externa, parede lateral esquerda.....	66
Figura 70 - Vista interna, parede frontal.....	67
Figura 71 - Vista interna, parede lateral direita.....	67
Figura 72 - Vista interna, parede posterior.....	67
Figura 73 - Vista interna, parede lateral esquerda.....	67
Figura 74 - Fachada frontal, vista interna.....	69
Figura 75 - Mofo e bolor, parede interna.....	69
Figura 76 - Fachada frontal com armação exposta.....	70
Figura 77 - Armação exposta próxima a porta.....	70
Figura 78 - Tratamento de fissuras, fachadas frontal e lateral direita.....	70
Figura 79 - Aplicação de selador acrílico, fachada lateral esquerda.....	70
Figura 80 - Fachada frontal finalizada.....	71
Figura 81 - Fachada lateral direita finalizada.....	71



Figura 82 - Fachada posterior finalizada.	71
Figura 83 - Fachada lateral esquerda finalizada.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados técnicos do cimento.....	20
Quadro 2 - Dados técnicos do superplastificante.	20
Quadro 3 - Dados técnicos, fibra de vidro.....	21
Quadro 4 - Classes de espalhamento.	23
Quadro 5 - Classes de viscosidade plástica aparente t500.....	23
Quadro 6 - Classes de índice de estabilidade visual.....	23
Quadro 7 - Classes de habilidade passante pelo Anel J.....	23
Quadro 8 - Requisitos para emprego de materiais em parede monolítica de solo-cimento.	23
Quadro 9 - Resumo dos parâmetros de aceitabilidade da mistura em estudo.	23
Quadro 9 - Ensaio realizado no estado endurecido.	34
Quadro 10 - Resultados dos ensaios de caracterização do solo.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Traço de SCAA desenvolvido por Simioni (2019).	17
Tabela 2 - Traço de SCAA adaptado de Simioni (2019).....	17
Tabela 3 - Percentuais dos materiais utilizados nas misturas do estudoterciário.	24
Tabela 4 - Resultados dos ensaios de caracterização do solo.....	41
Tabela 5 - Resultados dos ensaios de caracterização da areia de RCC.	43
Tabela 6 - Resultado ensaio de espalhamento.	45
Tabela 7 - Resultados dos ensaios no estado fresco	46
Tabela 8 - Classificação da habilidade passante das misturas.....	47
Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.	48
Tabela 10 - Resultados do ensaio de resistência à compressão diametral.	49
Tabela 11 - Resultado do ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica.	50
Tabela 12 - Resultados ensaio de capilaridade.	52
Tabela 13 - Valores médios da variação dimensional.	53
Tabela 14 - Valores médios da variação de massa.	54
Tabela 15 - Traço MV01 escolhido para execução das paredes.....	57
Tabela 16 - Consumo dos materiais por m ³ , traço MV01.	58
Tabela 17 - Relações obtidas a partir do consumo dos materiais do traço MV01.	59
Tabela 18 - Verificação de consistência realizada em algumas amostras do protótipo.	60
Tabela 19 - Resultados do ensaio de compressão realizados nos corpos de prova moldados durante a execução do protótipo.....	60
Tabela 20 - Dados obtidos na execução do protótipo.....	61
Tabela 21 - Classificação das fissuras indicadas no mapeamento das paredes do protótipo segundo a espessura e comprimento.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do solo	41
Gráfico 2 - Curva granulométrica areia de RCC.	43
Gráfico 3 - Resultado do ensaio de compressão axial para as três idades.....	43
Gráfico 4 - Resultado do ensaio de absorção de água	43
Gráfico 5 - Resultados ensaio de capilaridade.....	43
Gráfico 6 - Dimensional média ao longo do tempo.	43
Gráfico 7 - Resultado do ensaio de compressão axial para as três idades.....	47
Gráfico 8 - Resultado do ensaio de compressão diametral para as três idades.	47
Gráfico 9 - Resultado do ensaio de absorção de água	47
Gráfico 10 - Resultados ensaio de capilaridade.....	47
Gráfico 11 - Dimensional média ao longo do tempo.....	47
Gráfico 12 - Valores médios da variação de massa.....	47
Gráfico 13 - Constituintes do traço, em porcentagem da massa total.	56
Gráfico 14 - Constituintes do traço, em porcentagem da massa total.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/c: Relação água/cimento

CAA: Concreto Autoadensável

CSTB: Centre Scientifique Technique du Batiment

FORTEC: Fórum Nacional de Gestores de Inovação e Transferência de Tecnologia

IP: Índice de Plasticidade

IEV: Índice de Estabilidade Visual

IFMT: Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

LL: Limite de Liquidez

LP: Limite de Plasticidade

MPa: Mega Pascal

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

RCC: Resíduo de Construção Civil

SCCA: Solo-cimento Autoadensável

SVV: Sistema de Vedação Vertical

SP: Superplastificante

SPC: Sobre o peso do cimento

SPS: Sobre o peso do solo

SPM: Sobre o peso da mistura

UFMT: Universidade Federal de Mato Grosso

PBQPH: Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

PROFNIT: Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação

SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO.....	12
2.	OBJETIVO	13
3.	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS NORMATIVOS	13
4.	METODOLOGIA.....	16
4.1.	PROPOSIÇÃO DE ARTEFATO PARA RESOLVER O PROBLEMA	16
4.2.	DEFINIÇÃO DE MATERIAIS.....	18
4.2.1.	Solo.....	18
4.2.2.	Areia de Resíduo de Construção Civil (RCC).....	19
4.2.3.	Cimento.....	19
4.2.4.	Aditivo	20
4.2.5.	Fibra.....	21
4.2.6.	Hexametafosfato de sódio.....	22
4.2.7.	Água.....	22
4.3.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	22
4.4.	ESTUDO DE DOSAGEM DAS MISTURAS	23
4.5.	CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS NO ESTADO FRESCO	27
4.5.1	Ensaio de Espalhamento - Cone de Abrams convencional e adaptado.....	27
4.5.2	Ensaio de Escoamento - Anel J	30
4.6.	CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS NO ESTADO ENDURECIDO	30
4.6.1	Ensaio de Compressão Axial	30
4.6.2	Ensaio de Absorção de água, Índice de Vazios e Massa Específica	32
4.6.3	Ensaio de Absorção por Capilaridade.....	32
4.6.4	Ensaio de Variação Dimensional.....	33
4.7.	PROJETO DO ARTEFATO SELECIONADO.....	34
4.8.	DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO SELECIONADO	34
4.9.	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	40
5	RESULTADOS	41
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	41
5.2.	CARACTERIZAÇÃO DA AREIA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	43
5.3.	ESTUDO DE DOSAGEM DAS MISTURAS	44
5.3.1	Caracterização no Estado Fresco	44
5.3.1.1	<i>Ensaio de Espalhamento – Cone de Abrams convencional e adaptado</i>	<i>44</i>
5.3.2	Caracterização no Estado Endurecido	47
5.3.2.1	<i>Ensaio de Resistência à Compressão</i>	<i>47</i>

5.3.2.2	<i>Ensaio de Absorção de água, Índice de vazios e Massa específica</i>	50
5.3.2.3	<i>Absorção por Capilaridade</i>	51
5.3.2.4	<i>Determinação da variação dimensional</i>	52
5.3.2.5	<i>Correlação entre índice de vazios e resistência à compressão</i>	55
5.4.	PROJETO DO ARTEFATO.....	56
5.5.	DEFINIÇÃO DO TRAÇO DAS PAREDES.....	56
5.6.	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO SELECIONADO.....	59
5.6.1	Controle tecnológico das misturas do SCAA	59
5.6.2	Registro do processo de confecção do SCAA	61
5.6.3	Monitoramento e mapeamento patológico das paredes de SCAA	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
7	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A – Planta baixa e planta de cobertura do protótipo.....	80
	APÊNDICE B – Corte AA e BB do protótipo	81
	APÊNDICE C – Fachadas frontal, lateral e posterior do protótipo.....	82

1. APRESENTAÇÃO

Apresenta-se neste relatório o produto técnico-tecnológico intitulado “Desenvolvimento e Prototipagem de Sistema de Vedação Vertical em Solo-cimento Autoadensável”, desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação – PROFNIT.

Conforme regulamento do PROFNIT vigente no momento de envio da proposta de TCC, os produtos técnico-tecnológicos entregáveis são:

- ✓ Elaboração de relatórios técnicos conclusivos: manuais de operação técnica, protocolo experimental ou de adequação tecnológica; e,
- ✓ Protótipos para desenvolvimento de equipamentos e produtos específicos.

Logo, este relatório trata do registro do desenvolvimento do traço do material solo-cimento autoadensável (SCAA), com adição de resíduo de construção civil, para fins de aplicação em sistema de vedação vertical (SVV).

Considerando que o sistema construtivo de painéis monolíticos em solo-cimento autoadensável não se enquadra como os tradicionais sistemas compactados em terra, já que não exige energia de compactação e, tampouco, como seu similar em concreto autoadensável, do qual difere em sua composição, apresenta-se então como um sistema inovador.

Entende-se como produto inovador, material, componente, elemento, subsistema ou sistema construtivo que não seja objeto de Norma Brasileira elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ou entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro (Resolução nº 01/92). Enquadram-se aqui, também, os processos construtivos não consagrados, não normalizados, mesmo que empreguem materiais e componentes normalizados.

O sistema em solo-cimento autoadensável em painéis monolíticos não é uma tecnologia construtiva constante do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT), no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQPH), com Documento de Avaliação Técnica (DATEC) estabelecida e, com isso, não tem seu desempenho construtivo determinado por meio dos ensaios normatizados, o que confirma caráter inovador ao presente estudo. A inovação ainda é ampliada pois, nessa proposta, incorpora-se Resíduos de Construção Civil em sua constituição.

Ainda com o olhar sobre a inovação, Telli e Libreloto (2014) mapearam 27 tecnologias construtivas aplicáveis às HIS brasileiras estando os blocos de solo-cimento entre elas. Porém, o SCAA não foi relacionado, destacando o caráter inovador desta proposta.

2. OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo registrar o desenvolvimento do protótipo de um sistema construtivo de vedações verticais (SVV) de edificações, em solo-cimento autoadensável (SCAA), a partir de um protocolo para a definição do traço composto por solo, areia de resíduo de construção civil, cimento, aditivo superplastificante e fibras, realizando prova de conceito por meio da avaliação do desempenho mecânico e de durabilidade do material tendo como referência os ensaios aplicados ao concreto autoadensável;

3. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS NORMATIVOS

Devido à ausência de normativas brasileiras que estabeleçam parâmetros para a construção e controle tecnológico de paredes monolíticas de solo-cimento autoadensável, optou-se para este estudo, o uso de normas técnicas voltadas para o concreto autoadensável, argamassas e paredes monolíticas de solo-cimento compactado, tal como realizado por Martins (2014), Alcântara et. al. (2017) e Simioni (2019).

De acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2017), o concreto autoadensável pode-se enquadrar em diferentes classificações no estado fresco em função de sua aplicação. O valor alcançado no espalhamento indica a fluidez do concreto autoadensável (CAA) e sua habilidade de preenchimento das formas em fluxo livre. Em virtude da ausência de norma prescritiva para SCAA, subsidiariamente adotou-se como referência a classificação SF 2 (Quadro 1), que segundo a NBR 15823-1 (ABNT, 2017), é adequada para a maioria das aplicações correntes, como vigas, pilares e paredes, este último foco desta pesquisa.

Quadro 1 - Classes de espalhamento.

Classe	Espalhamento (mm)	Método de ensaio
SF 1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2
SF 2	660 a 750	
SF 3	760 a 850	

Fonte: Adaptado da NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

A viscosidade plástica aparente do concreto pode ser obtida através de dois métodos de ensaio, sendo eles o Método do cone de Abrams que fornece o t500, e o Método do funil V. Neste estudo, utilizou-se a medida fornecida pelo t500 como referência. Segundo a NBR 15823-1 (ABNT, 2017), este índice é importante quando for exigido um bom acabamento superficial

da peça (necessário para as paredes, pois elas irão ficar acabadas após a confecção) ou quando a armadura apresentar uma densidade expressiva. Adotou-se como referência a classificação VS 1 (Quadro 2).

Quadro 2 - Classes de viscosidade plástica aparente t500.

Classe	t500 (s)	Método de ensaio
VS 1	≤ 2	ABNT NBR 15823-2
VS 2	≥ 2	

Fonte: Adaptado da BNR 15823-1 (ABNT, 2017).

O índice de estabilidade visual (IEV) avalia o aspecto visual do concreto após o espalhamento da mistura com a retirada do cone de Abrams. É uma avaliação qualitativa da estabilidade do concreto autoadensável. Nessa pesquisa adotou-se como referência a classificação IEV 1 (Quadro 3).

Quadro 3 - Classes de índice de estabilidade visual.

Classe	IEV	Método de ensaio
IEV 1	Sem evidência de segregação ou exsudação	ABNT NBR 15823-2
IEV 2	Sem evidência de segregação e leve exsudação	
IEV 3	Presença de pequena auréola de argamassa (≤ 10mm) e/ou empilhamento de agregados no centro do concreto	
IEV 4	Segregação claramente evidenciada pela concentração de agregados no centro do concreto ou pela dispersão de argamassa nas extremidades (auréola de argamassa > 10mm)	

Fonte: Adaptada da NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

A habilidade passante examina a capacidade do concreto autoadensável de fluir dentro da fôrma, passando entre os obstáculos sem a obstrução do fluxo ou segregação da mistura (ABNT NBR 15823-1, 2017). A classificação deste critério é obtida através da realização dos ensaios do Anel J, Caixa L e Caixa U. Para este estudo foi adotado o método do Anel J por se tratar de uma mistura com grãos menores que 4,75mm e também devido o vislumbre da confecção de um protótipo com armação de baixa densidade. Para tanto, adotou-se como referência a classificação PJ 2, que é adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm (Quadro 4).

Quadro 4 - Classes de habilidade passante pelo Anel J.

Classe	Anel J	Método de ensaio
PJ 1	0 a 25 mm com 16 barras de aço	ABNT NBR 15823-3
PJ 2	25 a 50 mm com 16 barras de aço	

Fonte: Adaptada da NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

A resistência à compressão é um dos critérios exigidos na norma de Requisitos dos Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural – NBR 13553 (ABNT, 2012b). O enquadramento do compósito neste critério é obtido através do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos compactados com o soquete de Próctor e ensaiados em uma prensa de compressão axial. A norma exige uma resistência à compressão aos 7 dias maior ou igual à 1,0 Mpa. Este regulamento ainda trata sobre o ensaio de absorção de água aos 7 dias e estipula que o resultado seja menor ou igual a 20%. O Quadro 5 descreve dois dos requisitos apresentados na norma.

Quadro 5 - Requisitos para emprego de materiais em parede monolítica de solo-cimento.

Requisito	Exigência	Método de ensaio
Resistência à compressão simples (7 dias)	1 MPa	ABNT NBR 13553
Absorção de água (7 dias)	≤ 20%	

Fonte: Adaptada da NBR 13553 (ABNT, 2012).

Logo, por meio das normativas citadas anteriormente, elaborou-se o Quadro 6 com o resumo dos parâmetros adotados neste estudo. classe de espalhamento SF-2, com diâmetro de espalhamento variando entre 660 mm a 750 mm, indicada para a maioria das aplicações correntes; viscosidade plástica aparente VS-1, com tempo de espalhamento ≤ 2 s indicado para concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre; habilidade passante pelo anel J PJ 2 indicado para elementos estruturais com espaçamento de armadura de 80mm a 100mm; resistência à compressão superior a 1,0 MPa aos 7 dias de cura e nível de absorção de água inferior a 20%.

Quadro 6 - Resumo dos parâmetros de aceitabilidade da mistura em estudo.

Requisito	Exigência	Norma Técnica
Diâmetro de espalhamento	660 a 750mm	NBR 15823-1/2017
Viscosidade plástica aparente – t500	≤ 2 s	
Habilidade passante – anel J	PJ 2	
Índice de estabilidade visual	IEV 1	
Resistência à compressão simples (7 dias)	1,0 MPa	NBR 13553/2012
Absorção de água (7 dias)	≤ 20%	

Fonte: Autora (2022).

Para atingir tal objetivo, foi definido um protocolo de ensaios a ser seguido para caracterização física e mecânica das misturas no estado fresco e endurecido. Os ensaios no estado fresco têm o objetivo de verificar a fluidez, viscosidade e coesão necessárias à mistura. Já os ensaios no estado endurecido visam a verificação da resistência à compressão, absorção de água e propriedades de variação dimensional.

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi conduzida a partir do método Design Science Research (DSR). Segundo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), o “Design Science Research é um método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição”. De acordo com essa metodologia de pesquisa, o objetivo central é a solução de problemas, que é iniciado logo no começo do estudo a partir do entendimento do problema o qual pretende-se resolver. Deste modo, essa abordagem torna-se apropriada para pesquisas que pretendem projetar ou desenvolver algo novo através da criação de artefatos e desenvolvimento de soluções para problemas existentes.

4.1. PROPOSIÇÃO DE ARTEFATO PARA RESOLVER O PROBLEMA

O artefato proposto consiste em um sistema de vedação vertical que se utilize do processo construtivo de concreto autoadensável. Para tanto, propõe-se substituir parte dos agregados de sua composição por solo e areia de RCC, juntamente com adições que possam manter a mistura autoadensável e com propriedades físico-mecânicas compatíveis com a aplicação em sistemas de vedação vertical, além de apresentar desempenho admissível em relação à retração.

Parte-se do traço de melhor desempenho mecânico pesquisado por Simioni (2019), composto por 75% de solo, 25% de areia de RCC, 20% de cimento (calculado sobre a soma da massa dos secos, solo e areia), fator água/cimento de 1,62 e 1,20% de aditivo superplastificante (Tabela 1).

Tabela 1 - Traço de SCAA desenvolvido por Simioni (2019).

Traço	Solo	Areia RCC	Cimento	Aditivo	Fator a/c	Resistência 28 dias
1:5	75%	25%	20%	1,20%	1,62	3,56

Fonte: Adaptado de Simioni (2019).

Com o objetivo de enquadrar a mistura de solo-cimento autoadensável à nomenclatura descritiva utilizada na dosagem do concreto, reformulou-se a escrita do traço a partir da massa do cimento (Tabela 2). Logo, o traço da mistura de solo-cimento utilizado nesta pesquisa pode ser escrito da seguinte forma, 1: 1,25: 3,75 (cimento, areia de RCC, solo). Para este trabalho, tomou-se a decisão de adicionar fibra à mistura, com vistas ao controle da retração e fissuração do painel monolítico de SCAA, tendo como escolha a micro e macrofibra de vidro, amplamente utilizadas no concreto autoadensável. Também se optou por trabalhar com um acréscimo de aditivo superplastificante (SP) no percentual de 1,80 sobre a massa do cimento. A quantidade de água de amassamento foi ajustada durante a execução das misturas, chegando até ao fator de água/cimento de 2,50.

Tabela 2 - Traço de SCAA adaptado de Simioni (2019).

Traço	Solo	Areia RCC	Cimento	SP	Fator a/c	Microfibra	Macrofibra
1: 1,25: 3,75	7,50 kg	2,50 kg	2,00 kg	1,80%	2,20 a 2,50	0,07%	0,27 a 0,82%

Fonte: Autora (2022).

A seguir, abordam-se os materiais utilizados na pesquisa, bem como a caracterização de cada um deles através de ensaios laboratoriais. Também se apresenta a metodologia adotada na dosagem da mistura juntamente com a definição dos parâmetros de aceitabilidade, o projeto e desenvolvimento do artefato/protótipo.

