



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS SERTÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

KARLA JULIANA CORDEIRO COSTA

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO
DE FIBROCIMENTO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO**

Delmiro Gouveia – AL

2021

KARLA JULIANA CORDEIRO COSTA

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE FIBROCIMENTO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao programa de graduação da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção de grau acadêmico (Bacharelado) no curso de Engenharia Civil da UFAL – Campus Sertão.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima.

Delmiro Gouveia – AL

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

C837a Costa, Karla Juliana Cordeiro

Análise da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de fibrocimento na produção de argamassa de assentamento / Karla Juliana Cordeiro Costa. – 2021.

71 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2021.

1. Construção civil. 2. Resíduos. 3. Agregado miúdo. 4. Argamassa. 5. Resíduos da construção civil. I. Lima, Alexandre Nascimento de. II. Título.

CDU: 624.01

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTORA: KARLA JULIANA CORDEIRO COSTA

Análise da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de fibrocimento na produção de argamassa de assentamento

(Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, da Universidade
Federal de Alagoas – Campus Sertão)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo
docente da Universidade Federal de Alagoas e
aprovado em 20 de novembro de 2021.

Alexandre Nascimento de Lima

Mestre Alexandre Nascimento de Lima, Universidade Federal de Alagoas - Orientador

Banca Examinadora:

Rogério de Jesus Santos

Mestre Rogério de Jesus Santos, Universidade Federal de Alagoas

Rafael Alves da Silva

Engenheiro Civil, Rafael Alves da Silva

A Deus, minha família, amigos e ao meu namorado que contribuíram da forma mais sincera na minha trajetória até aqui. Em especial a minha avó Maria Lourdes que concluiu sua caminhada aqui na Terra e foi ao encontro de Deus Pai em 2021.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado o dom da vida e me capacitado para trilhar o caminho até aqui. Foram anos difíceis, com muitas pedras no caminho e Ele sempre segurou na minha mão quando passava pelo vale das sombras. Houve alegrias e Ele me honrou em cada vitória.

Em segundo lugar, agradeço a minha família. Meu pai, José Carlos Ferreira da Costa e a minha mãe, Severina Cordeiro dos Santos Costa, que jamais desistiram de mim e se sacrificaram todos os dias, incansavelmente e incondicionalmente. Apesar de não terem tido tanto acesso a educação sempre tiveram como prioridade a minha educação bem como a dos meus irmãos. Minha irmã, Marília Cordeiro Costa, compartilhamos dificuldades, sempre nos apoiando para que cada uma alcançasse seu objetivo. Ao meu irmão, José Vinicius Cordeiro Costa, que sempre que pôde esteve presente e quando não podia, torcia por mim enquanto eu também torcia por ele. Ao meu namorado, Mateus Henrique Rodrigues Galindo, que sempre esteve ao meu lado mesmo distante, madrugadas a fio me dando apoio emocional e me fazendo companhia, mesmo que virtualmente, durante as minhas atividades. Em especial, meu grande agradecimento a minha prima, Adriana Cordeiro Alves, que desde sempre foi símbolo do amor pela educação na família, que sempre esteve presente, desde quando aprendia o alfabeto.

Agradeço todas as amigadas que construí durante a graduação e os anos que morei em Delmiro Gouveia-AL. Gostaria de começar agradecendo Dinho, um vizinho que virou um grande amigo e que sempre terá um lugar especial no meu coração. Conhecemo-nos perdidos, sorte que a gente se encontrou e foi uma jornada linda, de muita alegria, descobertas, choros e de muito companheirismo: fomos fortalezas um do outro por muitos momentos! Também tenho enorme gratidão a Iolanda Victória, Josilane, Letícia e Thauany Alves Pastor, do grupo Luluzinhas, que sempre foram constantes na montanha russa da vida durante todos os anos, nas viradas estudando, nos perrengues da vida e nos momentos mais leves. Ao Rafael Alves, que foi o meu primeiro amigo na UFAL e segue até hoje, ao Bruno Santos, Eleilton, Ericson, Gisele Rocha, Guilherme Almeida Juliano, Leandro e Sanderson Mendes, meus amigos queridos que sempre que podiam contribuíram com o meu aprendizado durante a graduação e além. Sem dúvidas, não poderia faltar aqui Thainá Maria, Thaís Maria, Gabriel Homci e Victória Cristine, as amigas que sempre estiveram comigo pro que desse e viesse, não importando a distância e o tempo.

Ao Time Enactus UFAL Sertão, que é parte do meu coração, minha eterna gratidão pois foi onde encontrei o meu caminho na vida profissional e iluminou meus passos até aqui. Desejo que todos possam se sentir contemplados pela alegria e paixão que a missão do Time desperta em cada enactor.

Minha gratidão aos funcionários da UFAL Campus Sertão, que sempre com muita atenção e carinho traziam alegria e auxílio em tudo que puderam. Aos estagiários do Laboratório de Materiais, Saul e Janicléia, que me ajudaram durante as atividades deste trabalho.

Por último e não menos importante, gostaria de agradecer ao meu orientador, Alexandre Nascimento de Lima, pela alegria de todos os dias durante a elaboração deste trabalho, pela amizade, pela trilha sonora, pela solicitude e por, mesmo sem saber, ter sido um grande alento durante todos os tempos sombrios que precisei sobreviver durante este ano. Muito obrigada!

If wanna make the world a better place, take a
look at yourself and make that change.

Michael Jackson

RESUMO

A Construção Civil assume uma grande importância na economia brasileira e também é responsável por alto consumo dos recursos naturais. Além de consumir muita matéria prima retirada da natureza, os Resíduos da Construção Civil (RCC) representam um enorme volume quando comparado aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Desse modo, os impactos ambientais são significativos. E é dentro deste cenário que o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento reológico e físico-mecânico de argamassa produzida com resíduo de artefatos de fibrocimento tratado, como substituto parcial do agregado miúdo. Para tanto, faz-se um comparativo entre as propriedades da argamassa convencional e da argamassa com o resíduo de fibrocimento no estado fresco (consistência) e no estado endurecido (resistência à tração na flexão, resistência à compressão e absorção por capilaridade). Para o beneficiamento do resíduo de fibrocimento foi utilizado um equipamento de Abrasão Los Angeles após a limpeza do material e para o estudo do comportamento reológico e físico-mecânico foram aplicadas as metodologias apresentadas na NM 248 (ABNT, 2003), NBR 16541 (ABNT, 2016), NBR 13276 (ABNT, 2016), NBR 13279 (ABNT, 2005) e NBR 15259 (ABNT, 2005). Os estudos de consistência apontaram a necessidade do uso de aditivo plastificante a partir de 15% de substituição. O agregado miúdo natural e o agregado miúdo de resíduo de fibrocimento tiveram suas curvas granulométricas determinadas e comparadas. A resistência à tração na flexão e à compressão obtiveram aumentos em comparação ao traço de referência a partir de 15% de substituição e os índices de capilaridade foram menores em comparação ao traço de referência também a partir de 15%. Apesar dos resultados terem sido satisfatórios, o tempo de processamento no equipamento de Abrasão Los Angeles e o alto consumo de aditivo plastificante fazem com que o uso do resíduo de fibrocimento não seja satisfatório.

Palavras-chave: Resíduos da Construção Civil; Agregado Miúdo; Argamassa; Equipamento de Abrasão Los Angeles; Fibrocimento.

ABSTRACT

The Civil Construction assumes a great importance in the Brazilian economy and is also responsible for high consumption of natural resources. Besides consuming a lot of raw materials taken from nature, the Civil Construction Waste (CCW) represent a huge volume when compared to the Solid Urban Waste (SUW). Thus, the environmental impacts are significant. And it is within this scenario that the present work aims to analyze the rheological and physical-mechanical behavior of mortar produced with treated fiber-cement artifacts waste as a partial substitute for fine aggregate. For this purpose, a comparison is made between the properties of conventional mortar and one with fiber-cement waste in the fresh (consistency) and in the hardened (flexural tensile strength, compressive strength and capillary absorption) states. For the processing of fiber-cement waste, a Los Angeles Abrasion equipment was used after cleaning the material and for the study of the rheological and physical-mechanical behavior the methodologies presented in NM 248 (ABNT, 2003), NBR 16541 (ABNT, 2016), NBR 13276 (ABNT, 2016), NBR 13279 (ABNT, 2005) and NBR 15259 (ABNT, 2005) were applied. The consistency studies indicated the need for the use of plasticizer admixture from 15% of substitution on. The natural fine aggregate and the fine aggregate from fiber-cement waste had their granulometric curves determined and compared. The flexural tensile and compressive strengths increased compared to the reference mixture from 15% of substitution on and the capillarity indexes were lower compared to the reference mixture also from 15% on. Although the results have been satisfactory, the processing time in the Los Angeles Abrasion Equipment and the high consumption of plasticizer admixture make the use of fiber cement waste unsatisfactory.