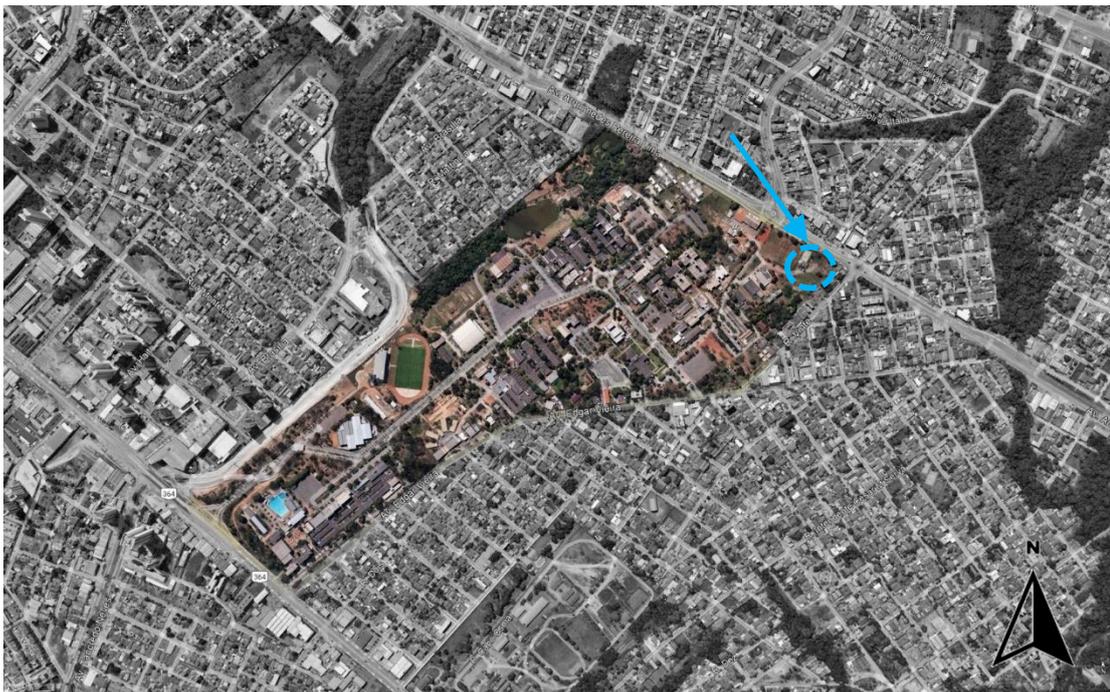
4.2. DEFINIÇÃO DE MATERIAIS

4.2.1. Solo

Para este estudo foi escolhido o Latossolo Vermelho Amarelo, pois esta pesquisa se trata de uma continuação da pesquisa desenvolvida por Simioni (2019). Logo, prezou-se pela utilização do mesmo material de estudo da autora.

O solo foi coletado no terreno da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), nas proximidades da “Casa do estudante”. A coleta foi realizada por retroescavadeira com profundidade aproximada de 1,5 metros. Após a coleta, o material foi disposto em lonas na Sala de Amostras de Solos do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Mato Grosso para a secagem. Após esta etapa o solo foi destorroado e passado na peneira de 4,75mm para a retirada de impurezas e dos grãos maiores, com o objetivo de tornar a granulometria mais próxima da granulometria usada por Simioni (2019). A Figura 1 indica o local de extração, já as Figuras 2 e 3 mostram o solo extraído para a caracterização.

Figura 1 - Localização de retirada do solo, UFMT-Cuiabá.



Fonte: Adaptada do Google Earth (2021).

Figura 2 - Solo extraído para ensaios de caracterização.



Fonte: Autora (2021).

Figura 3 - Solo extraído para ensaios de caracterização



Fonte: Autora (2021).

4.2.2. Areia de Resíduo de Construção Civil (RCC)

A areia de RCC foi coletada na empresa Eco Ambiental localizada na MT 010, km 07, Zona rural, Cuiabá-MT. A areia é obtida pelo peneiramento do material bruto que é trazido por empresas de “bota-fora”. Essa separação da origem a vários produtos, dentre eles está o aterro, rachão, pedrisco, areia, brita e cavaco, sendo todos eles classificados como materiais reciclados. A Figura 4 apresenta a areia no local de coleta e a Figura 5, uma vista aproximada da areia utilizada.

Figura 4 - Areia de RCC na empresa de beneficiamento.



Fonte: Autora (2021).

Figura 5 - Vista aproximada areia de RCC.



Fonte: Autora (2021).

4.2.3. Cimento

O cimento utilizado foi o CP II-Z 32, marca Itaú da fabricante Votorantim, que apresenta as características de secagem rápida e alta resistência. Este cimento é composto de 71 a 94% da mistura de clínquer e gesso e de 6% a 14% de pozolana e pode ser encontrado no mercado da construção civil. A NBR 16697 estipula requisitos para o Cimento Portland. Segundo esta

norma, o CP II-Z 32 deve apresentar alguns requisitos físicos e mecânicos, como, percentual ≥ 10 de resíduo na peneira de 75 μm , tempo de início de pega ≥ 60 minutos, expansibilidade a quente ≤ 5 minutos e resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias $\geq 15, 25$ e 40 MPa respectivamente (ABNT, 2018a).

Quadro 7 - Dados técnicos do cimento.

Função	Ligante hidráulico
Estado físico	Sólido, pó cinza
Clínquer + gesso	71 a 94%
Pozolana	6 a 14%
Material carbonático	0 a 15%
Ph em solução aquosa	$12 \leq \text{pH} \leq 14$
Massa Específica Aparente	0,9 a 1,2 g/cm ³ a 20°C
Massa Específica Absoluta	$2,8 \leq \gamma_r \leq 3,2$ g/cm ³ a 20°C
Solubilidade em Água	até 1,5g/l a 20°C

Fonte: Adaptado de Votorantim cimentos.

4.2.4. Aditivo

O aditivo utilizado MaterGlenium® 51 caracteriza-se como um superplastificante de pega normal composto por policarboxilatos. Seu uso é recomendado para a fabricação de todos os tipos de concreto, principalmente os concretos que possuem a necessidade de alta redução de água de amassamento e aumento do tempo de trabalhabilidade. O Quadro 8 descreve as informações técnicas do aditivo em questão.

Quadro 8 - Dados técnicos do superplastificante.

Função	Aditivo superplastificante de 3ª geração para concreto
Base química	Éter policarboxílico
Aspecto	líquido
Cor	Branco turvo
pH	5 a 7
Densidade (g/cm ³)	1,067 a 1,107
Viscosidade (cps)	< 150
Ação secundária	Redutor de água
Solubilidade em água	total
Dosagem recomendada	Deve ser utilizado nas dosagens de 0,2 a 1,0% sobre o peso do cimento

Fonte: Adaptado de BASF, the chemical company.

4.2.5. Fibra

A escolha da utilização de fibras de vidro partiu do conhecimento do uso desta adição em misturas de concreto (MENDES, ARREBOLA, MACHADO, 2022). Segundo o fabricante das fibras utilizadas neste estudo, elas auxiliam no controle de fissuras, desempenho à flexão, tenacidade e impacto. Esse tipo de fibra apresenta uma dispersão rápida e baixo impacto na trabalhabilidade da mistura (OEWNS CORNING, 2021).

Utilizaram-se macrofibras de vidro com comprimento de 36mm e diâmetro de 0,54mm, e microfibras de vidro com comprimento de 12mm e diâmetro de 14 μm . De acordo com Owens Corning (2021), as macrofibras podem ser utilizadas para o combate à retração, bem como reforço estrutural em substituição de aço. Para isso, a taxa de adição da macrofibra precisa estar entre 5kg/m³ e 15kg/m³. Uma característica particular da microfibra de vidro diz respeito ao auxílio no controle da condutibilidade térmica em locais quentes e secos.

Quadro 9 - Dados técnicos, fibra de vidro.

Material	Vidro resistente a álcalis	Vidro resistente a álcalis
Comprimento da fibra	36mm	12mm
Diâmetro equivalente	0,54mm	14 μm
Filamento	multifilamento	monofilamento
Módulo de elasticidade	72 GPa	72 GPa
Resistência à tração	>1.000 MPa	>1.000 MPa
Condutividade elétrica	Muito baixa	Muito baixa
Resistência química	Muito alta	Muito alta
Densidade específica	2,68 g/cm ³	2,68 g/cm ³
Ponto de amolecimento	860°C	860°C

Fonte: Adaptado de Owens Corning, 2021.

Figura 6 - Microfibra de vidro.



Fonte: Marcelo Martins (2023).

Figura 7 – Macrofibra de vidro.



Fonte: Marcelo Martins (2023).

4.2.6. Hexametáfosfato de sódio

O hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)⁶, foi utilizado para auxiliar na manutenção da plasticidade da mistura. Autores como Pinel et al. (2017) e Moevus et al. (2016) utilizaram-se desta adição para a diminuição da água de amassamento e controle do tempo de trabalho em misturas compostas por solo. Este material também é amplamente utilizado na indústria alimentícias, por isso, sua compra foi realizada nesta mesma indústria.

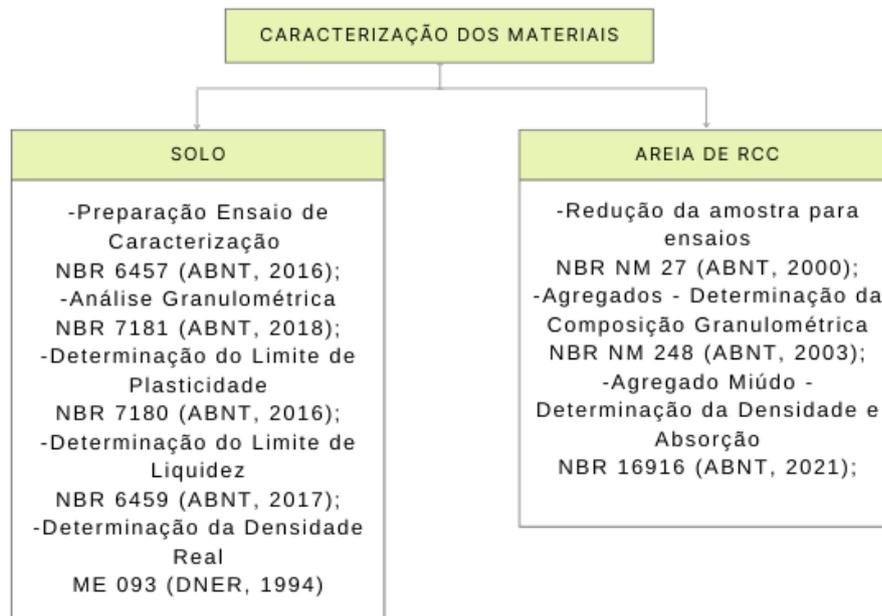
4.2.7. Água

A água utilizada foi fornecida pela Companhia de Água e Esgoto de Mato Grosso (Iguá Águas Cuiabá) e classifica-se como potável.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Mato Grosso e no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Mato Grosso, Campus Várzea Grande, por meio da execução de vários ensaios laboratoriais para a posterior elaboração da dosagem do traço da mistura. A Figura 8 apresenta o fluxograma com os ensaios especificados para a caracterização do solo e da areia.

Figura 8 - Fluxograma com procedimentos normativos para o solo e areia de RCC.



Fonte: Autora (2022).

4.4. ESTUDO DE DOSAGEM DAS MISTURAS

Antes de dar início a dosagem das misturas com a adição de fibra de vidro, foi realizada a confecção de misturas com o traço desenvolvido por SIMIONI (2019), além de outras misturas com adição de fibra de polipropileno que não atingiram o desempenho esperado no estudo (durante a pesquisa essas etapas foram denominadas de *Estudo Primário* e *Estudo Secundário*). Assim, este relatório trata do recorte do traço doravante denominado *Estudo Terciário*.

Foi constatado, através do ensaio de Espalhamento (ABNT NBR 15823-2/2017), que o fator água/cimento estipulado por SIMIONI (2019) era insuficiente para que a mistura atingisse a trabalhabilidade requerida de classificação SF 2, com espalhamento de 660mm a 750mm. Por isso, foi estipulado um novo fator a/c e também um novo percentual de adição do superplastificante nas misturas.

Definido o fator água/cimento necessário para que a mistura apresentasse características de autoadensabilidade, partiu-se para a identificação da porcentagem ótima de incorporação da fibra de vidro, estabelecida como aquela que apresentasse a menor retração do composto, maior resistência mecânica, menor absorção de água e índices reológicos condizentes com o comportamento autoadensável.

Foram confeccionadas quatro misturas com diferentes porcentagens de micro e macrofibras de vidro com vistas à mitigação da retração e ao melhoramento estrutural do

compósito, além de uma mistura de referência sem nenhuma adição de fibra (REF01) produzida no *Estudo Secundário* e utilizada aqui com fins de comparação. O percentual da microfibras de vidro foi o mesmo para todas as elas, mantendo-se em 0,07% do peso total da mistura, o que corresponde a 1,2kg/m³. Já a macrofibra foi adicionada em três percentuais, a saber, 0,27%, 0,54%, 0,82%, que correspondem respectivamente a 5kg/m³, 10kg/m³ e 15kg/m³. Os percentuais das adições foram baseados nas informações técnicas do fabricante, o qual recomenda 600g de microfibras por 1m³ de concreto para o combate de trincas da retração plástica e de 5 a 15kg de macrofibra por 1m³ de concreto para o reforço estrutural (OWENS CORNING, 2021).

Tabela 3 - Percentuais dos materiais utilizados nas misturas do estudoterciário.

Mistura	Cimento (kg)	Solo (kg)	Areia RCC (kg)	Aditivo sp (%) s.p.c	(NaPO ³) ⁶ (%) s.p.s	Microfibras vidro (%) s.p.m	Macrofibras vidro (%) s.p.m	Fator a/c (%)
REF01	2,00	7,50	2,50	1,8	0,5	-	-	2,20
MV00	2,00	7,50	2,50	1,8	0,5	0,07%	-	2,30
MV01	2,00	7,50	2,50	1,8	0,5	0,07%	0,27%	2,30
MV02	2,00	7,50	2,50	1,8	0,5	0,07%	0,54%	2,35
MV03	2,00	7,50	2,50	1,8	0,5	0,07%	0,82%	2,35

Fonte: Autora (2022).

As misturas foram executadas mantendo-se o percentual de aditivo fixo em 1,8% (em relação à massa do cimento) e um fator água/cimento muito próximo entre as misturas. Para definir o percentual ideal de água em cada mistura, foi retirado o *slump flow test* a cada acréscimo de água, partindo-se do fator a/c de 2,00. Quando o espalhamento não era atingido eram realizados mais acréscimos de água até que o resultado do slump flow chegasse ao menos próximo do intervalo estabelecido.

Com vistas a manter a condição plástica da mistura por um tempo maior, foi realizada a adição do hexametáfosfato de sódio (NaPO³)⁶, baseada nas adições deste produto em misturas de solo autoadensáveis já realizada por outros autores como Pinel et al. (2017) e Moevus et al. (2016).

O procedimento de produção das misturas foi realizado conforme as etapas abaixo descritas:

a) as misturas foram confeccionadas num carrinho de mão com mistura manual para que as macrofibras de vidro não sofressem qualquer tipo de quebra durante a homogeneização;

b) primeiramente foram adicionados os materiais secos: solo, areia de RCC, cimento e hexametáfosfato de sódio, sendo efetuada a homogeneização dos materiais de forma manual com uma colher de pedreiro por 2 minutos;

c) após a homogeneização dos secos foi adicionada a água em três etapas. Inicialmente foi despejada metade do volume necessário, realizando-se então a homogeneização da mistura por 2 minutos. Passado esse tempo foi adicionada mais $\frac{2}{3}$ do restante da água, iniciando-se nova homogeneização por 1 minuto;

d) na sequência foram adicionadas as fibras as quais foram homogeneizadas por 1 minuto na mistura. Finalizada a homogeneização dos materiais foi acrescentado o restante da água juntamente com o superplastificante diluído na porção, realizando-se a última homogeneização da mistura por mais 2 minutos;

e) logo após a última homogeneização foi realizado o preenchimento do Cone de Abrams e do mini Cone de Abrams com posterior regularização da superfície e limpeza do entorno do equipamento. Segundos após, o cone foi erguido perpendicularmente ao piso com o posterior escoamento do material em regime de escoamento livre sobre a placa. Tomou-se duas medidas do diâmetro, além da altura do centro da circunferência;

f) atingido os parâmetros necessários, prosseguia-se para o preenchimento de outro Cone de Abrams para o ensaio de Escoamento do Anel J. Após o seu preenchimento o cone foi erguido perpendicularmente ao piso com posterior escoamento do material entre as barras do anel. Tomou-se duas medidas do diâmetro, além da altura do centro da circunferência.

As Figuras 9, 10 e 11 mostram respectivamente a confecção da mistura, a adição da macrofibra de vidro e a mistura já homogeneizada com os dois tipos de fibra.

Figura 9 – Confecção da mistura.



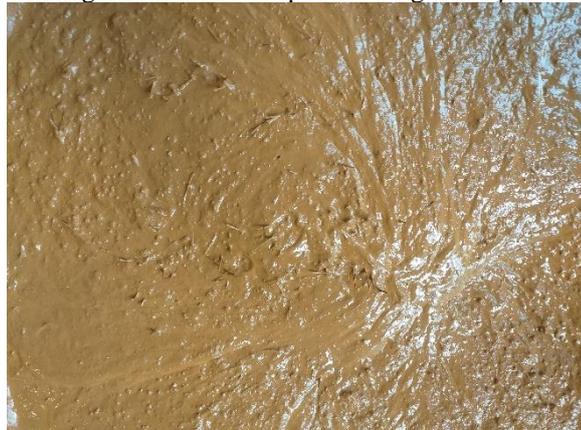
Fonte: Autora (2022).

Figura 10 - Adição da macrofibra de vidro



Fonte: Autora (2022).

Figura 11 - Mistura após a homogeneização.



Fonte: Autora (2022).

Para cada mistura foram produzidos 20 corpos de prova que foram submetidos aos ensaios no estado endurecido: resistência mecânica, absorção de água, absorção por capilaridade, índice de vazios e retração da argamassa. Ao total foram moldados 80 corpos de prova com dimensões de 50x100mm e 12 corpos de prova com dimensões de 285x25x25mm (Quadro 10).

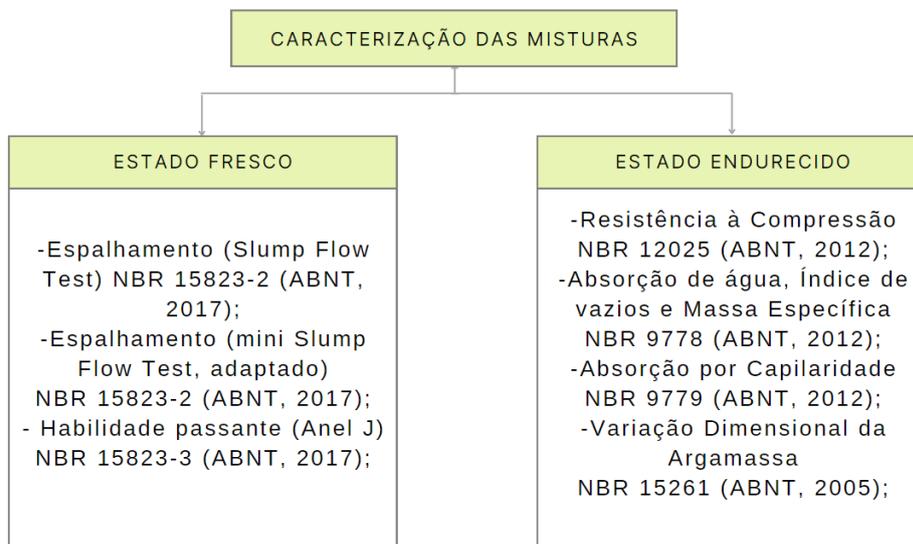
Quadro 10 - Ensaio realizados no estado endurecido.

Norma ABNT	Ensaio Realizado	Corpos de prova por Mistura
NBR 5739/2018	Ensaio de Compressão	12
NBR 9778/2019	Ensaio de Absorção de água, Índice de Vazios e Massa Específica	3
NBR 9779/2012	Ensaio de Absorção por Capilaridade	3
NBR 15261/2005	Ensaio de Variação Dimensional	3

Fonte: Autora (2022).

A Figura 12 ilustra os ensaios executados no estado fresco e endurecido para cada mistura. Os resultados desta dosagem constam no Capítulo 5 (Resultados).

Figura 12 - Protocolo dos ensaios para caracterização da mistura.



Fonte: Autora (2022).

4.5. CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS NO ESTADO FRESCO

4.5.1 Ensaios de Espalhamento - Cone de Abrams convencional e adaptado

Após a completa homogeneização das misturas e seguindo as orientações da NBR 15823-2 (ABNT, 2017) foi realizado o Ensaio de Espalhamento - Cone de Abrams que determina o espalhamento, tempo de escoamento e índice de estabilidade visual através do Método do cone de Abrams. Para este ensaio é necessário o uso dos seguintes equipamentos: superfície regularizada com marcação do centro e de duas circunferências com diâmetro de 200 mm e 500 mm; Cone de Abrams; régua metálica; trena; balde; colher de pedreiro e cronômetro.

Antes de dar início ao ensaio, a base e os utensílios devem ser umedecidos internamente. Logo após, o cone deve ser preenchido continuamente com a mistura com o auxílio de um balde. Minutos após, a superfície deve ser regularizada com o auxílio da colher de pedreiro e realizada a desmoldagem. No momento da desmoldagem, deve-se disparar o cronômetro, que só deve ser interrompido quando a amostra atingir o raio de 500 mm marcado na superfície. Com o auxílio de régua e trena devem ser realizadas duas medições perpendiculares no diâmetro de espalhamento, juntamente com a altura do ponto central da massa.

As Figuras 13 e 14 ilustram o enchimento do cone de Abrams com posterior suspensão do equipamento para o espalhamento da mistura em queda livre. As Figuras 15 e 16 ilustram a circunferência resultante do espalhamento da mistura com posterior medição da altura central da amostra.

Figura 13 - Enchimento do Cone de Abrams.



Fonte: Autora (2022).

Figura 14 - Segundos antes da desmoldagem.



Fonte: Autora (2022).

Figura 15 - Amostra após desmoldagem



Fonte: Autora (2022).

Figura 16 - Medição da altura central da amostra.



Fonte: Autora (2022).

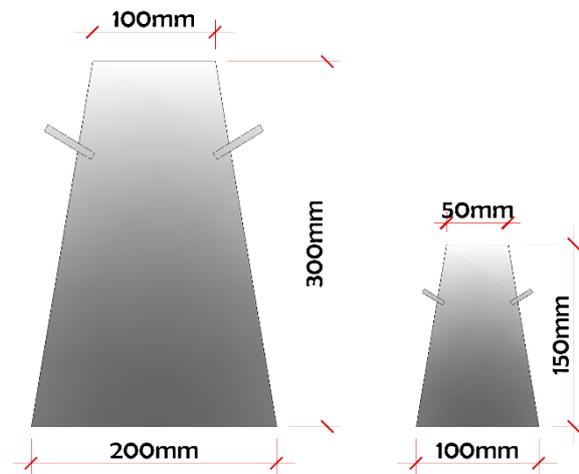
O Ensaio de Espalhamento adaptado – mini Cone de Abrams, seguiu as mesmas recomendações da NBR 15823-2 (ABNT, 2017), contudo o cone de Abrams foi adaptado por um cone com dimensões reduzidas na razão 2:1, ou seja, pela metade - a abertura maior do cone foi reduzida para 100mm de diâmetro, a menor 50mm e 150mm de altura (Figuras 17 e 18).

Figura 17 - Cone de Abrams normatizado e reduzido.



Fonte: Autora (2022).

Figura 18 - Desenho esquemático, cone de Abrams normatizado e reduzido.



Fonte: Autora (2022).

As Figuras 19 e 20 ilustram o processo de realização do ensaio de espalhamento com o mini cone de Abrams. Semelhantemente ao ensaio convencional, o tronco de cone foi preenchido com a mistura e segundos após ele foi sacado perpendicularmente à base. Logo após esse procedimento foi realizada a verificação dos diâmetros de abertura.

Figura 19 - Ensaio de espalhamento utilizando o mini cone de Abrams.



Fonte: Autora (2022).

Figura 20 - Espalhamento da mistura após a retirada do cone.



Fonte: Autora (2022).

Os resultados da caracterização no estado fresco e a compatibilização entre os ensaios de Espalhamento convencional e reduzido serão apresentados no Capítulo 5 (Resultados).

4.5.2 Ensaio de Escoamento - Anel J

O Ensaio de Escoamento - Anel J foi executado na sequência e seguiu as orientações da NBR 15823-3 (ABNT, 2017), que determina a habilidade passante através do Método do anel J. Para este ensaio, foi necessário o uso dos seguintes equipamentos: superfície regularizada com marcação do centro e de uma circunferência com diâmetro de 200 mm; molde; régua metálica; trena; balde; colher de pedreiro e anel J.

Antes de dar início ao ensaio, a base e os utensílios devem ser umedecidos internamente. Logo após, o anel J deve ser posicionado no centro da base juntamente com o molde que foi centralizado na marcação de 200 mm. O molde deve ser preenchido continuamente com a mistura com o auxílio de um balde. Minutos após a superfície deve ser regularizada com o auxílio da colher de pedreiro e realizada a desmoldagem. Após o completo repouso da amostra e com o auxílio de uma régua e trena devem ser realizadas duas medições perpendiculares no diâmetro de espalhamento, juntamente com a altura do ponto central da massa.

A Figura 21 ilustra o cone de Abrams já preenchido com a mistura e com o anel J o circundado. Já a figura 22 ilustra a mistura espalhada com o anel J no centro.

Figura 21 - Minutos antes de realizar o ensaio de escoamento no anel J.



Fonte: Autora (2022).

Figura 22 - Amostra após a desmoldagem com o anel J no centro.



Fonte: Autora (2022).

4.6. CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS NO ESTADO ENDURECIDO

4.6.1 Ensaio de Compressão Axial

O Ensaio de Compressão Axial seguiu as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018b), por meio do ensaio de compressão mecânica nas idades de 7, 14 e 28 dias. Foram utilizados

corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Para o rompimento, foi utilizada uma prensa hidráulica servo-controlada da marca Intermetric, modelo iM Unique 2123, com capacidade de carga de 1000KN. Os resultados foram apresentados pela média da resistência de três corpos de prova para cada mistura em cada idade.

As Figuras 23 e 24 ilustram o modelo da prensa utilizada bem como o momento de compressão axial do corpo de prova. Já as Figuras 25 e 26 mostram os corpos de prova desmoldados e um deles rompido.

Figura 23 - Prensa hidráulica servo-controlada capacidade de 1000 KN.



Fonte: Autora (2022).

Figura 24 - Corpo de prova após a compressão na prensa.



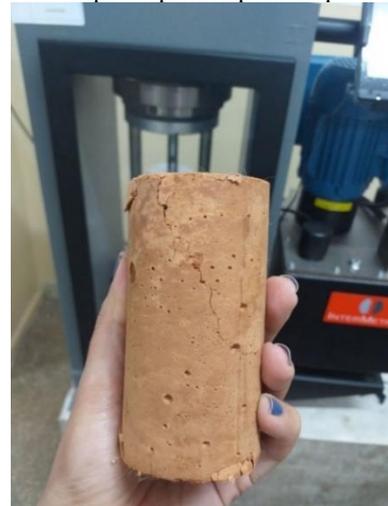
Fonte: Autora (2022).

Figura 25 - Corpos de prova após a desmoldagem.



Fonte: Autora (2022).

Figura 26 - Corpo de prova após rompimento axial.



Fonte: Autora (2022).

4.6.2 Ensaio de Absorção de água, Índice de Vazios e Massa Específica

O Ensaio de Absorção de água, Índice de Vazios e Massa Específica deve ser executado seguindo as recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2019) em corpos de prova cilíndricos com dimensões de 50mm de diâmetro e 100 mm de altura. Utilizou-se de uma balança hidrostática com precisão de 0,01 gramas, recipiente e cesto de imersão e estufa. O ensaio foi executado aos 28 dias de vida dos corpos de prova, que foram levados à estufa por 72 horas a uma temperatura de 105°C para a determinação da massa seca (ms). Após a pesagem as amostras foram imergidas em água à temperatura ambiente durante 72 horas, contudo não foram fervidas por cinco horas conforme recomendação da norma. Passado este tempo, as amostras foram pesadas em balança hidrostática com o auxílio de um cesto para a determinação de sua massa saturada imersa em água. Ao final da pesagem, as amostras foram enxutas com um pano úmido para determinação de sua massa saturada. As Figuras 27 e 28 ilustram a pesagem hidrostática do corpo de prova.

Figura 27 - Corpos de prova na balança hidrostática.



Fonte: Autora (2022).

Figura 28 - Corpo de prova imerso em água.



Fonte: Autora (2022).

4.6.3 Ensaio de Absorção por Capilaridade

O Ensaio de Absorção por Capilaridade foi executado seguindo as orientações constantes na NBR 9779 (ABNT, 2012) em corpos de prova cilíndricos com idade de 28 dias. Se fez necessário a utilização de estufa, recipiente, suportes e balança com resolução de 0,1 grama. As amostras devem foram colocadas em estufa por 72 horas, em temperatura de 105°C e após a completa secagem, os corpos de prova foram pesados para a anotação da massa seca (ms). Logo após, as amostras foram colocadas num recipiente dotado de suportes que mantiveram os corpos de prova com água num nível constante de 5 mm acima da face inferior.

No decorrer do ensaio foram determinadas a massa saturada (msat) das amostras num intervalo de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. As Figuras 29 e 30 ilustram a absorção da água através da parte inferior dos corpos de prova durante a execução do ensaio.

Figura 29 - Amostras com lâmina de água de 5 mm de altura



Fonte: Autora (2022).

Figura 30 - Amostras com 3h de contato com a base em água.



Fonte: Autora (2022).

4.6.4 Ensaio de Variação Dimensional

O Ensaio de Variação Dimensional foi executado seguindo as orientações da NBR 15261 (ABNT, 2005), com utilização de corpos de prova prismáticos com dimensões de 25x25x285mm. A desmoldagem dos corpos de prova foi realizada após 48 horas da colocação da água na mistura (2 dias). As leituras da variação dimensional foram realizadas com o auxílio de um relógio comparador nos intervalos de 48 h, 72 h, 96 h, 168 h, 336 h, 784 h. Os corpos de prova foram armazenados em ambiente laboratorial não condicionado. As Figuras 58 e 59 ilustram o procedimento de ensaio.

O dimensionamento da susceptibilidade à fissuração das misturas foi analisado considerando as recomendações do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB, 1993), uma vez que a norma brasileira NBR 13281 (ABNT, 2005) não apresenta nenhuma especificação quanto a este requisito específico. A classificação da susceptibilidade à fissuração se dá em três classes:

- a) valores de retração (Dl/l) inferiores a 0,7 mm/m - baixa susceptibilidade;
- b) valores de retração (Dl/l) entre 0,7 a 1,2 mm/m - média susceptibilidade; e,
- c) valores de retração (Dl/l) superiores a 1,2 mm/m - alta susceptibilidade.

Em que “Dl” representa a variação da retração aos 28 dias e “l” o comprimento do prisma (285 mm ou 0,285m) utilizado nas avaliações.

Figura 31 - Amostras preparadas para as medições de variação dimensional.



Fonte: Autora (2022).

Figura 32 - Equipamento utilizado para medição da variação dimensional.



Fonte: Autora (2022).

Os resultados da caracterização no estado endurecido serão apresentados no Capítulo 5 (Resultados).

4.7. PROJETO DO ARTEFATO SELECIONADO

Entende-se que o artefato em desenvolvimento se trata de um sistema de vedação vertical e, uma vez definido o traço, deve-se desenvolver a sua implementação. Para tanto, propõe-se o projeto de uma unidade mínima, em escala real, doravante denominada Protótipo em SCAA.

A definição das dimensões parte da interação com o setor produtivo do concreto autoadensável e o estabelecimento de uma parceria com uma empresa construtora para adaptação de um conjunto de fôrmas e construção de uma unidade mínima.

4.8. DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO SELECIONADO

Concluída a etapa de desenvolvimento do traço e do projeto arquitetônico, partiu-se para o desenvolvimento do protótipo. Esta fase da pesquisa possibilitou a criação do objeto, alvo desta pesquisa, e também a heurística de construção, ou seja, o desenvolvimento e validação do “saber fazer”. Segundo Dresch, Lacera e Antunes Júnior (2015), “a heurística de construção proveniente do desenvolvimento de artefatos, é uma das contribuições da design science para o avanço do conhecimento”.

O desenvolvimento do artefato é entendido como a construção do Protótipo em SCAA. Este protótipo foi implantado na Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Cuiabá (Figura 33), definido pela proximidade dos laboratórios envolvidos, por questões relacionadas à

logística e segurança dos equipamentos que serão utilizados nas etapas futuras para além desse trabalho de mestrado.

Esta fase do estudo contou com o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - FAPEMAT através do Edital nº 004/2021 Pesquisa aplicada - Cadeias Produtivas de Mato Grosso.

Figura 33 - Local de construção do protótipo.



Fonte: Ivan Callejas (2023).

A execução do protótipo foi planejada de maneira que a confecção das misturas fossem realizadas em algumas poucas horas, tomando como referência a abertura plástica, ou seja, a manutenção da autoadensibilidade da mistura mensurada em laboratório, sendo esta de 45 minutos. Logo, os materiais foram separados previamente considerando a capacidade volumétrica das betoneiras.

Apesar do objeto de estudo desta pesquisa ser a construção de um sistema de vedação vertical em solo-cimento autoadensável, fez-se necessária a execução de sua fundação, que foi definida como radier. O radier foi executado durante o desenvolvimento do estudo de dosagem com as fibras de vidro, por isso, optou-se por produzi-lo com a melhor mistura desenvolvida na etapa anterior (misturas com fibra de polipropileno).

O radier foi executado com a dosagem de umas das misturas com fibra de polipropileno que se apresentou, dentre as outras (com o mesmo tipo de fibra), como a mais vantajosa no

ensaio de retração. A mistura foi confinada em seu estado fresco numa fôrma horizontal posicionada no terreno para a produção do radier.

As misturas produzidas para a obtenção do radier foram executadas em betoneira com capacidade de 250 litros, num intervalo de três horas de trabalho e uma equipe composta por dois pedreiros, além da equipe científica que acompanhou os trabalhos.

Figura 34 - Requadro para o contrapiso.



Fonte: Ivan Callejas (2023).

Figura 35 - Armação do contrapiso.



Fonte: Autora (2023).

Figura 36 - Colocação dos materiais na betoneira.



Fonte: Autora (2023).

Figura 37 - Preenchimento do contrapiso.



Fonte: Autora (2023).

Figura 38 - Contrapiso em solo-cimento autoadensável.



Fonte: Autora (2023).

Figura 39 - Textura do contrapiso ainda fresco.



Fonte: Autora (2023).

As paredes foram executadas transcorrido o tempo de cura do radier. As fôrmas utilizadas na construção do protótipo são as mesmas utilizadas no mercado da construção civil para a execução de paredes de concreto moldado in loco. O traço definido para a construção da fundação e das paredes consta do Capítulo 5 (Resultados).

As paredes de solo-cimento autoadensável receberam armação em vergalhões de fibra de vidro, que juntamente com a adição de macrofibra de vidro no compósito, na proporção escolhida para este estudo, confere suporte estrutural.

Os vergalhões foram posicionados nos encontros das paredes e, também, nas posições acima, abaixo e nas laterais das aberturas, com a finalidade de trabalhar como vergas e contra-vergas, reduzindo assim a possibilidade surgimento de fissuras.

Considerando que as paredes monolíticas não devem ter junta de concretagem, para otimizar a fabricação do compósito de SCAA, os componentes da mistura foram separados, pesados e identificados previamente em sacos. As misturas foram produzidas concomitantemente em três betoneiras com capacidade de 400 litros, num total de 27 repetições, num período de 2,5 horas de trabalho com uma equipe composta por seis pedreiros, um operador de retroescavadeira, um montador de fôrma, um engenheiro de obra e uma equipe de fiscalização composta por dois orientadores, uma aluna de mestrado, um aluno de graduação, um aluno de graduação para registro audiovisual e dois técnicos de laboratório.

O procedimento de execução das paredes encontra-se descrito nas etapas abaixo:

a) Inicialmente, realizou-se a marcação das faces internas e externas das paredes na superfície do radier;

b) Na sequência, seguindo o projeto estrutural, conduziu-se a instalação das armações de vergalhões de fibra de vidro nos encontros das paredes e junto as aberturas da porta e da janela;

Realizaram-se furos com auxílio de furadeira visando a fixação e posterior chumbamento dos vergalhões;

c) Os vergalhões de fibra de vidro foram então cortados com altura do pé-direito da edificação, sendo instalados verticalmente junto às barras chumbadas no radier, no local de encontro das paredes e nas laterais junto as aberturas da porta e janela; barras de vergalhões com comprimentos especificados no projeto foram então fixadas horizontalmente nas barras verticais abaixo e acima da abertura da janela, assim como na parte superior das paredes, com intuito de se ter uma viga de coroamento para as paredes do protótipo. Posicionou-se e fixou-se verticalmente junto a armadura de fibra de vidro um conduíte e uma caixa de interruptor nas proximidades da porta de acesso;

d) Passou-se então para a montagem das fôrmas de alumínio; lateralmente as formas são fixadas umas a outras com auxílio de parafusos; por sua vez, a fixação da forma externa com a interna se dá com o uso de faquetas que atravessam as paredes a serem moldadas, sendo que essa furação permanece na parede após a sua confecção;

e) À medida que as formas eram montadas, as armaduras eram posicionadas e afastadas da fôrma com o uso de espaçadores, com vistas a garantir o adequado cobrimento das mesmas. Na sequência, as fôrmas da laje foram posicionadas e fixadas nas laterais internas das fôrmas das paredes; a armadura de aço da laje somente foi posicionada com o término da moldagem das paredes monolíticas de SCAA;

f) Finalizada a montagem da fôrma, iniciou-se o procedimento de confecção das misturas de SCAA, visando a moldagem das paredes monolíticas. Inicialmente, foram adicionados os materiais secos nas betoneiras e realizada a mistura mecânica por 2 minutos. O equipamento foi pausado para a adição de 2/3 da água de amassamento e, então, realizada a homogeneização por 2 minutos. Logo após, foram adicionadas as fibras de vidro, juntamente com o aditivo diluído em 1/3 restante da água. Após a completa homogeneização da mistura, foi retirada uma pequena amostra para a realização do ensaio de mini *slump flow*. Caso o valor do abatimento ficasse dentro da faixa pré-estabelecida, partia-se para o preenchimento das paredes com a mistura, caso a mistura não alcançasse o espalhamento desejado, era realizada a adição de um percentual de água para a correção da fluidez;

g) Após a confecção da primeira mistura, mudou-se a ordem de adição dos materiais, iniciando o processo com 2/3 da água e os materiais secos. Após a homogeneização foram adicionadas as fibras juntamente com o 1/3 restante da água e o aditivo sendo então realizada a segunda homogeneização da mistura;

h) A medida que as fôrmas eram preenchidas, realizava-se o procedimento de retirada do ar por meio de batidas nas juntas das fôrmas com o auxílio de um martelo de borracha;

i) Finalizada a etapa do preenchimento, aplicou-se uma chapa de PVC na parte superior da fôrma, junto ao encontro da face inferior da laje, com vistas a desolidarizar a parede em SCAA da laje de concreto;

j) Aplicada a junta em todo o perímetro da fôrma, introduziu-se a malha de aço sobre a superfície da laje, tomando-se o cuidado de utilizar espaçadores para garantir o adequado cobrimento das armaduras;

k) A concretagem da laje, não descrita neste trabalho, seguiu procedimento padrão usualmente utilizado nas concretagens de estruturas de concreto convencionais. Durante a moldagem das paredes e concretagem da laje foram retirados corpos de provas com a finalidade de se fazer o controle tecnológico das misturas, com vistas a garantir as especificações mecânicas definidas em laboratório para as misturas de SCAA e de concreto.

l) Passadas 96 horas após o enchimento das fôrmas foi realizado o processo de desforma das paredes, com aplicação imediata de cura química.