Key words: Civil Construction Waste; Fine Aggregate; Mortar; Los Angeles Abrasion Equipment; Fiber-cement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Variação da retenção de água para diferentes argamassas.....	26
Figura 2– Telhado de fibrocimento	27
Figura 3- Moinho de Bolas para Minérios tipo Bond.....	28
Figura 4 – Equipamento de Abrasão Los Angeles	29
Figura 5 – Fibrocimento antes da limpeza.....	32
Figura 6 – Fibrocimento durante a lavagem.....	33
Figura 7 – Fibrocimento após a lavagem.....	33
Figura 8 – Fibrocimento disposto nas bandejas.....	34
Figura 9 – Fibrocimento na estufa.....	34
Figura 10 – Pesagem do material	35
Figura 11 – Fibrocimento processado em 10 minutos.....	35
Figura 12 – Fibrocimento processado em 30 minutos.....	36
Figura 13 – Fibrocimento processado por 1 hora	36
Figura 14 – Material da areia no fundo da peneira 6,3 mm.....	37
Figura 15 – Pesagem de uma amostra da areia.....	38
Figura 16 – Argamassadeira.....	39
Figura 17 - Corpos de prova com tempo de cura prejudicados pelo excesso de aditivo plastificante.....	40
Figura 18 – Molde troncônico centralizado na mesa de adensamento	41
Figura 19 – Massa na mesa de adensamento após remoção do molde.....	42
Figura 20 – Medição da abertura da argamassa	42
Figura 21 – Teste do traço com 20% de substituição de fibrocimento.....	43
Figura 22 – Fôrma metálica para moldagem dos corpos de prova	44
Figura 23 – Fôrma presa a mesa de adensamento	44
Figura 24 – Argamassa sendo uniformizada	45
Figura 25 – Corpos de prova desmoldados	45
Figura 26 – Máquina para ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão	46
Figura 27 – Corpo de prova posicionado na máquina para ensaio de resistência à tração a flexão	47
Figura 28 - – Corpo de prova rompido no ensaio de resistência à tração na flexão.....	48
Figura 29 – Corpos de prova posicionados para o ensaio de resistência à compressão	49

Figura 30 – Corpo de prova rompido no ensaio de resistência à compressão.....	49
Figura 31 – Corpo de prova sendo lixado para ensaio de absorção	50
Figura 32 - Corpo de prova pronto para o ensaio de absorção e capilaridade.....	51
Figura 33 – Corpos de prova posicionados dentro do recipiente para o ensaio de absorção ...	51
Figura 34 – Corpo de prova sedo enxuto com pano úmido.....	52
Figura 35 - Curvas Granulométricas comparativas do resíduo de fibrocimento.....	54
Figura 36 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos	56
Figura 37 - Influência do teor de substituição de resíduo de fibrocimento sobre a resistência à tração na flexão com idade de 7 e 28 dias	57
Figura 38 - Influência do teor de substituição de resíduo de fibrocimento sobre a resistência à compressão com idade de 7 e 28 dias.....	59
Figura 39 - Influência do teor de substituição sobre o coeficiente de absorção de água por capilaridade.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação das amostras.....	55
Tabela 2 – Consistências das argamassas.....	57
Tabela 3 - Valores médios da absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade aos 28 dias	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação da argamassa quanto ao tipo.....	20
Quadro 2 – Variações de Cimento Portland no Mercado Brasileiro	22
Quadro 3 – Representação da Consistência da Argamassa	25
Quadro 4 - Identificação das amostras	31
Quadro 5 – Materiais utilizados.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Justificativa:.....	17
1.2. Objetivo geral	17
1.3. Objetivos específicos:.....	17
1.4. Estrutura do trabalho	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. Argamassa	19
2.1.1. Componentes da argamassa.....	20
2.1.1.1. Aglomerantes	21
2.1.1.1.1. Cimento Portland	21
2.1.1.1.2. Cal hidratada	22
2.1.1.2. Agregados miúdos.....	23
2.1.1.3. Aditivos	23
2.1.2. Propriedades da Argamassa.....	24
2.1.2.1. Trabalhabilidade.....	24
2.1.2.2. Consistência	24
2.1.2.3. Plasticidade.....	25
2.1.2.4. Retenção de água.....	25
2.1.2.5. Aderência	26
2.2. Fibrocimento.....	26
2.3. Equipamento para processamento de material	27
2.3.1. Equipamento Moinho de Bolas	27
2.3.2. Equipamento de Abrasão Los Angeles.....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1. Preparo e caracterização dos materiais	32
3.1.1. Limpeza do material	32
3.1.2. Pesagem do material e beneficiamento do resíduo de fibrocimento	35
3.2. Análise Granulometria dos Agregados Miúdos.....	37
3.2.1. Preparo das amostras	37
3.3. Produção das argamassas.....	38
3.4. Ensaio de consistência	40
3.5. Moldagem.....	43
3.6. Resistência à tração na flexão e à compressão	46

3.6.1.	Determinação da resistência à tração a flexão.....	47
3.6.2.	Determinação da resistência à compressão	48
3.7.	Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade 50	
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1.	Análise Granulométrica.....	54
4.2.	Consistência.....	57
4.3.	Resistência à tração na flexão.....	57
4.4.	Resistência à compressão	59
4.5.	Absorção por capilaridade	60
5.	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil é de grande importância para economia brasileira, tendo em vista que abarca diversas atividades fundamentais para o desempenho econômico nacional. No período de 2004 a 2013, este setor apresentou intensa alta; porém, em 2014 sucedeu 4 anos com resultados negativos, baques que superavam a queda do Produto Interno Bruto (PIB) total. Entretanto, em 2019, voltou a se reerguer de forma contida devido as quedas dos anos anteriores. Isso fez com o setor da Construção Civil despencasse de uma participação no PIB de 6,5% em 2012 para 3,7% no ano de 2019 (DIEESE, 2020).

Um aspecto que auxilia na mensuração do crescimento do setor é a geração de Resíduos da Construção Civil (RCC) em relação ao Resíduos Sólidos Urbanos – RSU (MARQUES, 2014). Cabral (2007) afirma que a geração de RCC corresponde a uma fração de 50% dos RSU. Além disso, a “construção civil utiliza mais da metade dos recursos naturais extraídos do planeta na produção e manutenção do ambiente construído” (CBCS, 2014).

É devido a essa utilização intensa dos recursos naturais e essa enorme geração de resíduos que há uma grande preocupação quanto a gestão da geração de RCC de modo que se possa minimizar ao máximo essa grande exploração da natureza pela extração de matéria prima e da redução da geração de resíduos. Tendo isso em consideração, em 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305. A PNRS define os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes acerca da gestão integrada e do gerenciamento de resíduos sólidos, também estabelecendo as metas e atribuindo responsabilidades aos geradores, ao poder público e aos demais instrumentos econômicos que possam gerar resíduos. (BRASIL, 2010).

O fibrocimento é um material muito popular no Brasil e no mundo por apresentar baixo custo. É bastante utilizado em telhas e reservatórios de água potável. O resíduo de fibrocimento compõe o RCC mas, apesar de contribuir para seu volume total, é pouco explorado como matéria prima alternativa. As fibras presentes na sua composição conferem melhorias em várias características deste composto cimentício, como na sua resistência mecânica e durabilidade e, por isso, este resíduo apresenta um potencial interessante. O resíduo de fibrocimento como matéria prima alternativa representa uma diminuição o volume de RCC bem como um melhor gerenciamento da gestão de geração de RCC, cumprindo objetivos estabelecidos pela PNRS.

1.1. Justificativa:

É nesta perspectiva que o presente trabalho tenciona estudar a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de fibrocimento na produção de argamassa de assentamento, de modo a caracterizá-lo como uma alternativa sustentável de matéria-prima para a indústria da Construção Civil tendo em vista que é um resíduo pouco explorado pois, até o presente trabalho, não foram encontrados estudos do resíduo como matéria prima alternativa.

1.2. Objetivo geral

Analisar o comportamento reológico e físico-mecânico de argamassas produzidas com resíduo de fibrocimento tratado como substituto parcial de agregado miúdo.

1.3. Objetivos específicos:

- Analisar a composição granulométrica do agregado miúdo reciclado de fibrocimento em diferentes tempos de moagem;
- Estudar a influência da substituição parcial do agregado miúdo natural pelo resíduo em diferentes porcentagens na consistência da argamassa;
- Investigar a influência da substituição parcial do agregado miúdo natural pelo resíduo em diferentes porcentagens na resistência à tração, resistência à compressão e absorção por capilaridade da argamassa.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em capítulos, sendo eles: Introdução, Fundamentação Teórica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussões, Conclusões e Referências. Na Introdução é feita uma abordagem geral sobre RCC. A Fundamentação Teórica trata dos componentes e propriedades reológicas e físico-mecânicas de argamassa; conceitua o fibrocimento e a situação do RCC no Brasil; e apresenta os equipamentos pesquisados e utilizados. Em Materiais e Métodos são descritas as metodologias para elaboração do estudo das argamassas. Nos Resultados e Discussões são mostrados os resultados do estudo e é feita uma discussão acerca do que eles representam. Nas Conclusões são apresentadas as

constatações do estudo, fazendo uma avaliação através dos resultados obtidos. Por fim, as Referências listam as fontes utilizadas durante o trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os componentes e propriedades reológicas e físico-mecânicas da argamassa. Retrata-se situação do RCC no país e apresenta o fibrocimento como material de construção e suas normas. Além disso, os equipamentos para beneficiamento de materiais, o moinho de bolas e o equipamento de abrasão Los Angeles, são apresentados.

2.1. Argamassa

Argamassa, na sua definição mais simples, é a mistura homogênea de um material ligante, de ao menos um agregado miúdo e água e que apresenta propriedades de aderência e endurecimento (COELHO, 2020).

A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica a argamassa em: argamassa de assentamento; argamassa de revestimento de parede e teto; argamassa de uso geral; argamassa para reboco; argamassa decorativa em camada fina e argamassa decorativa em monocamada. O Quadro 1 apresenta essa classificação de acordo com a norma.

Quadro 1 – Classificação da argamassa quanto ao tipo

Argamassa para assentamento	
Em alvenaria de vedação	Indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
Em alvenaria estrutural	Indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria com função estrutural.
Para Complementação da alvenaria (encunhamento)	Indicada para fechamento de alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.
Argamassa para revestimento de paredes e tetos	
Revestimento interno	Indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única)
Revestimento externo	Indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
Argamassa de uso geral	
Indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.	
Argamassa para reboco	
Indicada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.	
Argamassa decorativa em camada fina	
Argamassa de acabamento indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.	
Argamassa decorativa em monocamada	
Argamassa de acabamento indicada para revestimentos de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.	

Fonte: adaptado de NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.1.1. Componentes da argamassa

De acordo com Koffs e Vendruskolo (2018), a argamassa é constituída de aglomerantes (cimento e cal) e agregados miúdos podendo também conter aditivos e adições minerais para melhorar suas características. Ainda de acordo com os autores, os materiais que compõem a argamassa podem ser ativos ou inertes:

- **Ativos:** fornecem propriedades ligantes, estão presentes na pasta formada pela mistura de água com cimento e/ou cal;
- **Inertes:** concede volume e resistência as deformações de retração por secagem, neste caso, são os agregados miúdos.

2.1.1.1. Aglomerantes

Os aglomerantes, conforme (SILVA, 1991 *apud* OLIVEIRA; MENDES; CASTRO; 2018) são as substâncias que possuem propriedades cimentantes quando combinada com água, ou, em outras palavras, tem a função de ligar os materiais. Ainda de acordo com os autores, a velocidade do endurecimento da pasta depende das reações químicas, físicas ou físico-químicas entre o material aglomerante e a água.

2.1.1.1.1. Cimento Portland

A ABCP (2018) define o cimento portland como “um pó fino com propriedades ligantes que endurece sob a ação da água e que, depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à água, não se decompõe mais” e são compostos basicamente pelo clínquer (combinação de calcário, argila e componentes químicos), escória e argila pozolânica.

No Brasil há uma diversidade de tipos de cimento portland, variando conforme os aditivos e a resistência. O Quadro 2 apresenta os tipos de cimentos encontrados o mercado nacional.

Quadro 2 – Variações de Cimento Portland no Mercado Brasileiro

Tipo de Cimento		Classe de Resistência (MPa)	Norma Brasileira
CP I	Cimento Portland comum	25/32/40	NBR 5732
CP I - S	Cimento Portland comum com adição		
CP II – S	Cimento Portland com Escória de Alto Forno	25/32/40	NBR 11578
CP II – Z	Cimento Portland composto com Pozolana		
CP II – F	Cimento Portland composto com Filer (calcário)		
CP III	Cimento Portland de Alto Forno	25/32/40	NBR 5735
CP IV	Cimento Portland Pozolânico	25/32	NBR 5736
CP V ARI	Cimento Portland com Alta Resistência Inicial	-	NBR 5733
RS	Cimento Portland resistentes a sulfato	-	NBR 537
CPB	Cimento Portland Branco	-	NBR 12989
BC	Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação	-	NBR 13116
Cimentos especiais			

Fonte: adaptado de ABCP (2018)

2.1.1.1.2. Cal hidratada

A NBR 7175 (ABNT, 2003) define a cal hidratada como “pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio”.

A cal fornece à argamassa algumas características em seu estado fresco e em seu estado endurecido, sendo as seguintes, de acordo com Koffs e Vendruskolo (2018):

- **Argamassa em seu estado fresco:**
 - *Maior plasticidade* melhorando também a sua trabalhabilidade e consequentemente, também a produtividade na execução de revestimentos;
 - *Maior retenção de água* aumentando o desempenho e minimizando a sucção de água pelo substrato.
- **Argamassa em seu estado endurecido:**
 - *Favorece a capacidade de absorver deformações;*
 - *Diminuição da retração*, o que proporciona menor variação dimensional;

- *Reações de carbonatação mais lentas* favorecendo o preenchimento de fissuras que vão surgindo ao longo do tempo no revestimento.

2.1.1.2. Agregados miúdos

Para Teles (2020), agregados são materiais inertes que não participam de reações químicas de complexidade elevada com a água. Os agregados graúdos são as partículas com dimensão maior que 4,75 mm e os agregados miúdos com dimensão menor que 4,75 mm, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019). Os agregados influenciam na resistência mecânica, módulo de deformação e retração, de acordo com Koffs e Vendruskolo (2018), além de impactar o custo final da argamassa por ser um material mais barato que os demais. Os autores ainda classificam os agregados miúdos como:

- ***Natural:*** material granular encontrado na natureza, e comumente obtidos através da britagem;
- ***Artificial:*** material granular proveniente do processo industrial que altera as suas características originais;
- ***Reciclado:*** material obtido através da reciclagem de resíduos da Construção Civil ou de subprodutos industriais.

2.1.1.3. Aditivos

Os aditivos são os componentes utilizados para modificar alguma característica, com o objetivo de facilitar o seu manuseio e/ou melhorar algum aspecto, como por exemplo a plasticidade ou a resistência a tração. Bauer (1998 *apud* BENNETI, 2007) classifica os aditivos de acordo com as causas e efeitos:

- ***Melhorar trabalhabilidade:*** plastificantes redutores, incorporadores de ar e dispersantes ou fluidificantes;
- ***Modificar resistências mecânicas:*** redutores plastificantes; modificadores das resistências do concreto a condições especiais de exposição (incorporadores de ar);
- ***Modificar tempo de pega e endurecimento:*** retardadores e aceleradores; impermeabilizantes (repelentes a absorção capilar e redutores de permeabilidade);

- **Expandir:** geradores de gás, estabilizadores de volume e geradores de espuma; adesivos; anticorrosivos, corantes, fungicidas, germicidas e inseticidas).

2.1.2. Propriedades das argamassas

Carasek (2010) cita e define as propriedades que uma argamassa de assentamento estrutural deve apresentar: trabalhabilidade (consistência, plasticidade e retenção de água), aderência, capacidade de absorver deformações e resistência mecânica. São apresentadas a seguir as propriedades.

2.1.2.1. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade, propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade de fazer a mistura, transporte, aplicação, consolidação e acabamento no estado uniforme (CARASEK, 2010). É um aglomerado de outras propriedades, como consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial. No caso da argamassa de assentamento, interessam as três primeiras que são apresentadas a seguir.

2.1.2.2. Consistência

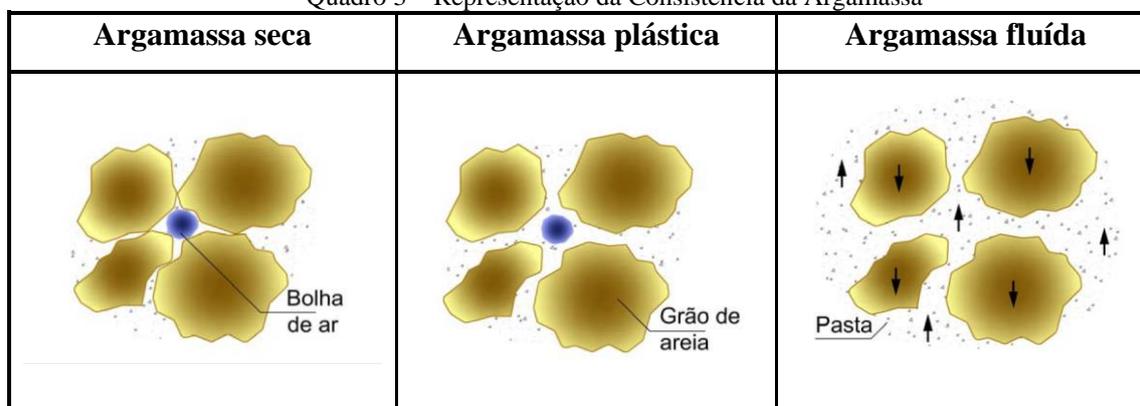
Lemes (2013) discorre que esta propriedade é a resistência das argamassas no estado fresco em relação as deformações a quais são submetidas, “adequando-se a quantidade de água utilizada influenciando-se pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante”. Carasek (2010) classifica as argamassas quanto a consistência como:

- **Argamassa seca:** a pasta preenche os vazios existentes entre os agregados mantendo-os em contato, resultando em uma massa áspera.
- **Argamassa plástica:** uma camada delicada de pasta aglomerante umedece a superfície dos agregados, conferindo adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida.
- **Argamassa fluída:** As partículas do agregado ficam imersas na pasta aglutinante sem coesão interna e tendem a se depositar (separar) devido à gravidade. A areia não apresenta propriedades antiderrapantes, no entanto a argamassa está em um estado tão

líquido que se espalha na camada de base e não possibilita a realização do trabalho corretamente.

O Quadro 3 ilustra a consistência da argamassa seca, plástica e fluída.

Quadro 3 – Representação da Consistência da Argamassa



Fonte: Adaptado de Carasek (2010)

A NBR 13276 (ABNT, 2016) discorre sobre o protocolo a ser realizado para avaliação e determinação do índice de consistência da argamassa.

2.1.2.3. Plasticidade

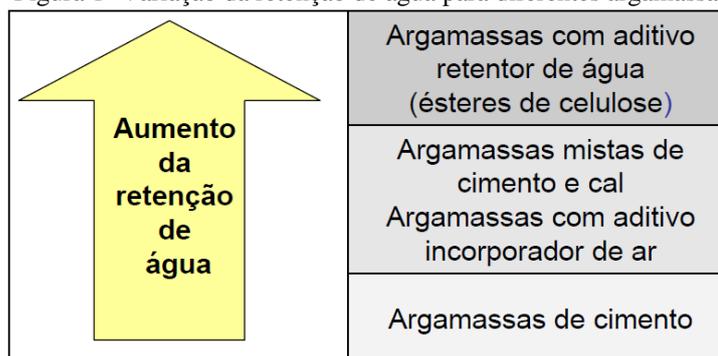
A plasticidade é a característica em que a argamassa tende a permanecer deformada após a retirada das tensões de deformação (CARASEK, 2010). A trabalhabilidade possui uma relação muito íntima com a plasticidade e consistência visto que ambas são suas características (CINCOTTO *et al.*, 1995 *apud* OLIVEIRA, MENDES e CASTRO, 2018). Os autores também destacam que, “para se obter a plasticidade ideal, é necessário que em cada mistura dependendo da sua finalidade e aplicação, haja uma quantidade adequada de água, que significa uma consistência ótima.”.