Figura 40 - Fixação dos vergalhões de vibra de vidro.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 41 - Vergalhões fixados no contrapiso.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 42 - Início da montagem das fôrmas.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 43 - Montagem das fôrmas das paredes.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 44 - Produção das misturas nas três betoneiras.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 45 - Colocação das misturas na caçamba da retroescavadeira.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 46 - Transporte vertical das misturas na retroescavadeira.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 47 - Finalização do preenchimento das formas.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

4.9. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Segundo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), a avaliação de um artefato pode ser realizada de cinco maneiras diferentes, sendo elas: a) observacional, b) analítica, c) experimental, d) teste e e) descritiva. Neste estudo, a realizamos por meio da avaliação observacional e experimental. Na avaliação observacional tem-se a verificação do comportamento do artefato/ produto em seu ambiente real e com profundidade através da coleta e análise de dados, além das observações do pesquisador. Já a avaliação experimental tem por objetivo a realização de experimentos controlados a fim de verificar o comportamento do artefato.

Com o objetivo de realizar as avaliações mencionadas anteriormente, foram especificadas três etapas a partir da execução do protótipo, a saber:

- a) Controle tecnológico das misturas do SCAA;
- b) Registro do processo de confecção das paredes de SCAA;
- c) Monitoramento e mapeamento patológico das paredes de SCAA.

Assim, foi realizado monitoramento por 28 dias após a desforma e elaborado o mapeamento das patologias, por meio de registro fotográfico das paredes internas e externas. Considerando que as patologias são do tipo fissuras e trincas, o acompanhamento se deu nominando cada uma delas e registrando a data de seu aparecimento e respectivas dimensões (comprimento e largura).

5 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados da caracterização dos materiais, o estudo de dosagem das misturas, bem como a definição do traço, o projeto do protótipo juntamente com as análises, considerações finais e perspectivas futuras para a pesquisa.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

De acordo com o Sistema Rodoviário de Classificação (Highway Research Board – HBR), o solo em análise se enquadra no grupo A-4, pois possui 43,61% de material passante na peneira nº 200, limite de liquidez de 33,8% e índice de Plasticidade de 7,8%, logo o solo pode ser classificado como solo siltoso. A Tabela 9 apresenta os valores encontrados nos ensaios de caracterização do solo.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de caracterização do solo.

Material	Limite de liquidez	Limite de plasticidade	IP	Densidade real	Material que passa #4,75mm	Material que passa #0,075mm
Solo	33,8%	26%	7,8%	2,46 g/cm ³	76,53%	43,61%

Fonte: Autora (2022).

Segundo as especificações da NBR 13553 (ABNT, 2013), todos os índices mencionados anteriormente se encaixam para o emprego do solo em paredes monolíticas de solo-cimento sem função estrutural, contudo, a porcentagem do material passante na peneira de malha com 4,75mm deveria ser de 100%, logo este índice não poderá ser atendido com o solo em seu estado natural. Por isso, optou-se pelo processamento do solo através do peneiramento na malha de 4,75 mm para a adequação deste índice. O Quadro 10 apresenta as frações granulométricas do solo de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995).

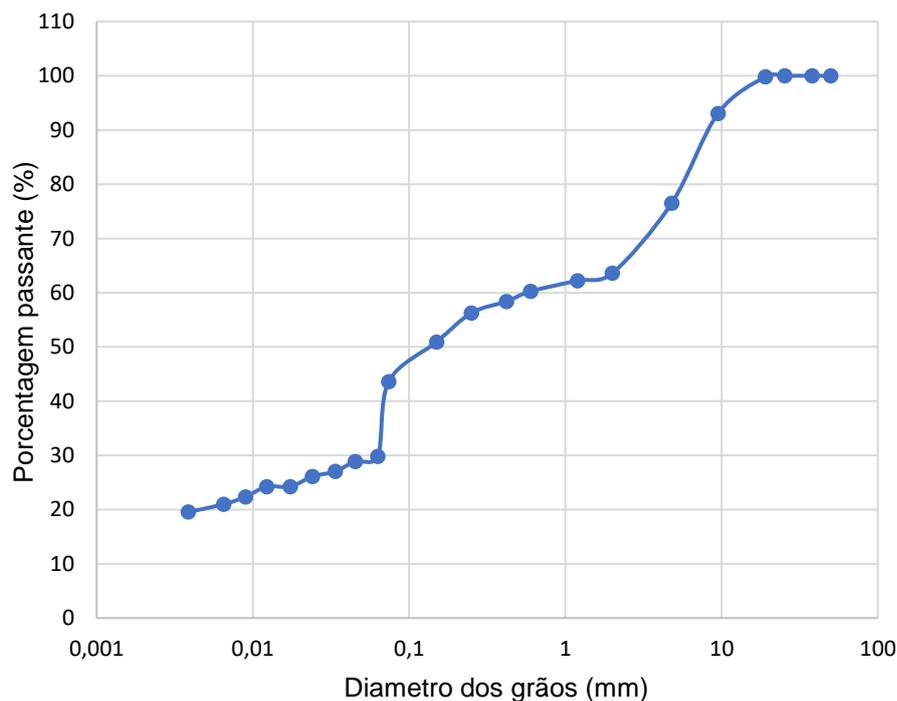
Quadro 11 – Resultados dos ensaios de caracterização do solo.

Fração (NBR 6502/2022)	Porcentagem retida
Pedregulho (60mm a 2 mm)	36,40%
Areia (2mm a 0,06mm)	33,77%
Silte (0,06mm a 0,002mm)	29,83%
Argila (menor 0,002mm)	0,00%
Total	100%

Fonte: Autora (2022).

O Gráfico 1 apresenta a distribuição dos grãos do solo ensaiado e foi obtida através do ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação, procedimento este adotado, devido a presença de grãos com diâmetros de silte ou argila, identificados por meio de método tátil-visual.

Gráfico 1 - Curva granulométrica do solo



Fonte: Autora (2022).

A curva granulométrica indica a ausência de parte de alguns diâmetros no segmento da curvatura, o que implica em uma distribuição irregular e uma classificação como mal graduada. Entretanto, analisando o valor do coeficiente de curvatura (1,71), este, classifica a granulometria como bem graduada. Segundo definições, tais valores do coeficiente de curvatura abrange índices de areia, o que confirma os resultados do ensaio.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DA AREIA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com os ensaios técnicos realizados, a areia de RCC apresentou propriedades físicas inferiores às do agregado miúdo natural, exceto na absorção de água e no módulo de finura. Esses resultados podem ser justificados pela composição diversa deste agregado artificial, que é formado através da trituração de cerâmicas, gesso, argamassa e concreto. O percentual de absorção de água mostrou-se elevado, contudo, atende o requisito de menor que 17% da NBR 15116 (ABNT, 2004).

A Tabela 10 relaciona os valores encontrados nos ensaios da caracterização da areia de RCC desta pesquisa, juntamente com os valores apresentados por Simioni (2019) para uma areia natural.

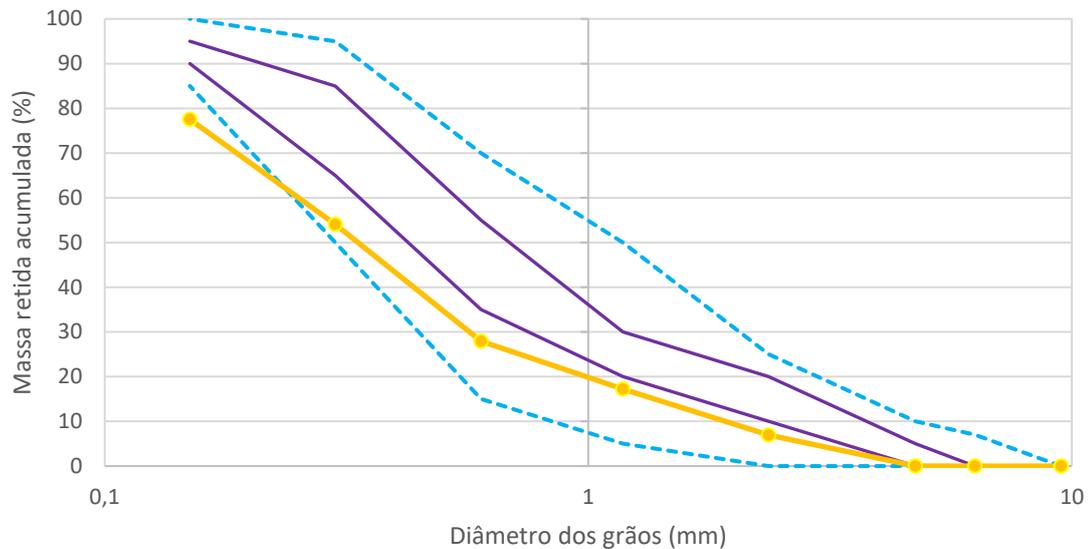
Tabela 5 - Resultados dos ensaios de caracterização da areia de RCC.

Material	Massa específica saturada superfície seca	Massa específica seca	Absorção de água	Módulo de finura
Areia de RCC	2,2 g/cm ³	1,98 g/cm ³	11,49%	1,84
Areia Natural	2,62 g/cm ³	-	0,35%	1,76

Fonte: Autora (2022).

A composição granulométrica do material está dentro estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2005), em quase toda a sua totalidade, na zona utilizável (linha tracejada azul). Apesar da areia (linha amarela) apresentar-se com uma pequena faixa granulométrica fora da zona recomendada em norma, sua utilização se justifica em razão do viés ambiental que essa incorporação pode trazer, como reduzir o passivo ambiental da cadeia produtiva da construção civil. O Gráfico 2 apresenta a curva granulométrica juntamente com a zona utilizável (linha tracejada azul) e zona ótima (linha roxa).

Gráfico 2 - Curva granulométrica areia de RCC.



Fonte: Autora (2022).

5.3. ESTUDO DE DOSAGEM DAS MISTURAS

Na dosagem das misturas foi realizada a confecção de quatro misturas. As mesmas foram definidas com diferentes percentuais de fibra de vidro, sendo denominadas de MV00, MV01, MV02 e MV03. O percentual da microfibras de vidro foi o mesmo para todas as elas, mantendo-se em 0,07% do peso total da mistura, o que corresponde a $1,2\text{kg/m}^3$. Já a macrofibras foi adicionada em três percentuais, a saber, 0,27%, 0,54%, 0,82%, que correspondem respectivamente a 5kg/m^3 , 10kg/m^3 e 15kg/m^3 . Também foi realizada a confecção de uma mistura de controle denominada de REF01, a qual possuía o mesmo traço porém sem a adição de fibras. Foi realizada a caracterização de cada mistura, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

5.3.1 Caracterização no Estado Fresco

5.3.1.1 Ensaios de Espalhamento – Cone de Abrams convencional e adaptado

A Tabela 6 apresenta os resultados alcançados no ensaio de Espalhamento - NBR 15823-2 (ABNT 2017) e no ensaio de Espalhamento adaptado ao mini cone de Abrams para as misturas MV00, MV 01, MV 02, MV 03 e REF01.

Tabela 6 - Resultado ensaio de espalhamento.

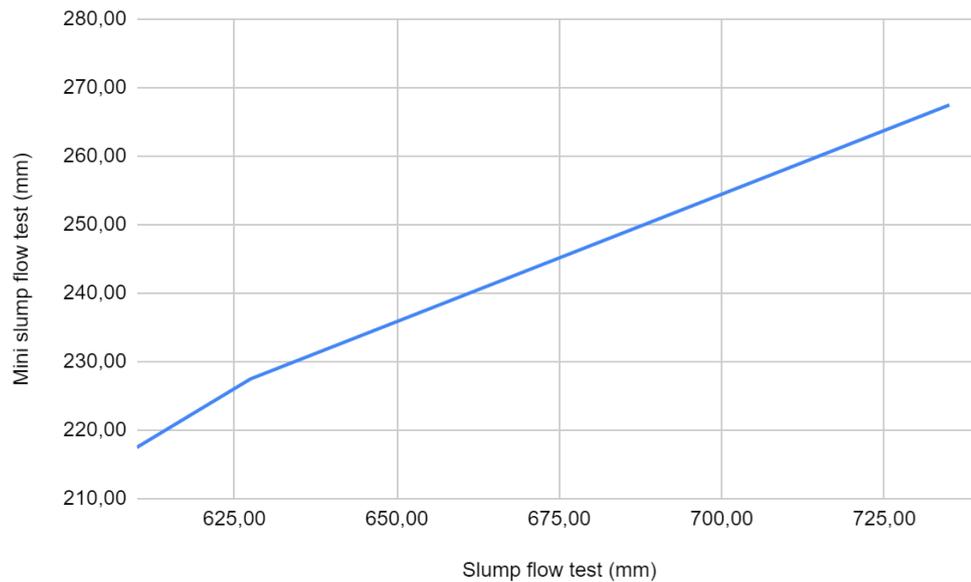
Mistura	Microfibra vidro (%) s.p.m	Macrofibra vidro (%) s.p.m	(NaPO ³) ⁶ (%) s.p.s	Aditivo sp (%) s.p.c	Fator a/c	Espalhamento (mm)	Espalhamento mini cone (mm)
REF01	-	-	0,5	1,8	2,20	685,00	220,00
MV00	0,07	-	0,5	1,8	2,30	660,00	242,50
MV01	0,07	0,27	0,5	1,8	2,30	627,50	227,50
MV02	0,07	0,54	0,5	1,8	2,35	610,00	217,50
MV03	0,07	0,82	0,5	1,8	2,35	735,00	267,50

Fonte: Autora (2022).

Através das informações apresentadas, pode-se notar que o fator água/cimento seguiu a mesma lógica do estudo primário, passando de 1,62 apresentado por Simioni (2019), para o intervalo de 2,30 a 2,35 na presente pesquisa. As fibras de vidro não influenciaram substancialmente na plasticidade da mistura, uma vez que, a mistura referência (desenvolvida no estudo secundário) teve uma adequação do fator a/c para 2,20. O fato das misturas com fibras de vidro não terem demandado uma elevação da água de amassamento (fator a/c) para a correção de sua plasticidade vem ao encontro das características apresentadas pelo fabricante da fibra, o qual informa que esse tipo de fibra apresenta uma dispersão rápida e baixo impacto na trabalhabilidade da mistura (OEWNS CORNING, 2021).

As misturas MV01 e MV02 apresentaram o *slump flow* fora classificação estabelecida (SF2) nos valores de 627,50mm e 610,00mm respectivamente. Contudo, optou-se por não adicionar mais água nas misturas com fins à diminuição da retração e do índice de vazios nas amostras. As misturas MV00 e MV03 apresentaram o *slump flow* dentro do intervalo estipulado (660mm a 750mm) e cabe ressaltar que a mistura MV03 continha o maior percentual de macrofibra (0,82%). Este resultado reforça que as fibras de vidro não afetaram a trabalhabilidade da mistura, confirmando ainda que as misturas apresentaram variações na absorção da água de amassamento, muito provavelmente em decorrência das variações granulométrica do solo e da areia utilizados nas misturas. Essa característica de alteração na absorção da água entre as misturas também foi observada no estudo primário e secundário, conforme descrito anteriormente.

Gráfico 3 - Curva de equivalência entre slump flow convencional e reduzido.



Fonte: Autora (2022).

O Gráfico 3 apresenta a curva de equivalência entre os *slumps flow* obtidos no ensaio de Espalhamento - NBR 15823-2 (ABNT 2017) das misturas com fibra de vidro (MV00, MV01, MV02 e MV03) que foi reproduzido em dois tipos de Cone de Abrams (convencional e reduzido). Através da comparação entre os espalhamentos foi possível obter a razão de 2,76.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios no estado fresco

Mistura	Microfibra vidro (%) s.p.m	Macrofibra vidro (%) s.p.m	Aditivo sp (%) s.p.c	Fator a/c	t500 (s)	IEV	Anel J (mm)	Massa Específica (kg/m ³)
REF 01	-	-	1,8	2,20	0,47	3	705,00	1839,49
MV00	0,07	-	1,8	2,30	0,40	3	-	1916,66
MV01	0,07	0,27	1,8	2,30	0,40	3	555,00	1940,54
MV02	0,07	0,54	1,8	2,35	0,36	3	542,50	1935,23
MV03	0,07	0,82	1,8	2,35	0,20	3	565,00	1945,85

Fonte: Autora (2022).

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios realizados no estado fresco das misturas. A viscosidade plástica aparente (t500) de todas as misturas mostraram-se menores que 2 segundos e se enquadraram na classificação VS 1. Já o Índice de estabilidade visual (IEV) foi classificado em IEV 3 pois apesar das misturas não terem apresentado segregação e nem exsudação, foi notada a presença de pequena auréola de argamassa e um pequeno empilhamento de grãos de solo no centro da circunferência.

A massa específica apresentou um aumento em relação a mistura referência. Essa característica pode ser atribuída a adição das fibras de vidro nas misturas. A mistura MV03 apresentou o maior valor com 1945,85 kg/m³, seguida pela mistura MV01 com 1940,54 kg/m³, MV02 com 1935,23 kg/m³ e em último lugar, com a menor massa específica ficou a mistura MV00 com 1916,66 kg/m³.

A habilidade passante da mistura foi caracterizada através do ensaio do anel J, as misturas MV01, MV02 e MV03 apresentaram resultados coerentes, ou seja, diâmetros menores daqueles encontrados no ensaio de *Slump Flow Test*, cujo escoamento da mistura se dá de maneira livre, sem a interferência de obstáculos. Contudo, nenhuma das misturas enquadraram-se na classificação de escoamento PJ 2, cujo intervalo está de 25 a 50mm. Ainda assim, as misturas MV01 e MV02 apresentaram os melhores resultados com valores de 72,50mm e 67,50mm respectivamente. O alto percentual de macrofibras na mistura MV03 pode ser o grande causador da redução da habilidade passante. A Tabela 8 apresenta o resultado do cálculo do ensaio do anel J.

Tabela 8 - Classificação da habilidade passante das misturas.