2.1.2.4. Retenção de água

A retenção de água está associada à capacidade da argamassa fresca em manter a trabalhabilidade quando submetida a tensões que provocam a perda da água de amassamento por evaporação ou absorção de água da base (CARASEK, 2010). Franciscon (2007) afirma que “a retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e conseqüente ganho de resistência”.

A Figura 1 mostra a relação da retenção de água com os diferentes tipos de argamassas.

Figura 1- Variação da retenção de água para diferentes argamassas



Fonte: CARASEK (2010)

2.1.2.5. Aderência

Segundo Carasek (2010), a aderência é a composição de três propriedades da interface argamassa–substrato: resistência de aderência a tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão da aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

2.2. Fibrocimento

O fibrocimento é, conforme a NBR 7581-1 (ABNT, 2014), uma “mistura homogênea, em presença de água, de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos e fibras de origem mineral (crisotila)”. Elas podem ser encontradas na cor natural, podendo ter ou não revestimento incolor além de também ter cor através de pintura ou da adição de pigmentos na mistura.

No Brasil, a fabricação de fibrocimento é regulamentada pela ABNT através das seguintes normas: NBR 5643 (ABNT, 2012); NBR 5649 (ABNT, 2006); NBR 5650 (ABNT, 2006); NBR 7581 (ABNT, 2014); NBR 13194 (ABNT, 2006); NBR 15210-1 (ABNT, 2019); NBR 15210-2 (ABNT, 2019) e NBR 7196 (ABNT, 2020). Contudo, nenhuma destas normas especifica quantidades de componentes, ficando assim a cargo do fabricante decidir as melhores formulações e matérias primas, desde que respeitem as normas, zelando pelos requisitos e valores mínimos a serem atingidos nos ensaios que avaliam as propriedades mecânicas do produto final (MARQUES, 2014).

De acordo com Kuder e Shah (2010), os compostos cimentícios são quebradiços, possuem baixa resistência a tração e capacidade de deformação e por isso as fibras são incorporadas para melhorar a resistência a tração, ductibilidade, tenacidade e durabilidade.

O fibrocimento, material muito popular no Brasil e no mundo para a confecção de telhados por ser muito acessível devido ao seu baixo custo. A Figura 2 ilustra um telhado coberto com telhas de fibrocimento.

Figura 2– Telhado de fibrocimento



Fonte: Brasilit Saint Gobain (2021)

O fibrocimento constitui 2% dos resíduos de construção civil no município de São Carlos – SP (IPEA, 2012). Mas, apesar de sua contribuição nos RCC, é um resíduo pouco explorado pois, até o presente trabalho, não foram encontrados estudos do material como matéria prima alternativa a produção de novos materiais ou para ser reinseridos na Construção Civil.

2.3. Equipamento para processamento de material

Neste tópico serão apresentados o Moinho de Bolas e o Equipamento de Abrasão Los Angeles, suas funções, características, similaridades e principais usos.

2.3.1. Equipamento Moinho de Bolas

O moinho de bolas, como o próprio nome sugere, tem como função quebrar materiais em frações menores por meio de esferas metálica, podendo a moagem neste equipamento ser a seco ou úmida, contínua ou descontínua. (BRUNATTO, 2017). De acordo com Gomes (2014)

“o volume interno do moinho ocupado pela carga de bolas pode variar de 2% a 18%”. É um equipamento composto por um cilindro metálico, as esferas e um motor.

É um equipamento utilizado na indústria em geral, desde a alimentícia como a de materiais de construção, por exemplo, e possui dimensões variadas, a depender de sua utilização. Na Figura 3 temos um modelo do Moinho de Bolas.

Figura 3- Moinho de Bolas para Minérios tipo Bond



Fonte: Marconi Equipamentos Para Laboratórios (2021)

São exemplos da utilização deste equipamento:

1. Fabricação do cimento: moer e misturar o calcário com a argila
2. Fabricação de tintas: moagem de pigmentos
3. Em laboratórios, para estudos em diversas áreas: como por exemplo no beneficiamento de cinzas de bagaço de cana para produção de “filler” em compostos de fibrocimento (ZARDO *et al*, 2004).

2.3.2. Equipamento de Abrasão Los Angeles

O Equipamento de Abrasão Los Angeles tem como principal função caracterizar agregados graúdos, apontando a resistência a abrasão através do choque entre esferas de aço padronizadas e os agregados. O desgaste é dado por “porcentagem, em peso, do material que passa, após ensaio, por peneiras de malhas quadradas normatizadas”. (FREITAS, 2017, p.51).

De acordo com um dos fabricantes da máquina no Brasil, a VAS Tecnologia Industrial, o equipamento é composto por um cilindro de aço reforçado de 711 mm de diâmetro externo por 508 mm de comprimento interno, alçado sobre um chassi de base. Possui contador digital automático que pode ser usado para determinar o número de rotações desejada, sabendo que o cilindro gira em uma velocidade que varia entre 31 rpm e 33 rpm. A Figura 4 apresenta modelo utilizado neste estudo.

Figura 4 – Equipamento de Abrasão Los Angeles



Fonte: Autora.

No Brasil, este equipamento foi utilizado em diversos estudos de grande importância para Engenharia Civil no quesito de reaproveitamento de resíduos. Este trabalho destaca os seguintes:

1. Redução de grãos de vidro para produção de pisos polidos (GUIMARÃES, 2015)
2. Ensaio Cântabros para misturas asfálticas (FREITAS, 2017)
3. Reaproveitamento de escória de aciaria elétrica como agregado para pavimentação (ROHDE, 2002)

4. Substituição de agregados naturais por agregado graúdo reciclado e lavado de concreto em concretos betuminosos usinados a quente (MARINHO, 2011)
5. Utilização de resíduos da produção de telhas cerâmicas em camadas de pavimento de baixo custo (DIAS, 2004)

Internacionalmente, o equipamento foi utilizado nos seguintes estudos em destaque:

1. Na Malásia:
 - a. Trituração das cinzas combustíveis do óleo de palma para substituição parcial do cimento para mitigação do ataque do cloreto em concreto (AHMADI *et al.*, 2018);
 - b. Utilização de escória de aço e vidro de tubos de raios catódicos (CRT) para substituir agregados naturais em pavimentos de base rodoviária (MOHAMAD *et al.*, 2020)
2. Na Tailândia:
 - a. Utilização de resíduos de concreto com escória de forno elétrico na produção de tijolos geopolímeros (APITHANYASAIA *et al.*, 2018)

No presente estudo, o equipamento foi utilizado para a moagem do resíduo de fibrocimento, como usado em trabalho anterior da Universidade Federal de Alagoas (RAMOS, 2021).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de compreender a relação das fibras em materiais cimentícios e as propriedades da argamassa, foi realizada uma revisão bibliográfica. Neste período, foi definido o traço a ser seguido e as porcentagens das adições nas argamassas. O traço foi definido 1:1:6 (cimento:cal:agregado miúdo), em volume, inspirado em Trentin *et al.* (2020). As porcentagens foram inspiradas nos trabalhos de Boita e Bellei (2019), 10%, 15% e 25%, acrescentado a porcentagem de 5% e 20%, sendo essas porcentagens o teor de substituição do agregado miúdo natural (areia) pelo resíduo de fibrocimento. Desta forma, as amostras foram identificadas conforme a substituição do agregado miúdo conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Identificação das amostras

Identificação	Teor de substituição de areia por resíduo de fibrocimento
REF	Sem substituição por resíduo de fibrocimento
5F	5% de substituição por resíduo de fibrocimento
10F	10% de substituição por resíduo de fibrocimento
15FA	15% de substituição por fibrocimento mais aditivo
20FA	20% de substituição por resíduo de fibrocimento mais aditivo
25FA	25% de substituição por resíduo de fibrocimento mais aditivo

Fonte: Autora.

Para a produção dos corpos de prova da argamassa, foram utilizados os materiais, listados no Quadro 5.

Quadro 5 – Materiais utilizados

Material	Descrição
Cimento	CP II Z 32MPa
Cal	Hidratada CH-I Aditivada
Areia	Lavada
Resíduo de fibrocimento	Processado
Aditivo	Aditivo superplastificante de terceira geração para concreto

Fonte: Autora.

Neste capítulo será apresentado a metodologia adotada para realização da análise granulométrica dos agregados miúdos, confecção das argamassas, a moldagem e desmoldagem dos corpos de prova, o ensaio de consistência, de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão e, por fim, o ensaio de absorção por capilaridade.

3.1. Preparo e caracterização dos materiais

Os pedaços de telhas de fibrocimento utilizados foram coletados da reforma de uma residência na cidade de Delmiro Gouveia/AL. Para o beneficiamento do resíduo de fibrocimento, foi realizado o procedimento de preparação descrito a seguir.

3.1.1. Limpeza do material

Antes da moagem do fibrocimento no Equipamento de Abrasão Los Angeles, foi necessário lavá-lo para remover os resíduos orgânicos presentes (poeira, sujeira, mofo e etc). A lavagem foi feita com água e uma escova de plástico. A Figura 5 apresenta os pedaços das telhas antes da limpeza.

Figura 5 – Fibrocimento antes da limpeza.



Fonte: Autora

A Figura 6 mostra o fibrocimento disposto na pia onde foi lavado. Em alguns fragmentos, foi necessário deixar descansando na água para facilitar a remoção da sujeira além de também reduzir o consumo de água. A lavagem foi feita nesta etapa utilizando uma escova de plástico no fibrocimento úmido e em seguida foi enxaguado com água corrente.

Figura 6 – Fibrocimento durante a lavagem



Fonte: Autora.

O fibrocimento lavado e ainda úmido foi recolhido em recipientes para seguir para as próximas etapas. A Figura 7 mostra as amostras depois da lavagem.

Figura 7 – Fibrocimento após a lavagem



Fonte: Autora.

Após a lavagem, o material foi previamente quebrado com o auxílio de um martelo de 0,5 kg para caber nas bandejas, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Fibrocimento disposto nas bandejas



Fonte: Autora

Em seguida, o fibrocimento foi para a estufa por 24 h à 110 C°, temperatura superior à de ebulção da água (100 °C) para que ~~ela~~ possa evaporar e o material esteja totalmente seco para a moagem no equipamento de abrasão Los Angeles. A Figura 9 apresenta o material na estufa.

Figura 9 – Fibrocimento na estufa



Fonte: Autora

3.1.2. Pesagem do material e beneficiamento do resíduo de fibrocimento

Após 24 h, o material foi retirado da estufa e pesado em uma balança digital de precisão. A Figura 10 apresenta a pesagem.

Figura 10 – Pesagem do material



Fonte: Autora.

Em seguida, são adicionados ao tambor do equipamento de Abrasão Los Angeles 8 kg de material para processamento, seguindo a metodologia utilizado por Ramos (2021), que utilizou o tempo de moagem de 10 minutos com carga abrasiva de 12 esferas, indicada para material de Graduação A, segundo a NBR 16974 (ABNT, 2021). Contudo, como mostra a Figura 11, este intervalo não foi suficiente para moer o material da forma desejada, apresentando pedaços grandes de material. Desta forma, o material foi moído por um total de 30 minutos para a Amostra 1 e por 1 hora para a Amostra 2.

Figura 11 – Fibrocimento processado em 10 minutos



Fonte: Autora.

A Figura 12 expõe o fibrocimento processado por 30 minutos. É possível já perceber que as partículas apresentam uma boa redução e suas dimensões quando comparado com o resíduo da Figura 11.

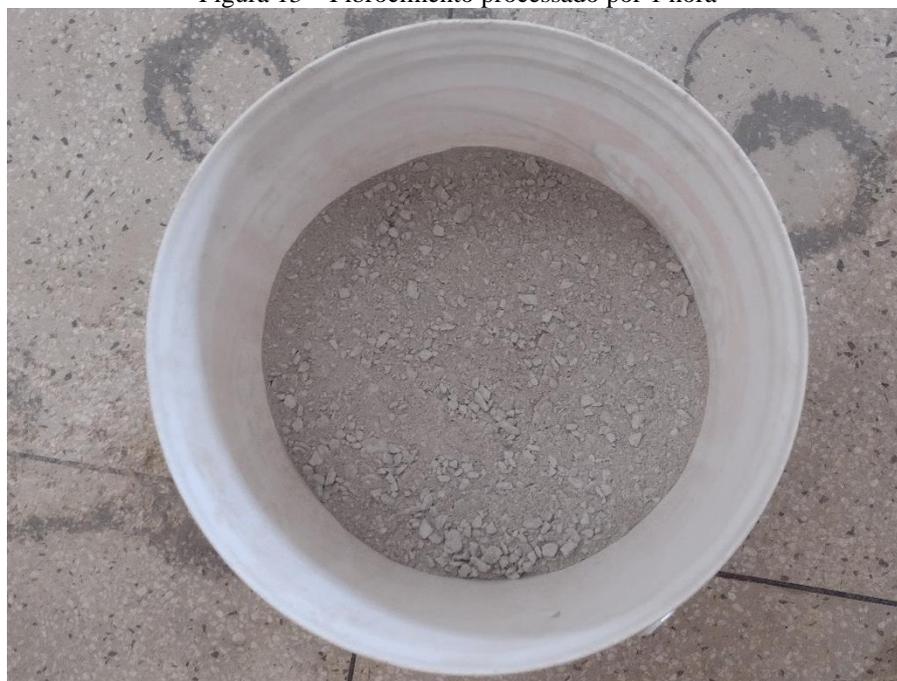
Figura 12 – Fibrocimento processado em 30 minutos



Fonte: Autora.

A Figura 13 apresenta o resíduo moído por 1 h, visivelmente mais fino que os anteriores. Tanto o resíduo processado por 30 minutos como o de 1h, após o beneficiamento seguirão diretamente para etapa de separação de agregado miúdo e graúdo.

Figura 13 – Fibrocimento processado por 1 hora



Fonte: Autora

Após o processamento no Equipamento de Abrasão Los Angeles, o resíduo de fibrocimento passa pela separação do agregado miúdo e graúdo através do peneiramento na peneira 4,8 mm.

3.2. Análise Granulometria dos Agregados Miúdos

Primeiramente, deve-se destacar que a areia utilizada no presente trabalho foi previamente passada na peneira 6,3 mm devido a grande quantidade de fragmentos de rocha e troncos de tamanhos consideráveis, visto que é um material que é comercializado sem um prévio preparo pelos comerciantes da região. Desta forma, a análise granulométrica da areia foi feita com o material após este procedimento. A Figura 14 mostra o material de fundo da areia na peneira 6,3 mm.

Figura 14 – Material da areia no fundo da peneira 6,3 mm

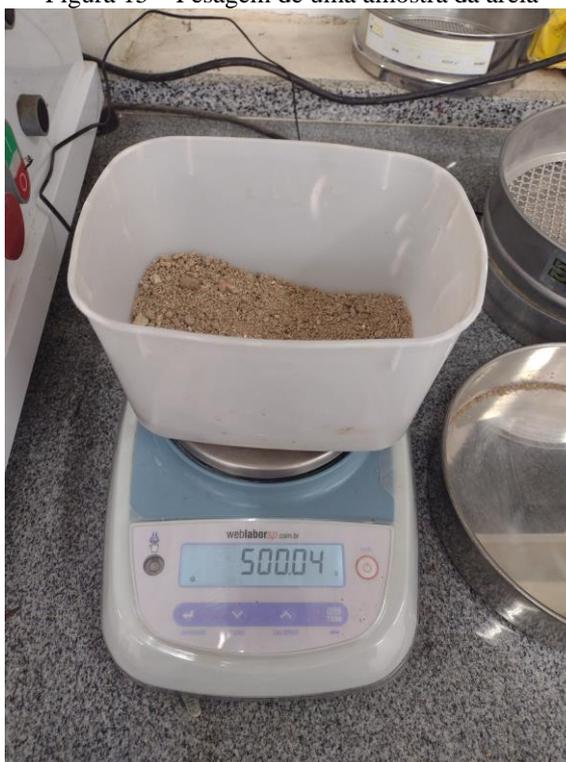


Fonte: Autora.

3.2.1. Preparo das amostras

Primeiramente, tanto a areia como o resíduo de fibrocimento foram colocados na estufa por 24 h a uma temperatura de 110 °C e posteriormente foram separadas duas amostras de cada material. Em seguida, cada amostra teve sua massa determinada nas balanças, conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 – Pesagem de uma amostra da areia



Fonte: Autora.

Para a análise granulométrica, foram seguidas as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Em seguida, as amostras seguem para o peneiramento manual, onde as peneiras são usadas na seguinte ordem decrescente: 4,80 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; 0,15 mm e o fundo. Foram separadas duas amostras de aproximadamente 500 g para cada agregado. Após o peneiramento em cada peneira, são medidas as massas que ficaram retidas e por fim, a massa do fundo. Todas as massas são anotadas e os valores são expressos em porcentagem, e criadas as respectivas curvas granulométricas.

3.3. Produção das argamassas.

Inicialmente foram feitas as medições dos componentes secos da argamassa. Foram usados 300 mL de cimento, 300 mL de cal e 1800 mL de agregado miúdo, totalizando 2400 mL. O volume de água a ser utilizado foi encontrado por meio de tentativas até encontrar a consistência que respeitasse as recomendações da norma.

Para a produção das argamassas utilizou-se como embasamento a NBR 16541 (ABNT, 2016). O primeiro passo é acrescentar a mistura dos materiais secos na argamassadeira, apresentada na Figura 16.

Figura 16 – Argamassadeira



Fonte: Autora.

Em seguida, na velocidade baixa, acrescentou-se 75% da água nos 10 primeiros segundos e bate até completar 30s. Depois, a velocidade foi aumentada até a máxima e deixa misturando por 60 segundos. Logo após, deve-se raspar a pá, o fundo e as laterais da bacia dentro de 90 segundos (caso esse processo termine antes, deixa a mistura descansar até que se complete esse intervalo). O próximo passo é acrescentar os 25% restantes da água, com a argamassadeira ligada na velocidade baixa, nos 10 primeiros segundos e bater até completar 60 segundos. É nessa segunda água de amassamento que é acrescentado o aditivo plastificante à mistura.

Foi utilizado aditivo plastificante a partir da argamassa 15FA, pois durante produção das argamassas, foi percebido que a massa aparentava estar muito seca e o corpo de provas cheio de vazios, prejudicando consideravelmente a propriedades mecânicas da argamassa. Além disso, foi usado um aditivo hiperplastificante, que conferem uma maior plasticidade

usando quantidades significativamente menores que os aditivos plastificantes incorporadores de ar.

Isso se deu pois anteriormente foram feitas tentativas com aditivo plastificante específico para argamassas, que eram incorporadores de ar e devido ao alto consumo na produção, foi percebido que as argamassas estavam visivelmente prejudicadas com muitos vazios que, novamente, comprometiam as suas propriedades mecânicas, além de também prejudicar o tempo de cura dos corpos de prova. A Figura 17 apresenta um conjunto de corpos de prova que não atingiu a cura para o desmolde após 72 horas.