Mistura	Microfibra vidro (%) s.p.m	Macrofibra vidro (%) s.p.m	Espalhamento (mm)	Anel J (mm)	Classificação PJ 2 (25 a 50 mm)
REF 01	-	-	685,00	705,00	-20,00
MV01	0,07	0,27	627,50	555,00	72,50
MV02	0,07	0,54	610,00	542,50	67,50
MV03	0,07	0,82	735,00	565,00	170,00

Fonte: Autora (2022).

5.3.2 Caracterização no Estado Endurecido

5.3.2.1 Ensaio de Resistência à Compressão

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial das quatro misturas confeccionadas nesta etapa de estudo e também da mistura REF 01 que foi desenvolvida no Estudo Secundário desta pesquisa. Nota-se que todas as misturas alcançaram o desempenho mínimo estabelecido na NBR 13555 (ABNT, 2012) para paredes monolíticas de solo-cimento compactado, que é de 1,00 MPa aos 7 dias.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.

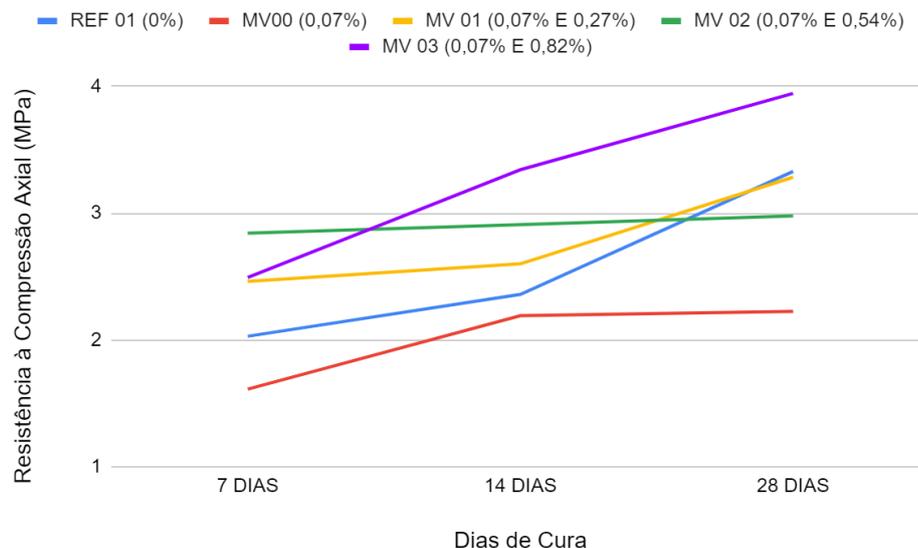
Mistura	Fator a/c	Resistência à compressão 7 dias (Mpa)	Resistência à compressão 14 dias (MPa)	Resistência à compressão 28 dias (MPa)
REF 01	2,20	2,03	2,36	3,33
MV00	2,30	1,61	2,19	2,23
MV01	2,30	2,46	2,60	3,28
MV02	2,35	2,84	2,91	2,98
MV03	2,35	2,49	3,34	3,95

Fonte: Autora (2022).

Todas as misturas atenderam os parâmetros estabelecidos para o compósito. Nota-se que ocorreu um aumento no valor da resistência nas idades iniciais (7 e 14 dias) nas misturas com adição da macrofibra, quando comparadas com a mistura referência desenvolvida no estudo secundário. A mistura que apresentou o melhor desempenho mecânico aos 28 dias foi a MV 03, seguida pela MV 01 e MV 02.

Nota-se que todas as misturas apresentaram elevação da resistência com o passar do tempo (Gráfico 4). Observa-se que na idade dos 7 dias, a menor resistência foi registrada para a mistura MV00 que não possuía a adição de macrofibra. Todas as misturas apresentaram ganho de resistência aos 14 dias, com destaque para as misturas que continham macrofibras, em especial a MV03, que apresentou resistência superior a de referência. Porém aos 28 dias de idade, as misturas MV01 e MV2 apresentaram menor resistência mecânica se comparadas a de referência, enquanto a MV03 continuou a elevação.

Gráfico 4 - Resultado do ensaio de compressão axial para as três idades.



Fonte: Autora (2022).

Constata-se através das misturas MV01, MV02 e MV03 que a adição das fibras não influenciou significativamente na queda ou no aumento da resistência à compressão das misturas quando comparadas à mistura referência (REF01). Essa característica é importante, pois quando foi adicionada fibra de polipropileno na mistura de solo-cimento autoadensável (segunda etapa deste estudo), foi constatada a queda da resistência à compressão axial em todas as amostras rompidas aos 7 e 28 dias. Considera-se que a mistura MV00 apresentou resultados inconclusivos frente ao ensaio de compressão axial, pois mesmo com a adição de 0,07% de microfibras apresentou resultados inferiores à mistura de referência REF01 destoando do comportamento das outras misturas com adição de fibras.

Em todas as misturas foi observada a elevação da resistência com o passar do tempo, essa tendência pode ser observada no Gráfico 4.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão diametral das quatro misturas confeccionadas nesta etapa de estudo e também para a mistura REF 01.

Tabela 10 - Resultados do ensaio de resistência à compressão diametral.

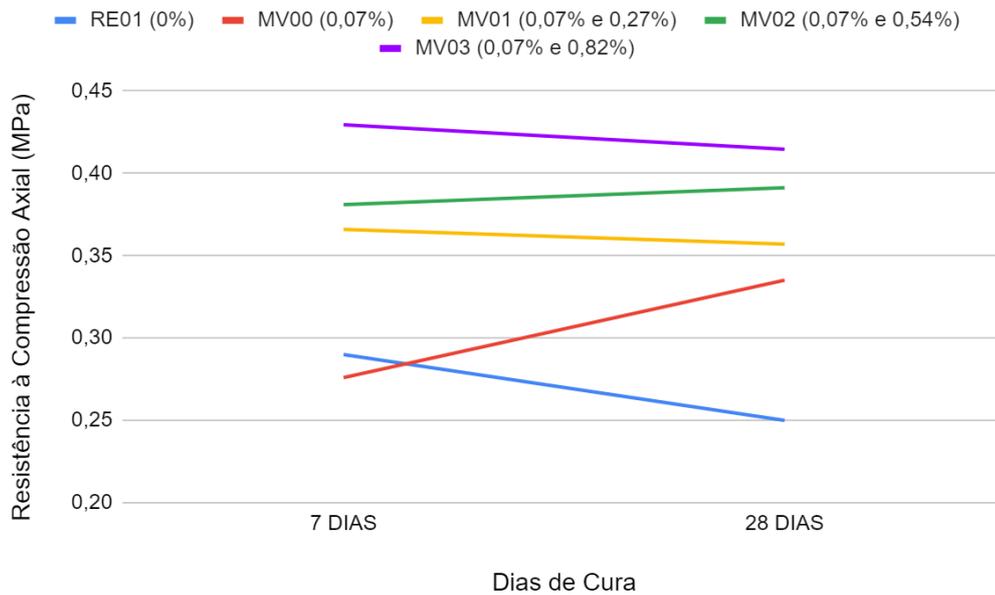
Mistura	Fator a/c	Resistência à compressão Diametral 7 dias (Mpa)	Resistência à compressão Diametral 28 dias (Mpa)
REF01	2,20	0,29	0,25
MV00	2,30	0,28	0,34
MV01	2,30	0,37	0,36
MV02	2,35	0,38	0,39
MV03	2,35	0,43	0,41

Fonte: Autora (2022).

O resultado da compressão diametral também pode ser observado no Gráfico 5. Pode-se notar que a adição das fibras influenciou positivamente no aumento da resistência dos corpos de prova, pois a mistura MV00 a qual possuía somente a adição de microfibras apresentou um acréscimo de 36% (aos 28 dias) quando comparada com a resistência da mistura REF01, seguida pela MV01 que apresentou um acréscimo de 44% com um aumento gradativo nas outras misturas.

Portanto, nota-se que o aumento da resistência é progressivamente maior nas misturas com maiores adições de macrofibra, em ambas as idades, 7 e 28 dias. Contudo, observa-se uma pequena queda aos 28 dias na resistência nas misturas REF01, MV01 e MV03. Ainda assim, pode-se concluir que a adição das fibras de vidro trouxe ganho na resistência à tração para as misturas em solo-cimento autoadensável.

Gráfico 5 - Resultado do ensaio de compressão diametral para as três idades.



Fonte: Autora (2022).

5.3.2.2 Ensaio de Absorção de água, Índice de vazios e Massa específica

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos no ensaio de Absorção de água, Índice de vazios e Massa específica. As misturas MV03 e MV01 apresentaram a menor absorção dentre as amostras (30,36% e 30,83%). Já a mistura REF01 e MV00 apresentaram as maiores absorções (31,39% e 32,04%). Nota-se que nenhuma das misturas se enquadrou dentro do limite da NBR 13555 (ABNT, 2012), que defini o valor máximo de 20% para absorção de água em compósitos de solo-cimento compactado.

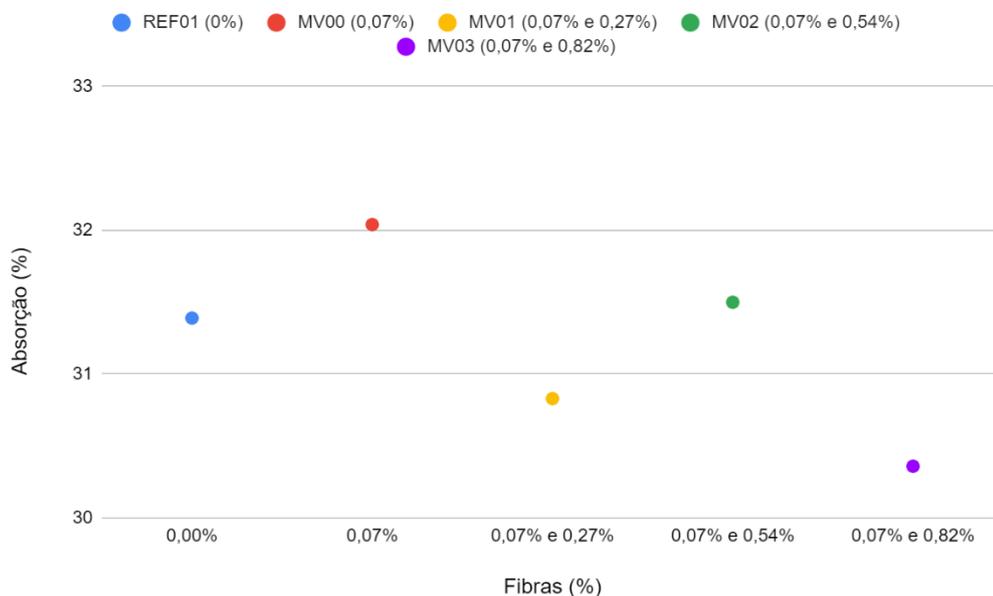
Tabela 11 - Resultado do ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica.

Mistura	Fator a/c	Microfibra vidro (%) s.p.m	Macrofibra vidro (%) s.p.m	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	M.e.s (g/cm ³)	M.e.sat (g/cm ³)	M.e.r (g/cm ³)
REF 01	2,20	-	-	31,39	44,41	1,41	1,86	2,54
MV00	2,30	0,07	-	32,04	46,28	1,44	1,91	2,69
MV01	2,30	0,07	0,27	30,83	45,27	1,47	1,92	2,68
MV02	2,35	0,07	0,54	31,50	45,76	1,45	1,91	2,68
MV03	2,35	0,07	0,82	30,36	45,03	1,48	1,93	2,70

M.e.s: massa específica da amostra seca
M.e.sat: massa específica da amostra saturada
M.e.r: massa específica real
Fonte: Autora (2022).

A inserção de fibras nas misturas não gerou aumentos e nem diminuições significativas nos valores da absorção de água e índice de vazios quando comparadas a mistura REF01 (sem fibras). Os valores obtidos para a massa específica seca (de 1,41g/cm³ a 1,48g/cm³), massa específica saturada (de 1,86g/cm³ a 1,93g/cm³) e massa específica real (2,54g/cm³ a 2,70g/cm³) ficaram muito próximos nas quatro misturas, contudo o menor deles foi apresentado na mistura referência (sem adição de fibras). O Gráfico 6 ilustra a relação entre a absorção de água e o percentual de fibras das misturas.

Gráfico 63 - Resultado do ensaio de absorção de água.



Fonte: Autora (2022).

5.3.2.3 Absorção por Capilaridade

A Tabela 12 apresenta os resultados para o ensaio de Absorção por Capilaridade nos intervalos de 3, 6, 24, 48, e 72 horas contadas a partir do contato da base dos corpos de prova com a água. Nota-se que a mistura MV03 foi a que absorveu menos água durante a execução de todo o ensaio, apresentando o valor de 1,84g/cm² de absorção às 3 horas e 3,88g/cm² às 72 horas, superando o desempenho da mistura REF01. Já as misturas MV01 e MV02 apresentaram um melhor desempenho ao final das medições, nas absorções de 48 e 72 horas. Nota-se que a adição de fibras não aumentou a absorção de água nas amostras MV01, MV02 e MV03, pelo contrário, proporcionou redução em todas as misturas ensaiadas. Foi observado aumento na absorção somente na amostra MV00 a qual possuía apenas a adição de microfibras.

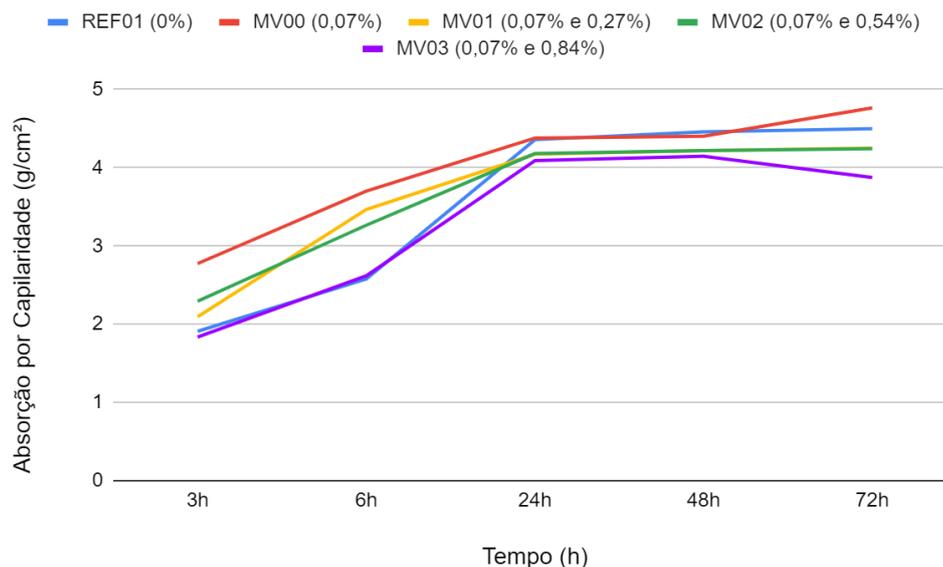
Tabela 12 - Resultados ensaio de capilaridade.

Mistura	Absorção às 3 h (g/cm ²)	Absorção às 6h (g/cm ²)	Absorção às 24 h (g/cm ²)	Absorção às 48 h (g/cm ²)	Absorção às 72 h (g/cm ²)
REF 01	1,91	2,58	4,36	4,46	4,50
MV00	2,78	3,70	4,38	4,40	4,77
MV01	2,10	3,47	4,17	4,22	4,25
MV02	2,29	3,27	4,18	4,22	4,24
MV03	1,84	2,62	4,09	4,15	3,88

Fonte: Autora (2023).

Constata-se que a absorção das misturas REF 01, MV01, MV02 foram estabilizadas a partir das 24 horas (Gráfico 7). As misturas MV00 e MV03 também apresentaram uma estabilização às 24 horas, porém com um decréscimo de absorção para a MV03 a partir das 48 horas e acréscimo de absorção para a MV00 a partir das 48 horas. Logo, a mistura MV03 apresentou o melhor desempenho ao final das 72 horas.

Gráfico 7 - Resultados ensaio de capilaridade



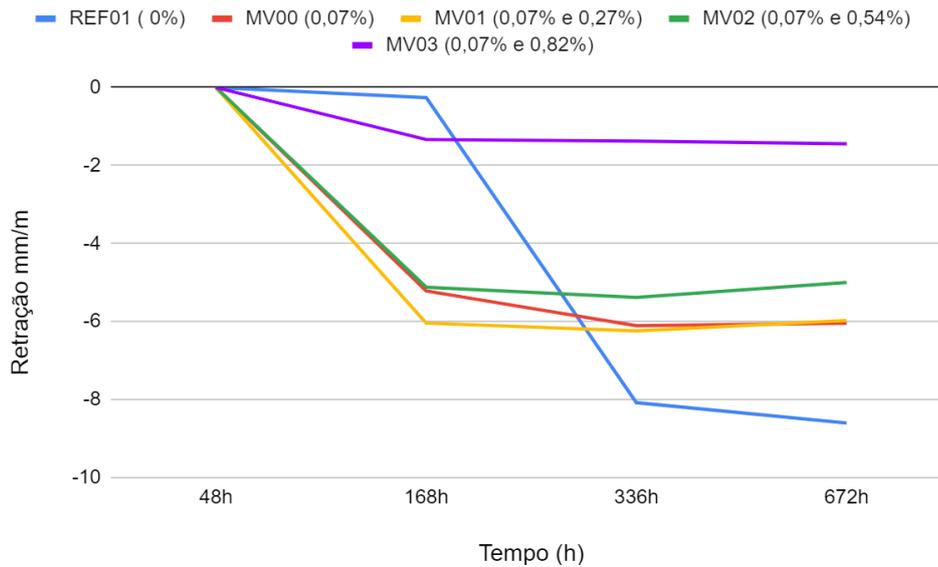
Fonte: Autora (2022).

5.3.2.4 Determinação da variação dimensional

Os resultados obtidos no ensaio de variação dimensional revelaram uma retração significativa nas barras das misturas MV00, MV01 e MV02, nos sete primeiros dias do ensaio. A mistura MV03 e REF01 também apresentaram retração nesse intervalo, porém com valores discretos. Este fato indica a necessidade de controle da evaporação da água de amassamento até o sétimo dia da confecção do compósito, principalmente em regiões onde há alta demanda evaporativa.

Apesar da mistura referência ter apresentado o melhor desempenho nos primeiros dias do ensaio, as misturas com fibra revelaram melhor desempenho no intervalo do 7º (168 horas) ao 28º dia (672 horas). Foi constatado que, quanto maior o percentual de adição de macrofibras, melhor o desempenho no combate à retração. Por isso, a mistura MV03 destacou-se neste quesito, apresentando uma redução de 83,25% na retração observada no 28º dia (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Dimensional média ao longo do tempo.



Fonte: Autora (2022).

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos nas retrações das idades de 7 e 28 dias das quatro misturas avaliadas. Nota-se que, nesta fase do estudo, os valores das retrações obtidos no ensaio são menores que aqueles obtidos na etapa anterior com a utilização de microfibra de polipropileno. A mistura MV03 apresentou o melhor desempenho aos 28 dias, com retração de -1,44mm/m, com menor valor máximo que aquele observado em argamassas industrializadas (-1,66mm/m) (BAUER, SALOMÃO e RODRIGUES FILHO, 2015).