Figura 17 - Corpos de prova com tempo de cura prejudicados pelo excesso de aditivo plastificante

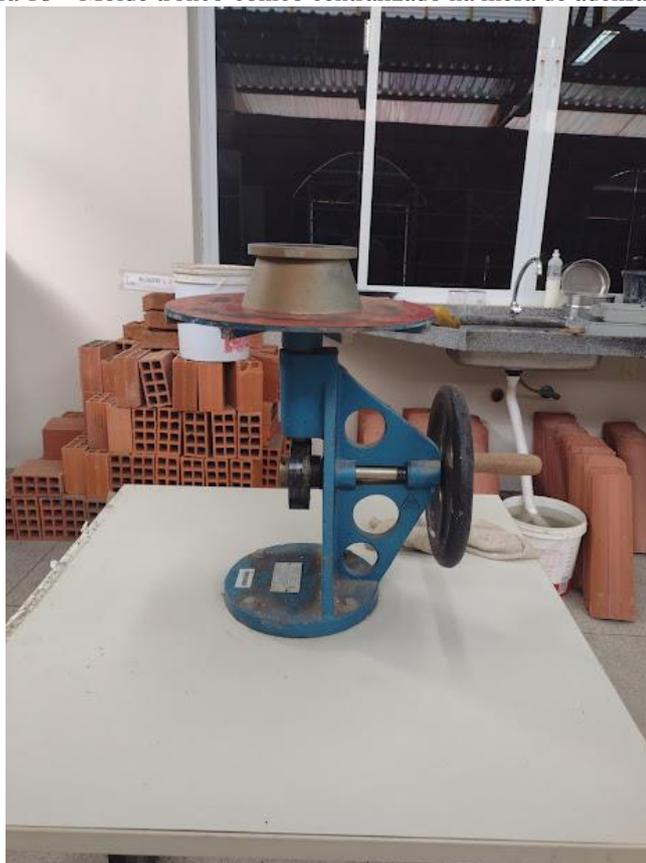


Fonte: Autora.

3.4. Ensaio de consistência

Para o ensaio de consistência, foi utilizada a NBR 13276 (ABNT, 2016). Para realizá-lo, é necessário mesa de adensamento, soquete, molde tronco-cônico, régua metálica, paquímetro com alcance de até 300 mm e cronômetro. Com a mesa de adensamento limpa e seca, centraliza-se o molde na mesa, conforme Figura 18.

Figura 18 – Molde tronco-cônico centralizado na mesa de adensamento



Fonte: Autora

Depois, preenche-se o molde em três camadas sucessivas de alturas aproximadamente iguais. Em cada camada, respectivamente, são conferidos 15, 10 e 5 golpes com o soquete. Com a régua rente a borda do molde e com movimento de vai e vem, é retirado o excesso de massa.

Logo depois, com um pano seco, as bordas são limpas e o molde é removido, ficando a massa sobre a mesa, como na Figura 19.

Figura 19 – Massa na mesa de adensamento após remoção do molde



Fonte: Autora.

Em seguida ao desmolde, são aplicados 30 golpes na mesa de consistência dentro de trinta segundos. Após o último, com o paquímetro, são medidos três diâmetros em pontos distintos. A média das três medidas é calculada e será a consistência da argamassa. Esse valor deve estar entre 255 mm e 265 mm. A Figura 20 mostra um diâmetro sendo medido após a última queda aplicada na argamassa.

Figura 20 – Medição da abertura da argamassa



Fonte: Autora

A Figura 21 mostra uma argamassa, onde é possível notar, ainda na argamassadeira, que a mistura estava muito seca e, que por isso foi necessário o uso de aditivo plastificante para melhorar a abertura sem alterar o fator água/cimento e prejudicar as propriedades mecânicas do material.

Figura 21 – Teste do traço com 20% de substituição de fibrocimento



Fonte: autora.

Para esta argamassa, a consistência foi muito abaixo do intervalo determinado pela norma com o mesmo fator água/cimento do REF. Como mencionado anteriormente, foi necessário o uso de aditivo hiperplastificante a partir do traço 15FA para corrigir a consistência da argamassa para o intervalo recomendado pela NBR 13276, ou seja, entre 255 mm e 265 mm. O uso deste aditivo hiperplastificante também minimizou o volume de substituição de aditivo da água de amassamento visto que o consumo de aditivo plastificante incorporador de ar estava muito elevado prejudicando as propriedades mecânicas e tempo de cura dos corpos de prova.

3.5. Moldagem

Para cada idade, foram confeccionados 3 corpos de provas, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Neste trabalho foram 3 para idade de 7 dias e 3 para idade de 28 dias, totalizando 6 corpos de prova para cada traço. Os corpos de prova foram confeccionados em moldes prismáticos metálicos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm. A figura 22 ilustra a forma utilizada no laboratório para elaboração dos corpos de prova.

Figura 22 – Fôrma metálica para moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autora

A moldagem dos corpos de provas deve ser feita na mesa de adensamento com a fôrma presa a ela e untada com óleo, preenchendo as formas até um pouco mais da metade com a argamassa previamente preparada. A figura 23 mostra o molde preso a mesa de adensamento.

Figura 23 – Fôrma presa a mesa de adensamento



Fonte: Autora

Com o nivelador, espalha-se a argamassa para uniformizar as camadas e em seguida são aplicadas 30 quedas na mesa de adensamento. Após isso, preenche-se o restante do molde, faz-se a uniformização com o nivelador e, novamente, são aplicadas mais 30 quedas na mesa de adensamento, conforme Figura 24.

Figura 24 – Argamassa sendo uniformizada



Fonte: Autora.

Finalizou-se removendo o excesso de massa com a régua metálica passando o instrumento rente as bordas da fôrma. Os moldes foram mantidos nas formas por um período de no mínimo 24 h e máximo de 72 h, sendo desmoldados em seguida e guardados em condições de laboratório para ruptura nas idades previstas. Os corpos de prova são datados com o dia da moldagem e com o traço logo após a desmoldagem, conforme exemplo da Figura 25.

Figura 25 – Corpos de prova desmoldados



Fonte: Autora

3.6. Resistência à tração na flexão e à compressão

Para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, é utilizado o método apresentado na NBR 13279 (ABNT, 2005) que será descrito a seguir.

Além disso, foram utilizados a mesa de adensamento por queda, régua metálica, nivelador de camadas e máquina para ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão. Para o teste de tração na flexão, a máquina foi regulada para aplicar uma carga uniforme e sem choques com velocidade de 50 N/s. Para a compressão, a regulagem deve ser de 500N/s com carga também uniforme e sem choque. A máquina utilizada nos ensaios é apresentada na Figura 26.

Figura 26 – Máquina usada para ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão

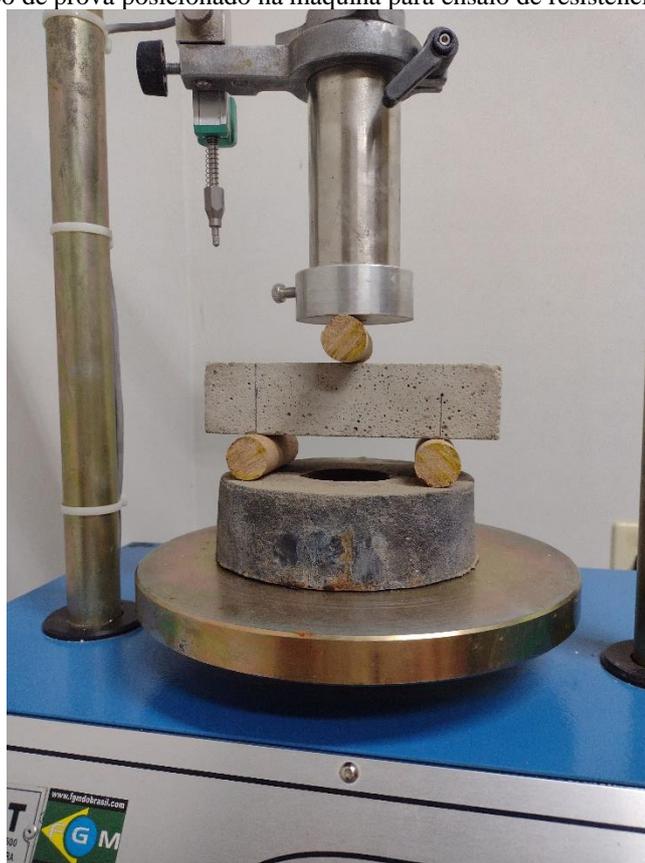


Fonte: Autora.

3.6.1. Determinação da resistência à tração a flexão

Previamente os corpos de provas são preparados da seguinte forma: com o auxílio de uma régua metálica são feitos três traços em todas as faces, sendo dois com 3 cm de distâncias das duas extremidades e um no centro. Eles têm a função de tornar preciso o posicionamento do corpo de prova na máquina que irá realizar a ruptura, marcando os pontos onde irão ficar localizados os apoios. A face que foi rasada não pode ficar em contato com o dispositivo de apoio. A Figura 27 mostra o corpo de prova posicionado para o ensaio.

Figura 27 – Corpo de prova posicionado na máquina para ensaio de resistência à tração a flexão



Fonte: Autora.

Após isso, é aplicada a carga, que deve ser entre 40 N/s e 60 N/s até a ruptura do corpo de prova. A Figura 28 apresenta um dos corpos de prova utilizados para o ensaio de resistência à tração na flexão após a aplicação de carga até sua ruptura.

Figura 28 - – Corpo de prova rompido no ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autora.

A resistência à tração na flexão é dada através da Equação 1:

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad (1)$$

Onde:

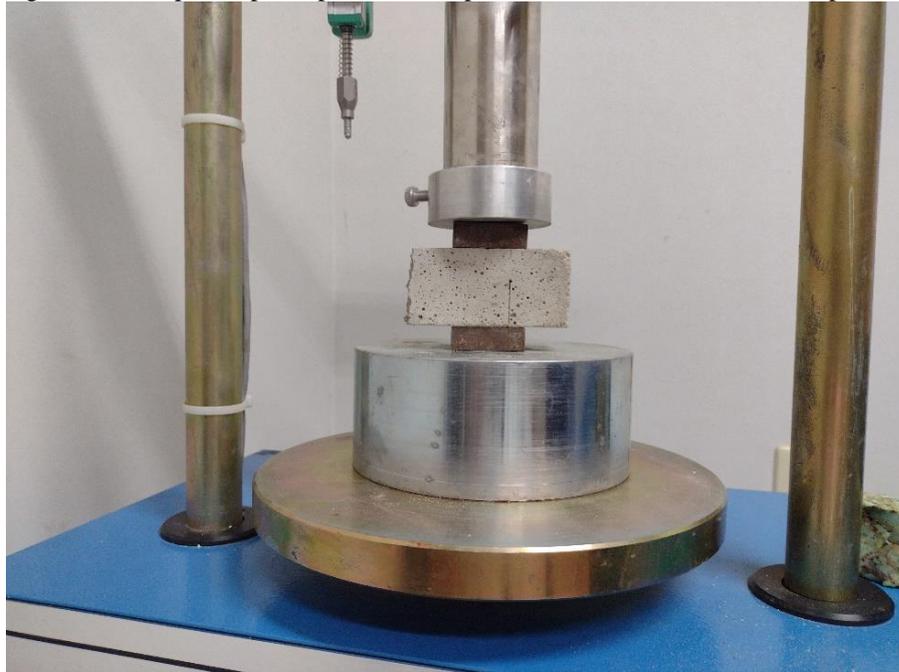
- R_f é a resistência à tração a flexão em MPa;
- F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;
- L é a distância entre os suportes, que foi padronizado para 100mm.

A resistência à tração na flexão é calculada como a resistência média dos 3 corpos de prova.

3.6.2. Determinação da resistência à compressão

As metades dos corpos de prova do ensaio de resistência à tração na flexão são utilizados para o de compressão, sendo eles posicionados no equipamento conforme a Figura 29.

Figura 29 – Corpos de prova posicionados para o ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autora.

Aplica-se a carga até a ruptura. A Figura 30 ilustra um corpo de prova no ensaio de resistência à compressão após a aplicação da carga até sua ruptura.

Figura 30 – Corpo de prova rompido no ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autora.

O cálculo da resistência à compressão é feito através da Equação 2:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

Onde

- R_c é a resistência à compressão, em MPa;
- F_c é a carga máxima aplicada, em N;
- 1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados.

A resistência à compressão da argamassa é calculada como a resistência média dos corpos de prova.

3.7. Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

Este ensaio é feito de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005) e é realizado aos 28 dias de idade dos corpos de prova antes dos ensaios de determinação da resistência à tração na flexão e de compressão. Para ele foram necessários balança, cronômetro, régua e um recipiente para dispor os corpos para absorção da água, lixas.

Os corpos devem ter a superfície que irá entrar em contato com a água lixada com lixa grossa e depois limpar com o pincel. A figura 31 mostra um corpo de prova sendo preparado para o ensaio.

Figura 31 – Corpo de prova sendo lixado para ensaio de absorção



Fonte: Autora.

Em seguida os corpos de prova são riscados a extremidade que terá contato com a água com 5mm de distância da face, para facilitar a visualização do nível da água, que deve se manter entre 4 e 6mm acima da face em contato com a água. A Figura 32 ilustra o corpo de prova preparado para o ensaio.

Figura 32 - Corpo de prova pronto para o ensaio de absorção e capilaridade



Fonte: Autora

Em seguida os corpos de prova são posicionados dentro do recipiente sobre suportes (no caso deste trabalho, foram improvisados com tampas de garrafa PET), como apresentado na Figura 33.

Figura 33 – Corpos de prova posicionados dentro do recipiente para o ensaio de absorção



Fonte: Autora.

Antes dos corpos de prova entrarem em contato com a água, eles são pesados. A partir do momento em que entram em contato com a água, é cronometrado o tempo e aos 10 e 90 minutos eles são enxutos com um pano úmido (Figura 34) e pesados novamente. Após as pesagens, os corpos devem retornar imediatamente para o recipiente.

Figura 34 – Corpo de prova sendo enxuto com pano úmido



Fonte: Autora.

A absorção de água por capilaridade para cada tempo é calculada através da Equação 3:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (3)$$

Onde:

- A_t é a absorção por capilaridade, para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em g/cm^2 .
- m_t é a massa de cada corpo de prova, em cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em gramas.
- 16 é a área do corpo de prova, em cm^2 .

O coeficiente de capilaridade é calculado como aproximadamente igual ao valor médio das diferenças das massas aos 10 e 90 minutos. O resultado para cada corpo de prova é calculado pela Equação 4:

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad (4)$$

Onde:

- C = é o coeficiente de capilaridade, em $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$.

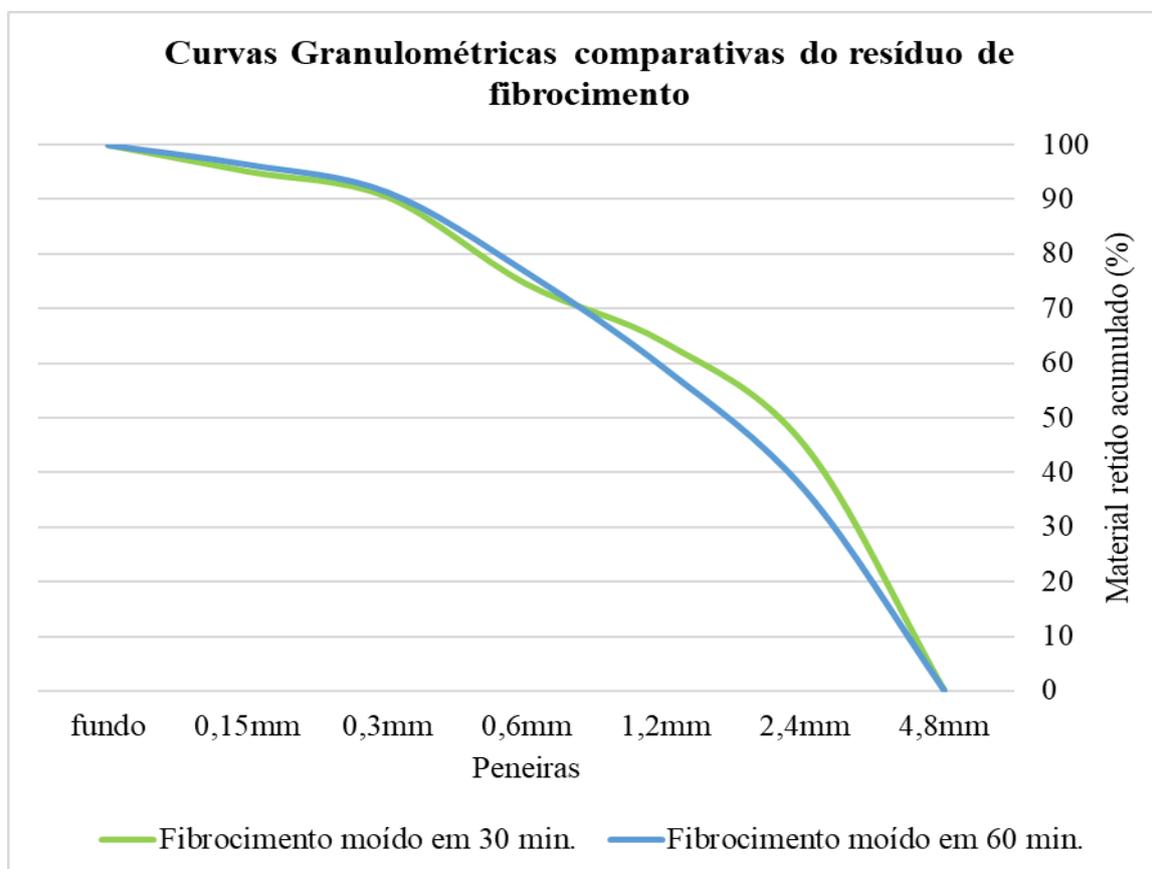
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na análise granulométrica dos agregados miúdos, nos ensaios de consistência, resistência à tração e compressão e também de absorção por capilaridade. Com os resultados expostos, é feita uma discussão acerca do que eles representam.

4.1. Análise Granulométrica

A Figura 35 apresenta as curvas granulométricas comparativas do resíduo de fibrocimento moído em 30 minutos e moído em 1 hora.

Figura 35 - Curvas Granulométricas comparativas do resíduo de fibrocimento



A curva do resíduo moído em 1 hora está em uma posição mais a esquerda do gráfico comparada com a curva do de 30 minutos. Isso indica que o resíduo moído por mais tempo é mais fino que o outro. É possível perceber esse comportamento também na Tabela 1.