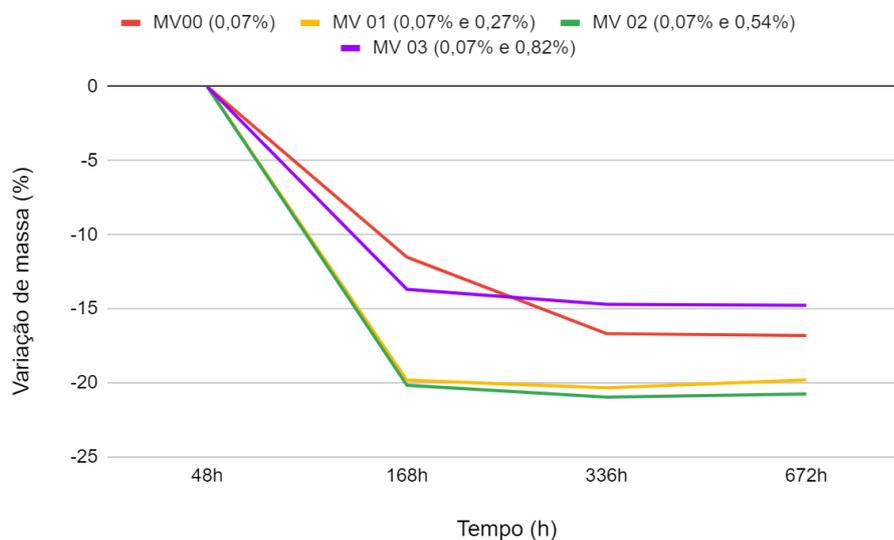
Tabela 13 - Valores médios da variação dimensional.

Mistura	Microfibra vidro (%) s.p.m	Macrofibra vidro (%) s.p.m	168 horas (mm/m)	672 horas (mm/m)
REF 01	-	-	-0,26	-8,60
MV00	0,07	-	-5,21	-6,04
MV01	0,07	0,27	-6,04	-5,97
MV02	0,07	0,54	-5,12	-5,00
MV03	0,07	0,82	-1,33	-1,44

Fonte: Autora (2022).

Os valores encontrados para as misturas MV00, MV01, MV02 e MV03 aos 28 dias foram menores que o valor encontrado para a mistura REF01 (-8,60mm/m), sendo estes, -6,40mm/m, -5,97mm/m, -5,00mm/m e -1,44mm/m, respectivamente. As misturas apresentaram uma redução da retração em 29,76%, 30,58%, 41,86% e 83,26% respectivamente. Apesar da retração encontrada para as misturas MV00, MV01 e MV02 terem ficado acima da máxima encontrada em argamassas industrializadas, observa-se certo ganho na diminuição da retração, uma vez que, este valor ficou abaixo dos valores encontrados no estudo secundário desta pesquisa, desenvolvido com microfibras de polipropileno.

Gráfico 9 - Valores médios da variação de massa.



Fonte: Autora (2022).

O Gráfico 9 apresenta a variação de massa das misturas MV00, MV01, MV02 e MV03. As misturas apresentaram uma perda de massa expressiva nas primeiras 168 horas (aos 7 dias) com posterior estabilização nas amostras MV01, MV02 e MV03. A mistura MV00 estabilizou-se a partir das 336 horas, ou seja, aos 14 dias. A mistura MV03, que é composta pelo maior percentual de macrofibra, apresentou os menores valores de perda de massa após os 7 dias, seguida pelas misturas MV00, MV01 e MV02.

Tabela 14 - Valores médios da variação de massa.

Mistura	Microfibra vidro (%) s.p.m	Macrofibra vidro (%) s.p.m	168 horas (%)	336 horas (%)	672 horas (%)
MV00	0,07	-	-11,51	-16,67	-16,80
MV01	0,07	0,27	-19,82	-20,33	-19,75
MV02	0,07	0,54	-20,16	-20,96	-20,74
MV03	0,07	0,82	-13,68	-14,69	-14,75

Fonte: Autora (2022).

O resultado da perda de massa está coerente com a retração dimensional, pois a mistura MV03 apresentou a menor retração juntamente com a menor perda de massa, seguida pelas misturas MV00, MV01 e MV02, que apresentaram perdas de massa próximas (Tabela 14).

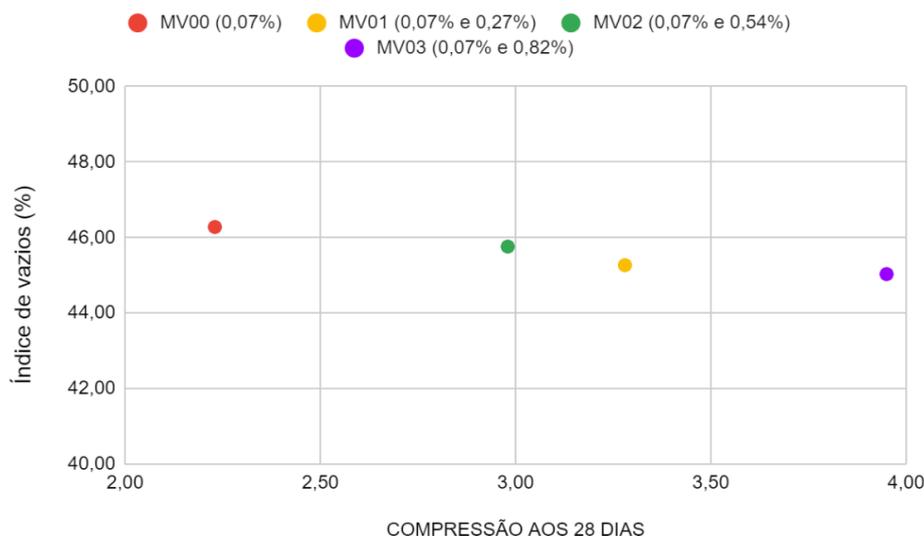
De acordo com as recomendações do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB, 1993), as misturas MV01, MV02 e MV03 apresentaram alta susceptibilidade ($>1,2\text{mm/m}$) à fissuração. Contudo, foi constatado grande avanço no combate à retração, uma vez que, todas as misturas apresentaram diminuição quando comparadas com a mistura referência REF01 (0% de fibra) e as misturas com adição de microfibra de polipropileno (estudo secundário). A mistura MV03 apresenta a retração aos 28 dias apenas 20% acima daquela especificada como sendo de alta susceptibilidade à fissuração pela MERUC. Portanto a fibra de vidro é um produto que apresenta melhor desempenho que a microfibra de polipropileno, devendo o seu uso nas misturas de solo-cimento autoadensável ser preterido.

5.3.2.5 Correlação entre índice de vazios e resistência à compressão

Este tópico tem por objetivo relacionar o percentual do índice de vazios e a resistência à compressão axial aos 28 dias das quatro misturas confeccionadas nesta etapa MV00, MV01, MV02 e MV03.

O Gráfico 10 apresenta a relação entre o índice de vazios e a resistência à compressão. Nota-se que a mistura MV03 (3,95MPa e 45,03%) apresentou o melhor resultado para os dois índices analisados. As misturas MV01 (45,27%) e MV02 (45,76%) também apresentaram o índice de vazios muito próximo entre elas e entre a MV03. Essa proximidade entre os índices de vazios comprova que a adição de fibras de vidro não ocasionou um aumento significativo de vazios nas amostras. Apesar das misturas terem apresentado variações nos resultados da resistência à compressão axial (2,23MPa a 3,95Mpa), os índices de vazios apresentaram-se muito próximos, não sendo possível apresentar correlações coerentes entre esses dados.

Gráfico 10 – Correlação entre índice de vazios e resistência à compressão.



Fonte: Autora (2022).

5.4. PROJETO DO ARTEFATO

A unidade mínima, doravante denominada Protótipo em SCAA, contém as dimensões de 2,95 m x 3,25 m. Contando com um ambiente de 10,38m² de área com pé direito de 2,80 m, a ser construído com as seguintes especificações:

- a) Fundação em radier em solo-cimento autoadensável;
- b) Paredes em solo-cimento autoadensável;
- c) Laje em concreto armado fck 25MPa;
- d) Esquadrias: uma porta e uma janela;
- e) Cobertura em telhas de fibrocimento, com estrutura de madeira;
- f) Instalação elétrica mínima de uma tomada, um interruptor e um ponto de iluminação no centro do ambiente.

O projeto do protótipo encontra-se nos Apêndices A, B e C.

5.5. DEFINIÇÃO DO TRAÇO DAS PAREDES

Para a construção da vedação vertical do protótipo, ou seja, das paredes, foi escolhida a mistura MV01, desenvolvida no estudo terciário e composta pela adição de 0,07% de microfibras e 0,27% de macrofibras de vidro. A adição de fibras na mistura foi capaz de combater 30,58% da retração aos 28 dias quando comparada com a mistura referência desenvolvida na segunda etapa do estudo (sem a adição de fibras). A mistura MV02 apresentou um resultado ligeiramente superior no combate à retração, com um ganho 41,86% em relação à mistura referência. Contudo, essa mistura possuía o dobro da adição de macrofibras (0,54%),

logo, o ganho no combate à variação dimensional não pôde ser justificado frente ao consumo de fibras. A mistura MV00 apresentou comportamento semelhante à mistura MV01 (escolhida para o protótipo) no ensaio de variação dimensional, contudo, os resultados obtidos em outros ensaios do estado endurecido impossibilitaram sua aplicação no protótipo. E apesar da mistura MV03 ter apresentado o melhor resultado no combate à retração, seu uso causaria impactos no preenchimento das fôrmas, visto que, a mistura apresentou resultados inferiores no ensaio do anel J e as paredes possuem vergalhões de fibra de vidro em seu interior, o que implicaria em vários obstáculos para o acomodamento da mistura nas fôrmas. A Tabela 15 apresenta a composição do traço MV01 escolhido para a execução das paredes do protótipo.

Tabela 15 - Traço MV01 escolhido para execução das paredes.

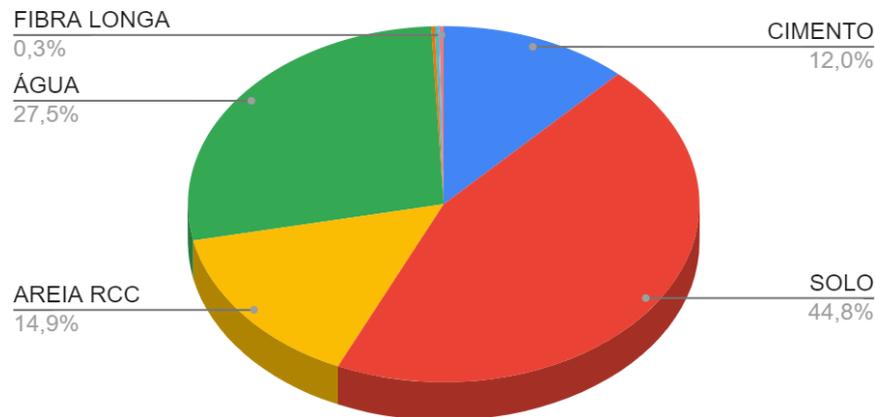
Componentes do traço	Quantidades
Traço em massa (cimento: areia RCC: solo: superplastificante: fibra: hexametáfosfato de sódio: água)	1: 1,25: 3,75: 2,40: 1,80 spc: 0,07% mic.: 0,27% mac.: 0,50% hex.: 2,40.
Fator a/c	2,40
Superplastificante s.p.c	1,80%
Microfibra de vidro (mic.) s.p.m	0,07%
Macrofibra de vidro (mac.) s.p.m	0,27%
Hexametáfosfato de sódio (hex.) s.p.s	0,50%

Fonte: Autora (2022).

A mistura MV01 apresentou os resultados de resistência à compressão axial dentro do estabelecido para este estudo (≥ 1 MPa), com resistência média de 2,46 MPa aos 7 dias. Viscosidade plástica aparente (t500) menor que 2 segundos, habilidade passante PJ de 72,50 mm e índice de estabilidade visual IEV 3. Dentre as três misturas, a MV01 apresentou o resultado da absorção de água mediano (30,83%) ficando apenas 1,52% acima do resultado encontrado para a mistura MV03 (30,36%). Apesar da mistura MV01 ter apresentado um percentual de absorção menor que os encontrados para as misturas com fibras de polipropileno, ele ainda se encontra acima do estabelecido para este estudo, que é de 20%, por isso, será necessária a realização do tratamento da superficial das paredes com a cura química e posterior impermeabilização com pintura a fim de realizar o combate à absorção de água.

O Gráfico 11 apresenta os componentes do traço MV01 em porcentagem da massa total. Nota-se que o solo é o material de maior consumo da mistura com cerca de 44,8% de massa total da mesma. Na sequência encontra-se a água com 27,5% seguida pela areia de RCC com 14,9% e o cimento com 12%. O traço apresenta pequenos percentuais para as adições que foram de 0,22% para o hexametáfosfato de sódio, 0,22% para o aditivo superplastificante e 0,07% para as microfibras e 0,27% para as macrofibras de vidro.

Gráfico 11 - Constituintes do traço MV01, em porcentagem da massa total.



Fonte: Autora (2022).

A utilização do hexametáfosfato de sódio será mantida na mistura, uma vez que, notou-se melhora na manutenção da trabalhabilidade da massa nos estudos secundário e terciário. Os ensaios no estado endurecido não apresentaram nenhuma interferência negativa ligada ao uso desta adição na mistura.

A Tabela 16 apresenta o consumo dos materiais para a obtenção de 1m³ de mistura, já a Tabela 17 apresenta as relações obtidas a partir do consumo dos materiais.

Tabela 16 - Consumo dos materiais por m³, traço MV01.

Material	Consumo (Kg/m ³)
Cimento	231,98
Solo	869,93
Areia RCC	289,98
Água	533,56
Superplastificante	4,18
Hexametáfosfato de sódio	4,35
Microfibra de vidro	1,20
Macrofibra de vidro	5,00

Fonte: Autora (2022).

Tabela 17 - Relações obtidas a partir do consumo dos materiais do traço MV01.

Relação	Valor
Água/ solo	61,33%
Cimento/ solo	26,67%
Areia RCC/ solo	33,33%
Hexametáfosfato de sódio/ solo	0,50%
Água/ cimento	2,30%
Superplastificante/ cimento	1,80%
Secos /cimento - secos (areia RCC + solo)	20,00%

Fonte: Autora (2022).

5.6. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO SELECIONADO

5.6.1 Controle tecnológico das misturas do SCAA

A avaliação experimental teve início na execução do protótipo, pois durante a produção das misturas foi realizado o ensaio de espalhamento com o mini cone de Abrams a fim de verificar a consistência das misturas e validar o seu uso. Neste mesmo momento da pesquisa, foram moldados corpos de prova 50x100mm para a realização de ensaios de compressão mecânica em laboratório. Ao total foram confeccionadas 27 betonadas para o completo preenchimento das paredes do protótipo, dos quais retiraram-se nove amostras para a realização do ensaio de espalhamento. As Figuras 48 e 49 mostram a realização do ensaio.

Figura 48 - Ensaio de mini cone de Abrams.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Figura 49 - Diâmetro de espalhamento.



Fonte: Autora (2023).

O fator a/c apresentou uma variação de 2,18 a 2,89, quando o valor estabelecido no traço era de 2,30 (Tabela 18). Outra característica apresentada nas misturas, relacionada a água de amassamento, foi a impossibilidade de estabelecer uma correlação direta entre o fator a/c e o diâmetro do espalhamento, ou seja, para um mesmo fator a/c foi possível encontrar diversos diâmetros. Essa característica também foi observada nos ensaios realizados em laboratório. Por isso, durante a produção do protótipo, foi estabelecida uma faixa maior de valores do

espalhamento para a aceitação da mistura, sendo esta de 210,00mm a 277,50mm para o ensaio executado com o mini cone de Abrams, que equivalem de 579,19mm a 765,36mm no espalhamento com o cone de Abrams convencional.

Tabela 18 - Verificação de consistência realizada em algumas amostras do protótipo.

Betonada	Fator a/c	Mini Espalhamento (mm)	Equivalência Espalhamento convencional (mm)	Altura do centro (mm)	Índice de Estabilidade visual
01	2,18	210,00	579,19	30	IEV 3
02	2,25	210,00	579,19	30	IEV 3
05	2,89	240,00	661,93	25	IEV 3
06	2,89	265,00	730,88	25	IEV 3
08	2,89	235,00	648,14	25	IEV 3
11	2,89	260,00	717,09	25	IEV 3
15	2,25	277,50	765,36	25	IEV 3
19	2,25	265,00	730,88	25	IEV 3
27	2,89	242,50	668,82	25	IEV 3

Fonte: Autora (2023).

Durante a execução do protótipo foram moldados 21 corpos de prova de 50x100mm para a realização de ensaios de compressão mecânica axial e diametral nas idades de 7, 14 e 28 dias. As amostras foram retiradas da betonada nº 08, a qual apresentou um fator a/c de 2,89. A Tabela 19 apresenta os resultados obtidos em cada idade.

O rompimento aos 7 dias apresentou resistência mecânica média próxima ao valor estipulado no início deste estudo, no mínimo 1 MPa aos 7 dias. Percebe-se que ao longo dos dias a resistência à compressão axial foi crescente alcançando 2,41 MPa aos 28 dias. Os valores obtidos para a compressão diametral aos 7 e 14 dias representam aproximadamente 21,66% da compressão axial encontradas nas duas idades. Porém, a compressão diametral aos 28 dias apresentou um decréscimo no suporte de carga, representando apenas 14,10% do valor encontrado na compressão axial aos 28 dias.

Tabela 19 - Resultados do ensaio de compressão realizados nos corpos de prova moldados durante a execução do protótipo

Resistência à compressão Axial (MPa)			Resistência à compressão Diametral (MPa)		
7 dias	14 dias	28 dias	7 dias	14 dias	28 dias
1,20	1,37	2,41	0,26	0,38	0,34

Fonte: Autora (2023).

Considerando os valores obtidos no controle tecnológico do protótipo, conclui-se que o fator a/c influenciou os resultados obtidos no ensaio de compressão apresentado na Tabela 19, uma vez que, esses apresentaram-se um pouco abaixo daqueles encontrados na dosagem do traço (Estudo Terciário). Contudo, o aumento do fator a/c em algumas betonadas foi necessário frente ao ajuste da plasticidade da mistura para o completo enchimento das formas das paredes e, este fato comprometeu a resistência à compressão de algumas betonadas. Contudo, ainda assim as amostras alcançaram o mínimo estabelecido neste estudo, 1MPa aos 7 dias.

5.6.2 Registro do processo de confecção do SCAA

A avaliação observacional realizada durante a execução do protótipo foi conduzida através do registro da confecção das misturas, do preenchimento das fôrmas, do ritmo de trabalho e da composição da equipe executora. Através da leitura da Tabela 20, observa-se que foi necessário um total de três betoneiras com capacidade de 400 litros para a execução das 27 misturas. O tempo de amassamento realizado por cada betoneira foi de aproximadamente 10 minutos, pois por vezes era necessário parar o equipamento para a retirada de amostras para a realização do ensaio de espalhamento, além da realização de análise tátil visual para avaliar a plasticidade da mistura. As Figuras 50 e 51 apresentam esta fase do estudo.

Figura 50 - Equipamentos utilizados na execução.



Fonte: autora (2023).

Figura 51 - Operador de betoneira.



Fonte: Ricardo Martins (2023).

Tabela 20 - Dados obtidos na execução do protótipo.

	(continua)
Quantidade de betoneiras (unid)	03
Misturas produzidas (unid)	27
Velocidade de produção/ betoneira	média

Tabela 20 - Dados obtidos na execução do protótipo.
(conclusão)

Tempo de amassamento (min)	10
Transporte das misturas	vertical
Lançamento das misturas	manual
Altura de queda (m)	3
Operadores de betoneira (pessoas)	06
Pedreiro (pessoas)	01
Montador (pessoas)	01
Equipe fiscalizadora (pessoas)	06

Fonte: Autora (2023).

Devido ao planejamento prévio realizado, onde todos os materiais necessários à confecção das paredes foram previamente separados e acondicionados junto ao local onde as betonadas seriam confeccionadas, não se verificou intercorrência nessa etapa produtiva das paredes. A estratégia de separação proposta facilitou o manuseio do material e forneceu rapidez ao processo de produção das misturas, devendo, portanto, este ser adotado em situações onde o material será produzido localmente, sem o fornecimento de material usinado.

A única intercorrência observada foi o vazamento no fundo das fôrmas do protótipo, que foram estancadas com o uso de areia/madeira, procedimento usualmente aplicado nas concretagens de estruturas de concreto.

A avaliação observacional foi realizada durante todo o processo executivo do protótipo e na desforma do artefato, com o objetivo de mapear possíveis patologias ocasionadas por falha operacional na moldagem in loco e, também, por possíveis falhas na dosagem da mistura. Essa observação se estendeu até os 28 dias da execução do artefato com vistas a mapear possíveis patologias ocasionadas por retração por secagem, solitação excessiva de carga e umidade. As Figuras 52 e 53 ilustram o processo de desforma, com aplicação imediata de cura química.

Figura 52 - Desforma fachada lateral direita.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 53 - Aplicação de cura química.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

5.6.3 Monitoramento e mapeamento patológico das paredes de SCAA

A desforma foi realizada com sucesso, contudo, foi observada a existência de algumas falhas de preenchimento, conhecidas popularmente como “bicheiras”. Essas falhas foram observadas em duas paredes do protótipo, na altura de aproximadamente 2,30 e 2,80 metros e podem ser observadas nas Figuras 54 e 55.

Figura 54 - Fachada lateral esquerda.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 55 - Falhas de preenchimento.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Imediatamente, essas patologias foram tratadas com preenchimento, usando material de mesmo traço utilizado na confecção das paredes, porém com menos adição de água e com a supressão do hexametáfosfato de sódio. Esse procedimento pode ser observado nas Figuras 56 e 57. As cavidades deixadas pelo encaixe das travas das formas foram preenchidas aos 14 dias com argamassa colante acrescida de metade do peso em massa de solo peneirado na peneira de 2mm.

Figura 56 - Preenchimento das falhas



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 57 - Preenchimento com colher de pedreiro.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Foram observadas outras falhas nas paredes do protótipo como pequenas bolhas ocasionadas pelo aprisionamento de ar e pequenos trechos de superfície irregular, além de alguns pontos em que os módulos das fôrmas não foram perfeitamente alinhados durante a montagem. Essas falhas podem ser observadas nas Figuras 58, 59, 60.

A qualidade das fôrmas é um dos aspectos que influencia no acabamento final das superfícies das paredes. Por se tratarem de fôrmas que estão sendo usadas na confecção de casas de concreto, a presença de material de concreto encrustado nas fôrmas em algumas posições acabou comprometendo o aspecto final das superfícies das paredes moldadas com SCAA. Essas falhas podem ser observadas na Figura 61. Destaca-se que estes tipos de patologia também são comuns nas paredes de concreto moldado in loco.

Figura 58 - Fachada posterior com patologia.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 59 - Patologia na fachada posterior



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 60 - Superfície irregular.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 61 - Trecho da parede desalinhada.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Sanadas as patologias decorrentes das falhas durante o processo de moldagem, as paredes receberam interna e externamente uma pintura com cura química (Figuras 62 e 63) com vistas a controlar a fuga da água de amassamento, objetivando assim fazer o controle de retração da argamassa de SCAA e evitar possíveis surgimentos de fissuras nas paredes.

Figura 62 - Aplicação da cura química e desmoldagem das fôrmas.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 63 - Aplicação da cura química para controle da saída de água.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Após a etapa da desforma foi iniciada a observação diária do protótipo afim de detectar o surgimento de possíveis patologias. Também foi realizado o registro fotográfico nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias. Aos 14 dias da execução do protótipo foi observado o surgimento de duas fissuras, F3 e F17 com aberturas menores que 1mm e comprimentos de 4,5mm e 17mm respectivamente. Na semana seguinte, aos 21 dias, foram detectadas vinte e três fissuras com diferentes aberturas e comprimentos. Já aos 28 dias foram detectadas mais vinte e cinco fissuras com aberturas e comprimentos variados (Tabela 21), totalizando assim, o mapeamento de 50 fissuras até os 28 dias de execução do protótipo. As Figuras 64 e 65 apresentam as fissuras F17

e F18 e a parede em que foram localizadas. As Figuras de 66 a 73 ilustram o mapeamento realizado nas quatro paredes do protótipo, interna e externamente.

Figura 64 - Fachada lateral esquerda.



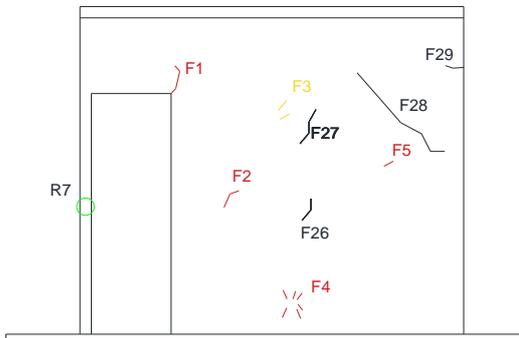
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 65 - Fissuras F17 e F18.



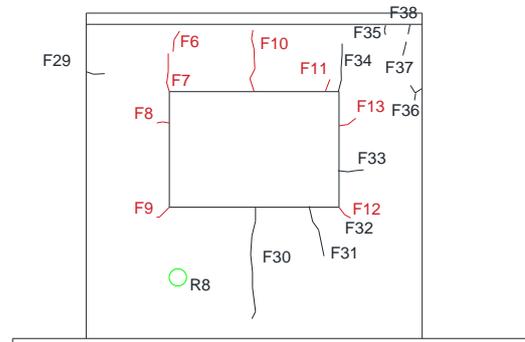
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 66 - Vista externa, parede frontal.



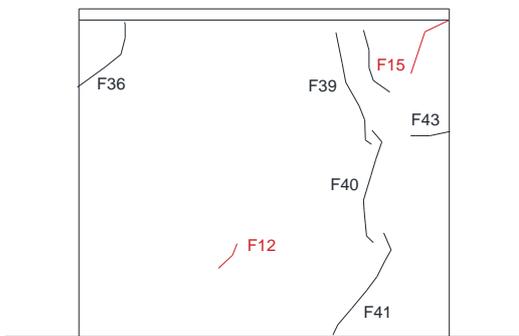
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 67 - Vista externa, parede lateral direita.



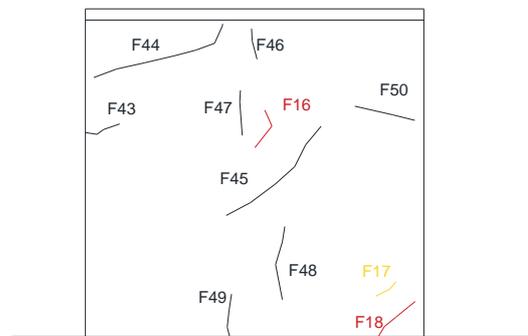
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 68 - Vista externa, parede posterior.



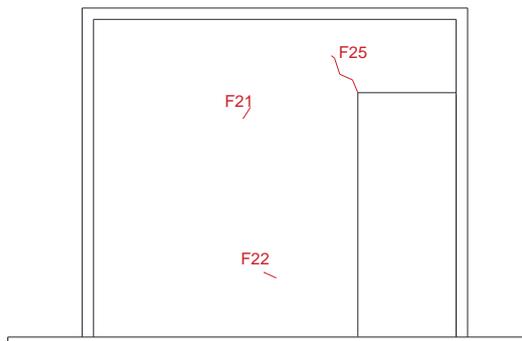
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 69 - Vista externa, parede lateral esquerda.



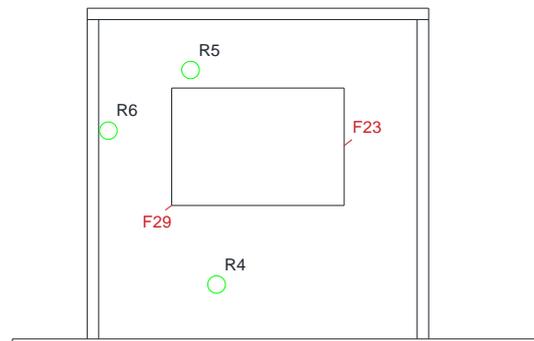
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 70 - Vista interna, parede frontal.



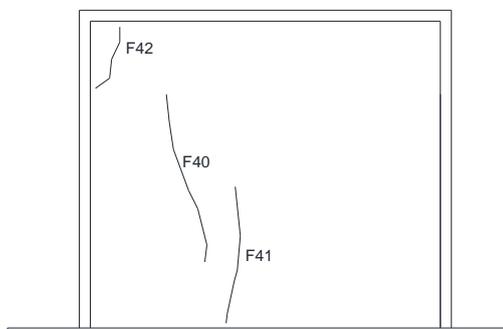
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 71 - Vista interna, parede lateral direita.



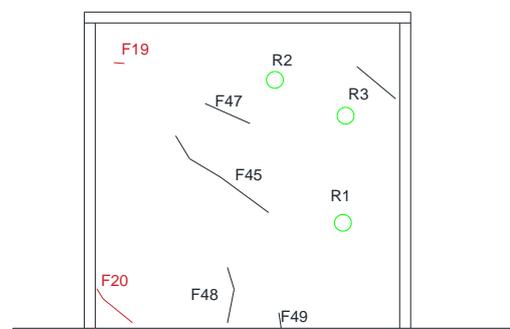
Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 72 - Vista interna, parede posterior.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 73 - Vista interna, parede lateral esquerda.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Tabela 21 - Classificação das fissuras indicadas no mapeamento das paredes do protótipo segundo a espessura e comprimento.

(continua)

Identificação	Período observação	Comprimento (mm)	Abertura (mm)
F3	14 dias	4 a 10	< 1
F2, F4, F9, F21, F22, F23, F24	21 dias		
F5, F6, F7, F8, F11, F12, F15, F16, F25	21 dias	11 a 20	
F38, F43, F32, F33	28 dias		
F17	14 dias		
F19, F20	28 dias	21 a 30	
F26	28 dias		
F27, F35, F37, F47, F50	28 dias	31 a 40	
F29	21 dias	41 a 30	
F30, F34	28 dias		
F10	21 dias	51 a 60	
F31, F41, F46	28 dias		
F39	28 dias	61 a 70	

Tabela 21 – Classificação das fissuras indicadas no mapeamento das paredes do protótipo segundo a espessura e comprimento. (conclusão)

Identificação	Período observação	Comprimento (mm)	Abertura (mm)
F49	28 dias	71 a 80	< 1
F42	28 dias	91 a 100	
F44, F36	28 dias	101 a 110	
F1	21 dias	31 a 40	1,0 a 1,5
F14	21 dias	41 a 50	
F13	21 dias	51 a 60	
F48	28 dias		
F40	28 dias	182	1,5 a 3,0
F18	21 dias	31 a 40	
F45	28 dias	111 a 120	
F28	28 dias	131 a 140	

Fonte: Autora (2023).

Segundo Bauer (2014), em todas as construções de concreto que consequentemente utiliza-se do cimento, é suscetível o aparecimento de fissuras que podem ser observadas após anos, semanas ou dias. Neste protótipo de pesquisa foram observadas fissuras discretas a partir do 14º dia de execução, contudo, na medição da semana seguinte a quantidade dessa patologia aumentou em aproximadamente 1000%. Esse comportamento apresentou-se contraditório quando comparado ao ensaio de variação dimensional realizado na terceira fase desta pesquisa, onde a introdução de micro e macrofibra de vidro proporciona um considerável controle da retração.

Os valores encontrados no ensaio de variação dimensional revelaram uma retração e perda de massa significativa aos sete primeiros dias do ensaio para a mistura MV01, mistura essa que foi usada na produção do protótipo. Após esse período de tempo, foi observada uma estabilização nas variações dimensionais e de massa dos corpos de prova até os 28 dias, data de finalização do ensaio. Portanto, os próximos passos da pesquisa devem focar em entender porque a reação do protótipo não apresentou correlação a reação das misturas ensaiadas em laboratório com vistas a solucionar esse comportamento das misturas de SCAA.

Outra patologia observada no pós-derforma, foi o surgimento de alterações biológicas como mofo e bolor que se instalaram majoritariamente na parte interna do protótipo. Essa característica foi observada aos 21 dias com o surgimento de seis focos localizados em duas paredes. Aos 25 dias apareceram mais dois focos localizados na parte externa do protótipo. A

maior parte dos focos estavam localizados na parte superior e inferior das paredes, apresentando coloração branca com pontos pretos (Figuras 74 e 75).

Figura 74 - Fachada frontal, vista interna.



Fonte: autora (2023).

Figura 75 - Mofo e bolor, parede interna.



Fonte: autora (2023).

O surgimento dessa patologia está relacionado às condições atmosféricas do período de construção do protótipo e da elevada capacidade de absorção de água da mistura de SCAA. A mistura MV01, utilizada no protótipo, apresentou a absorção de 30,83% e índice de vazios de 45,27% nos ensaios realizados na terceira etapa desta pesquisa. Somados a isso, tem-se o valor elevado do fator água/cimento utilizado no amassamento da mistura, que variou de 2,18 a 2,89 e os elevados valores de índices pluviométricos registrados na cidade de Cuiabá-MT para os meses de janeiro e fevereiro de 2023 (215mm e 210mm). Esses fatores podem ter favorecido a instalação do mofo e bolor nas paredes do protótipo. Essa patologia foi sanada antes do processo de pintura das paredes por meio de escovamento e aplicação de água sanitária, com posterior selamento das paredes.

Por fim, a última patologia constatada refere-se ao mau posicionamento dos vergalhões de fibra de vidro durante a etapa da montagem das armaduras e fôrmas. Como o vergalhão ficou posicionado muito próximo à superfície da parede, quando este foi tracionado devido aos esforços solicitantes, houve o rompimento da pequena espessura de camada que o ancorava e o protegia, vindo o vergalhão a ficar exposto. Assim, o correto posicionamento dos vergalhões durante a etapa de montagem das fôrmas é de fundamental importância para evitar essa patologia nos sistemas de paredes monolíticas de SCAA. Também deve-se atentar, durante a etapa de projeto, para não posicionar uma elevada taxa de armadura em locais com pouco espaço útil para acomodar tais armaduras, como é o caso do canto da parede ilustrado na Figura 77. Para sanar essa patologia, realizou-se nova aplicação de argamassa de SCAA sobre os

vergalhões de fibra de vidro, dando-se o devido acabamento final junto a extremidade da parede. Essa patologia pode ser observada nas Figuras 76 e 77.

Figura 76 - Fachada frontal com armação exposta.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

Figura 77 - Armação exposta próxima a porta.



Fonte: Marcelo Cruz Neto (2023).

O tratamento das fissuras, tanto externas quanto internas, requereu procedimento específico para saná-las. Para tanto, aplicou-se sobre elas uma camada de membrana de polímero acrílico sem cimento com vistas a fazer a sua impermeabilização. Na sequência, estendeu-se uma manta de fibra de vidro sobre a fissura, que recebeu uma nova camada de membrana de polímero acrílico (Figuras 78 e 79). Após o tempo de cura da membrana, realizou-se o selamento das paredes externas e internas.

Figura 78 - Tratamento de fissuras, fachadas frontal e lateral direita.



Fonte: Autora (2023).

Figura 79 - Aplicação de selador acrílico, fachada lateral esquerda.



Fonte: Autora (2023).

Após o tratamento das fissuras, as paredes receberam a aplicação dos acabamentos. As paredes internas receberam pintura a base PVA branca e as paredes externas massa e textura acrílica PVA. Durante o período de observação do protótipo ainda foram realizados outros serviços como o assentamento de revestimento cerâmico no contrapiso e a construção de um telhado com estrutura de madeira e telhas de fibrocimento ondulada. As Figuras de 80 a 83 ilustram todas as fachadas do protótipo finalizado.

Figura 80 - Fachada frontal finalizada.



Fonte: Ivan Callejas (2023).

Figura 81 - Fachada lateral direita finalizada.



Fonte: Ivan Callejas (2023).

Figura 82 - Fachada posterior finalizada.



Fonte: Ivan Callejas (2023).

Figura 83 - Fachada lateral esquerda finalizada.



Fonte: Ivan Callejas (2023).

Cabe aqui ressaltar, que o processo de fissuração continuou a se desenvolver nas paredes do protótipo após a finalização da construção. Até a presente data de elaboração desta dissertação, surgiram várias fissuras na parte interna, indicando que o sucesso da tecnologia do solo-cimento autoadensável passa pela necessidade de se controlar o processo de retração dessa argamassa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi executada a construção de um protótipo de um sistema de vedação vertical em solo-cimento autoadensável. Para isso, foi necessário o aperfeiçoamento do traço de solo-cimento autoadensável proposto por Simioni (2019) através de adições de fibras sintéticas com fins ao controle da retração do compósito. Logo, foi necessária a realização do estudo de dosagem do traço com posterior aplicação do mesmo no canteiro de obras.

No desenvolvimento do trabalho foram realizados três estudos de dosagem, a saber: a) estudo primário; b) estudo secundário; e c) estudo terciário. No estudo primário foram confeccionadas misturas idênticas a proposta por Simioni (2019) com os mesmos fatores a/c e percentual de superplastificante, contando com a adição de 0,1% de microfibras de polipropileno. No estudo secundário foram confeccionadas misturas com o mesmo traço, porém com novos percentuais de água e aditivo, além da adição de microfibras de polipropileno com percentuais variados. No estudo terciário foram confeccionadas misturas idênticas ao estudo secundário, ou seja, com o mesmo traço, fator a/c e percentual de superplastificante, com adição de micro e macrofibras de vidro em diferentes percentuais.

No estudo primário, notou-se que o fator a/c estipulado por Simioni (2019) era insuficiente para que a mistura atingisse a trabalhabilidade requerida, por isso, foi necessário aumentar o percentual de água de amassamento das misturas juntamente com o percentual do superplastificante. Outra característica observada nesta etapa foi a rápida perda de plasticidade da mistura, por isso, foi realizada a adição de um novo componente no traço, o hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)⁶ com vistas a contribuir no melhoramento da manutenção da fluidez da mistura. Apesar do aumento considerável do fator a/c as misturas mostraram-se estáveis, considerando que não apresentaram segregação e nem exsudação.

Estabelecidas novas porcentagens de água, de superplastificante e do hexametáfosfato de sódio para a dosagem, foi realizado o estudo secundário com a adição de microfibras de polipropileno em três percentuais, a saber: 0,05%, 0,1% e 0,2% em relação à massa total da mistura, além de duas misturas de controle, denominadas de mistura referência (REF00 e REF01).

O estudo terciário consistiu na experimentação de outro tipo de fibra através da adição da combinação de micro e macrofibras de vidro em diferentes percentuais: 0,07% de microfibras; 0,07% de microfibras e 0,27% de macrofibras; 0,07% de microfibras e 0,54% de macrofibras; e 0,07% de microfibras e 0,82% de macrofibras em relação à massa total da mistura, visando a verificação da possibilidade de ganhos mais consistentes no ensaio de retração.

Os testes no estado fresco com as misturas que continham as fibras de polipropileno constataram que quanto maior o percentual de fibras maior é a necessidade do aumento da água de amassamento para equilibrar a fluidez da mistura. Já as misturas com adição de fibras de vidro não apresentaram variação significativa na trabalhabilidade da massa, e isso pode ser constatado no fator a/c das misturas, que ficaram muito próximos. A inserção do hexametáfosfato de sódio trouxe ganhos importantíssimos para o manejo do solo-cimento autoadensável no canteiro de obras, com o registro em laboratório de um tempo hábil de 45 minutos para o manejo.

Os compósitos produzidos com a fibra de polipropileno apresentaram resistência à compressão axial na faixa de 2,47 a 3,25 MPa aos 28 dias, enquanto que a mistura REF01 apresentou o valor médio de 3,33MPa. Os menores valores da compressão foram verificados para as misturas com maior percentual de fibra, que por sua vez apresentaram um maior percentual de água de amassamento. Já os corpos de prova produzidos com fibra de vidro apresentaram a resistência à compressão axial na faixa de 2,23 a 3,95 MPa aos 28 dias. Todas as misturas produzidas alcançaram o desempenho mínimo estabelecido, que é de 1,00 MPa aos 7 dias.

O resultado para o ensaio de absorção de água e índice de vazios (aos 28 dias) nas misturas com adição de fibras de polipropileno apresentou pouca variação entre as amostras (de 33,49% a 34,62% para a absorção de água e de 46,16% a 47,34% para o índice de vazios). Essa baixa variação de absorção e vazios também pode ser observados nas misturas compostas por fibras de vidro (de 30,36 a 32,04% para a absorção e de 45,03 a 46,28% para o índice de vazios). Contudo, pode-se concluir que a adição de fibras de vidro influenciou menos nesses índices, uma vez que, os valores ficaram mais próximos da mistura referência REF01 (absorção de 31,39% e 44,41% de índice de vazios). Pode-se atribuir essa diferença de resultado entre as misturas com fibras de polipropileno e as com fibra de vidro ao fator a/c utilizado na confecção das mesmas, pois quanto maior o percentual de água, maior será a quantidade de vazios deixados no processo de evaporação. Nenhuma das misturas manteve-se dentro do limite de absorção de água estabelecido ($\leq 20\%$).

O ensaio de absorção por capilaridade (ao final das 72 horas) para as misturas com fibra de polipropileno variou de 4,58 a 4,71 g/cm². A absorção foi mais expressiva nas primeiras 24 horas com estabilização após esse tempo. A adição das fibras não influenciou significativamente o resultado do ensaio, visto que, ao final do experimento a mistura referência (REF01) apresentou a absorção bem próxima as misturas com fibras (4,50 g/cm²). Já os

resultados alcançados para as misturas com adição de fibra de vidro demonstraram que a adição dessa fibra proporcionou uma redução da absorção por capilaridade em três amostras ensaiadas MV01, MV02 e MV03 (que possuíam incrementos de macrofibra de vidro), pois os resultados entre essas misturas apresentaram variação de 3,88 a 4,25 g/cm² (ao final das 72 horas), enquanto que a mistura REF01 apresentou absorção de 4,50 g/cm² ao final do ensaio. Contudo, a mistura MV00, a qual possuía somente a adição de microfibra de vidro (0,07%), apresentou a absorção um pouco maior (4,77 g/cm²).

Os corpos de prova com fibra de polipropileno submetidos ao ensaio de variação dimensional revelaram que até o sétimo dia de medição houve pouca variação nos comprimentos das barras (-0,19 a -0,26 mm/m), porém o efeito da retração intensificou-se no intervalo entre o sétimo a décimo quarto dia com tendência de estabilização após essa idade (-7,54 a -9,02 mm/m aos 28 dias). Já a mistura REF01 apresentou os seguintes resultados referentes aos 7 e 28º dia de medição: -0,26 e -8,60. Apesar de ser possível observar uma diminuição na retração (aos 28 dias) de duas misturas compostas por fibra de polipropileno (M01 com -7,94 mm/m e M02 com -7,54 mm/m), ela não se mostra eficiente para o combate da fissuração no compósito, uma vez que, de acordo com as recomendações do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB, 1993), as misturas apresentam alta susceptibilidade (>1,2mm/m) à fissuração.

Já os corpos de prova produzidos com a fibra de vidro e submetidos ao ensaio de variação dimensional revelaram uma retração significativa nos sete primeiros dias do ensaio em três amostras (MV00 com -5,21mm/m, MV 01 com -6,04 mm/m e MV02 com -5,12), as quais possuíam as menores adições de fibra de vidro. Apesar da mistura REF01 ter apresentado o melhor desempenho até o sétimo dia do ensaio (-0,26 mm/m), as misturas com adição de fibra destacaram-se positivamente nos resultados após o 7º dia de análise. A mistura MV03 apresentou o melhor desempenho aos 28 dias, com retração de -1,44mm/m.

Diante dos resultados, decidiu-se adotar duas misturas para a confecção do protótipo, sendo elas M02 e MV01, ambas com adição de fibras sendo a primeira 0,1% de microfibra de polipropileno e a segunda composta por uma composição de 0,07% de microfibra de vidro e 0,27% de macrofibra de vidro. Foram utilizadas duas misturas diferentes, pois no momento de construção da fundação do protótipo, os estudos da Terceira Etapa (com fibra de vidro) ainda estavam em desenvolvimento. Dentre as misturas confeccionadas com a fibra de polipropileno, a M02 apresentou-se como a mais vantajosa no ensaio de retração. A resistência à compressão axial alcançou o valor de 1,72 MPa aos 7 dias (\geq 1MPa), viscosidade plástica aparente (t500)

menor que 2 segundos, habilidade passante PJ de 32,50 mm e índice de estabilidade visual IEV 3, contudo, a absorção de água (34,62%) apresentou-se superior ao valor estabelecido para este estudo ($\leq 20\%$).

As paredes foram executadas com a mistura MV01, pois esta apresentou-se como a mais vantajosa no ensaio de retração quando comparada à mistura MV02. Os corpos de prova confeccionados com essa mistura apresentaram uma redução de 30,58% da retração aos 28 dias quando comparados com as amostras da mistura REF01. A resistência à compressão axial alcançou o valor de 2,46 MPa aos 7 dias (≥ 1 MPa), viscosidade plástica aparente (t500) menor que 2 segundos, habilidade passante PJ de 72,50 mm e índice de estabilidade visual IEV 3, contudo, a absorção de água (30,36%) apresentou-se superior ao valor estabelecido para este estudo ($\leq 20\%$).

A construção do protótipo ocorreu sem nenhuma intercorrência, sendo necessário apenas o ajuste do fator a/c, em algumas das betonadas mediante o teste de abatimento com o mini cone de Abrams. A adição do hexametáfosfato de sódio permitiu que a mistura fosse passível de ser fabricada, transportada e lançada nas fôrmas, tornando possível a transposição da produção laboratorial para a industrial.

A mistura de solo-cimento autoadensável foi bem sucedida no quesito do preenchimento das fôrmas, não apresentando nenhum trecho de sedimentação nas paredes, apenas alguns poucos pontos com falhas de preenchimento na parte superior do protótipo, comuns também no sistema construtivo de paredes de concreto. Sendo assim, conclui-se que a utilização do sistema construtivo de paredes de concreto pode ser aplicado também para sistemas de vedação verticais executados com solo-cimento autoadensável.

Foram constatadas outras patologias transcorridos alguns dias após a desforma, como a presença de fissuras nas paredes do protótipo. Essa patologia só se manifestou após os 14 dias da execução e se intensificou com o passar do tempo. O comportamento do protótipo não se apresentou coerente com o ensaio de variação dimensional realizado em laboratório, visto que as retrações observada nos corpos de prova apresentaram-se mais intensas nos sete primeiros dias de medição, sendo que entre o décimo quarto e o vigésimo oitavo dia, o efeito alcançou estabilização. Pode-se atribuir este efeito controverso, experimentado no protótipo, à intensificação da evaporação da água a partir do décimo quarto dia, que pode ter se dado através da diminuição da eficácia do agente de cura química aplicado após a desforma. Outra patologia registrada foi a presença de mofo e bolor nas paredes que pode estar diretamente ligado à

porosidade do material, observada no ensaio de absorção de água e índice de vazios (executados na fase laboratorial).

Foi realizado o tratamento das fissuras, contudo, até o presente momento, o processo de fissuração continua a se desenvolver e está sendo monitorado, sendo que esta abordagem não é incluída no escopo desta dissertação. A presença do mofo e bolor poderia comprometer o sistema construtivo, porém ele foi contornado com a aplicação de revestimento externo em textura. Não foi observada nenhuma mancha de umidade dentro do ambiente do protótipo após a impermeabilização com pintura.

Considerando os fatos relatados, pode-se dizer que a prototipagem do sistema de vedação vertical em solo-cimento autoadensável foi realizada com sucesso em alguns aspectos. A manutenção da trabalhabilidade da massa foi o primeiro desafio superado nesta pesquisa através da adição do hexametáfosfato de sódio na mistura, que proporcionou um tempo hábil de fluidez para as etapas de confecção, transporte e lançamento das misturas. A apropriação do sistema construtivo utilizado para a confecção de paredes de concreto mostrou-se eficaz para a execução das paredes em solo-cimento autoadensável, pois o processo de moldagem e desmoldagem ocorreram conforme o planejado. Contudo, o controle da retração do compósito não se apresentou eficaz, visto que em ambiente laboratorial, a utilização das fibras de vidro demonstrou um adequado ganho no controle da retração, porém, esse resultado não foi alcançado em ambiente e escala real. Portanto, é preciso continuar investigando a origem desse efeito e encontrar alternativas para saná-los antes que o sistema possa ser considerado apto e posto em condição de uso.

Os resultados deste estudo se limitam ao estudo do solo-cimento autoadensável composto primariamente por um latossolo vermelho amarelo extraído na baixada cuiabana e uma areia de RCC. A variação das jazidas de extração, bem como a coleta desses materiais podem influenciar nas características minerais e granulométricas dos mesmos, que pode comprometer a replicabilidade desta pesquisa. Outros fatores como condições climáticas e executivas também podem influenciar nos resultados de trabalhos futuros.

Nesse sentido, vislumbra-se para trabalhos futuros, aprofundar os estudos sobre o processo de retração das misturas, através da identificação de possíveis níveis de tensões que são gerados dentro do compósito. Esta estratégia pode contribuir para aperfeiçoar a resistência do compósito, com vistas a ganharem resistência suficiente para evitar o surgimento de fissuras atribuídas a este efeito. Outra alternativa seria utilizar uma taxa mais elevada das fibras de vidro, visando trazer a retração a níveis próximos a aqueles observados nas argamassas comuns, como

ocorreu com o uso de fibra de vidro com percentual de 0,07% de microfibra e 0,82% de macrofibra. Ainda se vislumbra a perspectiva de investigar um aditivo/ componente que seja agregado a mistura de SCAA e que tenha capacidade de atuar especificamente no efeito de retração, neutralizando-o, ou então que seja capaz de reduzir significativamente o fator água/cimento das misturas.

7 REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. A. M.; NUNES, S. C. B.; RIO, J. F. M. E.; LIMA, D. C. Rheology and mechanical aspects of a self-compacting soil-cement in the fresh state. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.22, n.3, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13553**: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1**: Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**: Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland, requisitos. Rio de Janeiro, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018b.

BAUER, E.; SALOMÃO, M. C.; RODRIGUES FILHO, H. Avaliação de argamassas industrializadas quanto à capilaridade e retração de acordo com os critérios da NBR 13281 e do método MERUC/CSTB. In: XI SBTA - **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Porto Alegre, RS.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **CSTB. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation** – Cahier MERUC. Livraison 341, cahier 2669- 3, juillet-août 1993. Paris, 1993.

DRESCH, A., LACERDA, D. P., ANTUNES JÚNIOR J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alefre: Bookman, 2015.

MARTINS, A. P. S. **Desenvolvimento, Caracterização Mecânica e Durabilidade de Compósitos Solo-Cimento Autoadensáveis Reforçados Com Fibras De Sisal**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro – RJ, 2014.

MOEVUS, M.; CLOQUET, B.; COUVREUR, L.; FONTAINE, L.; ANGER R.; DOAT, P. **Béton d'argile environnemental 2010 – 2013**: résultats d'un programme de recherche tourné vers l'application. 2 ed. à maco et CRAterre - AE&CC-ENSAG. 2016. p. 45.

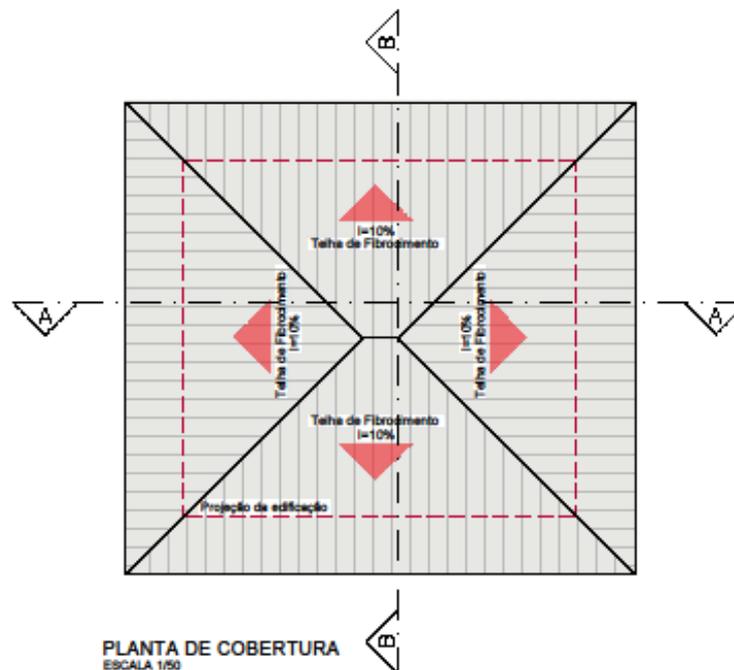
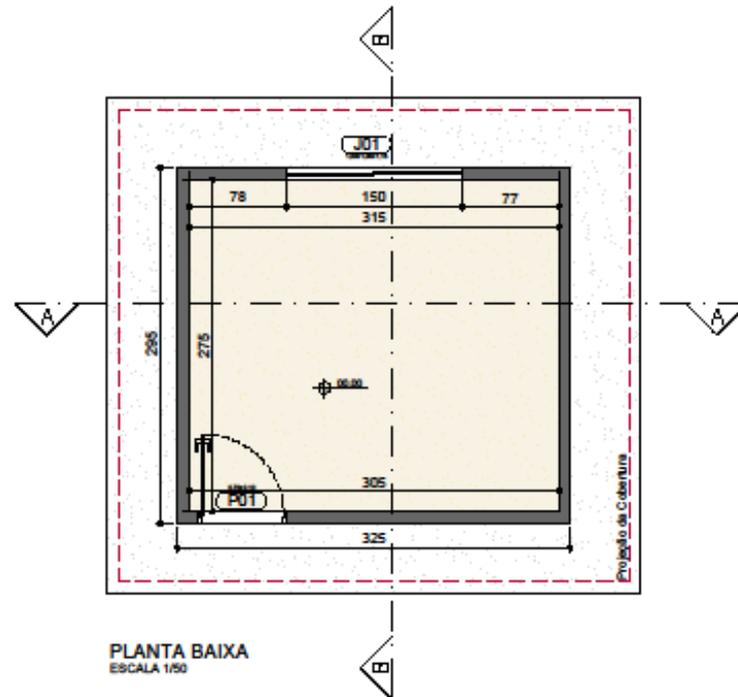
OWENS CORNING. **Anti-crack hp 67/36, proven engineered performance**. 2021.
Disponível em: https://dcpd6wotaa0mb.cloudfront.net/mdms/dms/CSB/10024471/10024471-Anti-CRAK-HP-67_36-Product-Data-Sheet.pdf?v=1612431076000. Acesso em 01 jun, 2022.

PINEL, A.; JORGE, Y.; OLAGNON, C.; CHARLOT, A.; FLEURY, E. Towards poured earth construction mimicking cement solidification: demonstration of feasibility via a biosourced polymer. **Materials and Structures**, v. 50, n. 5, p. 244, 2017.

SIMIONI, F. C. **Caracterização físico-mecânica de misturas de solo-cimento autoadensável com incorporação de areia de resíduo de construção civil**. Cuiabá, 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2019.

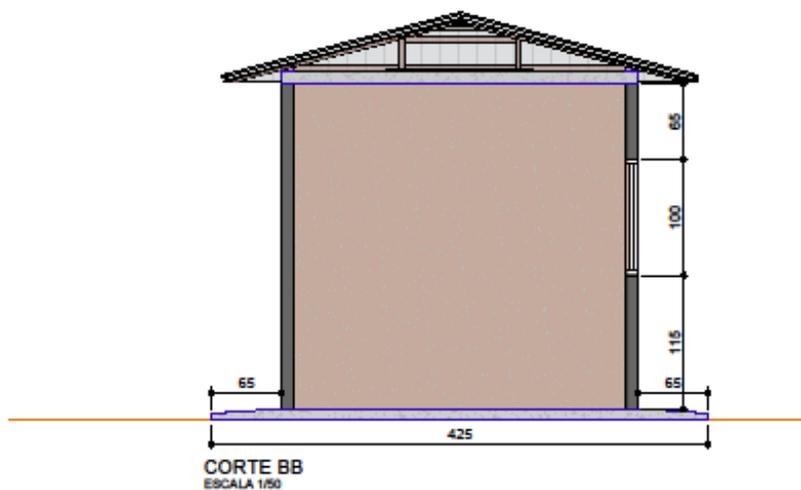
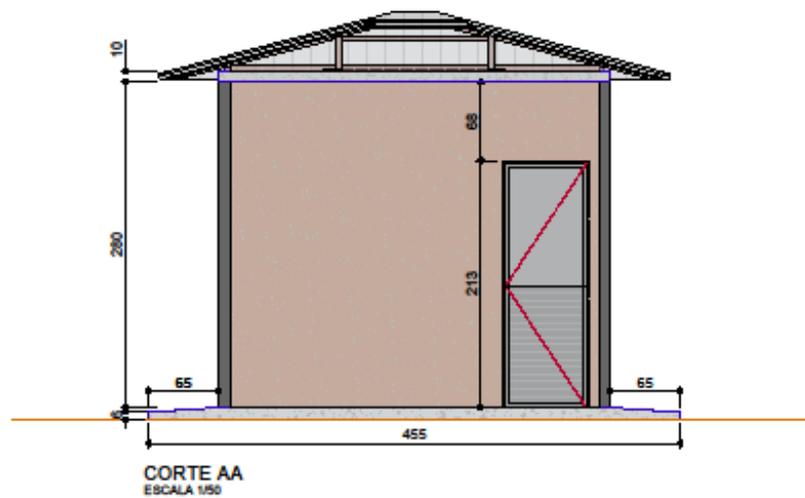
TELLI, F. H., LIBRELOTTO, L. I. **Sistemas Construtivos Aplicados à HIS - Etapa 2**. Relatório final apresentado ao PIBIC – CNPq. (2013 – 2014). Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/193537/%5BRelat%C3%B3rio%20Final%5D%20Francielli%20Hang%20Telli%2002-09-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 12 nov, 2022.

APÊNDICE A – Planta baixa e planta de cobertura do protótipo



RESPONSÁVEL	FAPEMAT	ASSUNTO	Planta Baixa e de Cobertura	FOLHA Nº	01/03
DATA	25/07/2022	LOCAL	-	ESCALA	

APÊNDICE B – Corte AA e BB do protótipo



RESPONSÁVEL	FAPEMAT	ASSUNTO	Cortes	FOLHA Nº	02/03
DATA	25/07/2022	LOCAL	-	ESCALA	

APÊNDICE C – Fachadas frontal, lateral e posterior do protótipo