Tabela 1 - Identificação das amostras

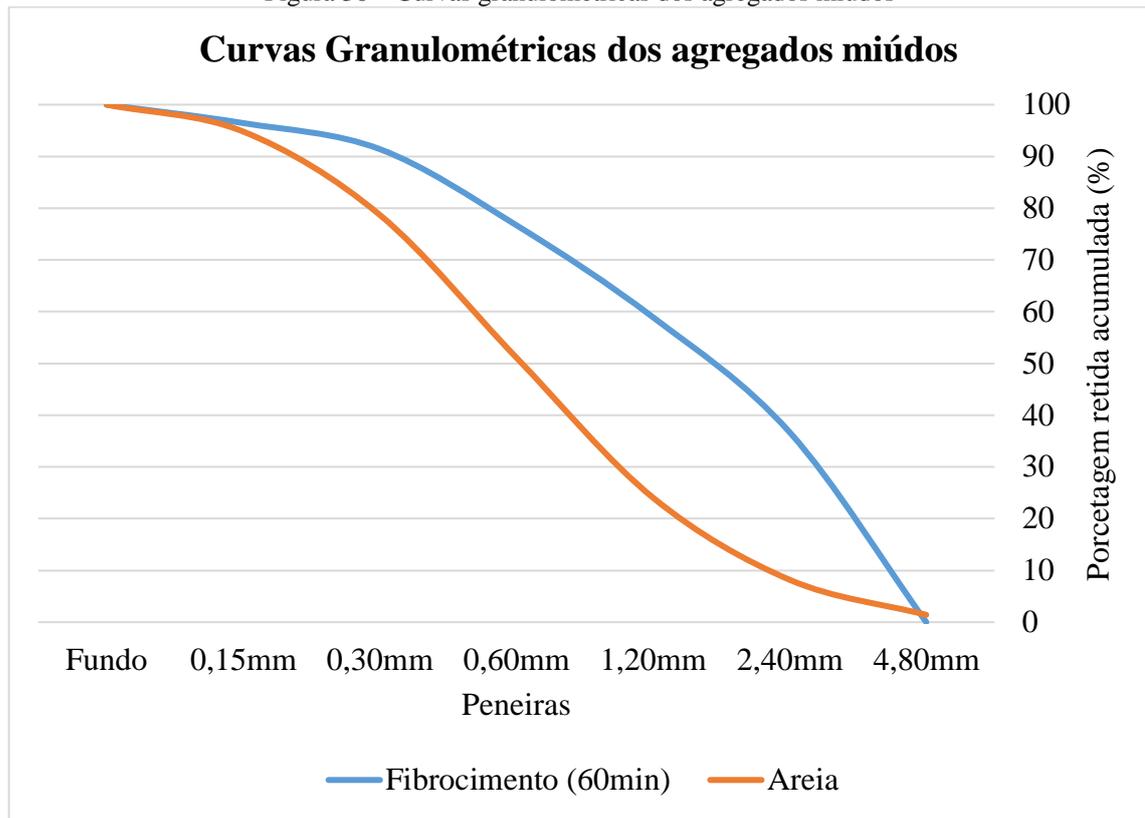
Peneiras	Material retido acumulado (%)	
	Fibrocimento moído em 30 min.	Fibrocimento moído em 60 min.
4,8 mm	0	0
2,4 mm	44,9	36,7
1,2 mm	63,7	58,9
0,6 mm	74,6	76,7
0,3 mm	90,5	91,4
0,15 mm	95,2	96,4
Fundo	100,0	100,0

Fonte: Autora

Na Tabela 1 é possível perceber como o resíduo de fibrocimento moído em 60 minutos tem menos material retido na peneira 2,4 mm, 8,2% a menos. O mesmo acontece na peneira 1,2 mm, com uma redução de 4,8% em comparação ao de 30 minutos. Nas demais peneiras os valores entre os dois resíduos são muito próximos. Portanto, por ser mais fino, o resíduo de fibrocimento moído por 60 minutos foi escolhido para a produção das argamassas.

Agora iremos comparar o agregado miúdo reciclado de fibrocimento adotado com o agregado miúdo natural, a areia. A Figura 36 apresenta as curvas granulométricas da areia e do resíduo de fibrocimento moído em 1 hora.

Figura 36 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos



A curva da areia situada mais à esquerda do gráfico indica que também é, nitidamente, um material mais fino que o resíduo de fibrocimento. Destaca-se também a diferença no desenho das curvas. A curva granulométrica da areia abrange uma faixa extensa de valores e é mais suave, com duas concavidades, uma para cima até o meio da curva e uma para baixo até o fim da curva. A curva do resíduo de fibrocimento é mais acentuada com apenas uma concavidade para baixo.

4.2. Consistência

A Tabela 2 apresenta os resultados das consistências das argamassas.

Tabela 2 – Consistências das argamassas

Argamassa	Fator água/cimento	Volume de aditivo	Consistência média
		(ml)	(mm)
REF	1,83	0	263
5F	1,83	0	253
10F	1,83	0	255
15FA	1,83	15	264
20FA	1,83	20	264
25FA	1,83	40	257

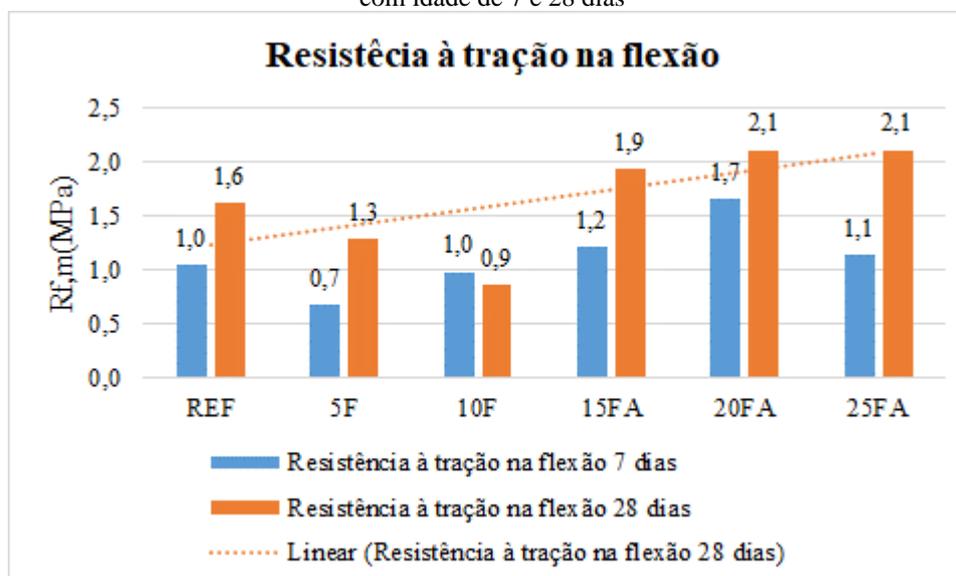
Fonte: Autora.

Na Tabela 2, é possível notar que conforme a porcentagem do resíduo de fibrocimento aumenta, o mesmo ocorre com a quantidade de aditivo presente na formulação da argamassa, o que significa que, sem o aditivo, as consistências são inversamente proporcionais as adições do resíduo de fibrocimento.

4.3. Resistência à tração na flexão

A Figura 37 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração a flexão realizados as idades de 7 e 28 dias.

Figura 37 - Influência do teor de substituição de resíduo de fibrocimento sobre a resistência à tração na flexão com idade de 7 e 28 dias



Fonte: Autora.

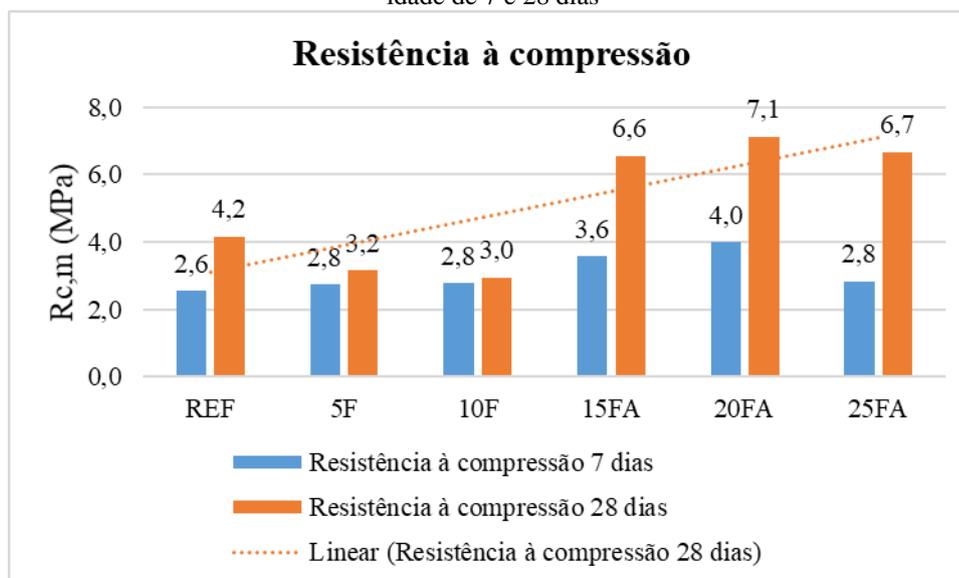
No caso da resistência à tração na flexão, na idade de 7 dias, percebe-se uma diminuição da resistência de REF até 10F e depois um aumento de 15FA até 20FA, em seguida, volta a reduzir em 25FA. Já a idade dos 28 dias, a resistência diminui de REF a 5F e segue crescente até 20FA e mantém-se constante em 25FA.

O traço 20FA, no geral, demonstrou os índices mais altos nas duas idades. Aos 7 dias, aumentou 0,7MPa ou 70% em relação ao REF. Aos 28 dias, ganhou 0,5 MPa ou 31,25% em relação ao REF. Apesar do aumento de substituição de areia por resíduo, aos 7 dias o 25FA teve um desempenho inferior ao 5F e 15FA e, aos 28 dias, o desempenho foi semelhante ao 20FA.

Como já apresentado anteriormente o agregado miúdo natural, a areia, utilizada na produção das argamassas, é um material mais fino e com dispersão das dimensões das partículas mais equilibrada que o agregado miúdo de fibrocimento. Isso significa dizer que a areia implica em uma menor quantidade de vazios e vazios menores que os provocados pelo fibrocimento. Logo, quanto maior a substituição da areia por fibrocimento, haverá uma maior quantidade de vazios e em maiores dimensões. Contudo, o fibrocimento em maior quantidade também significa uma maior contribuição de fibras e estas são adicionadas no material com o intuito de melhorar sua resistência mecânica. Em 5F e 10F, a contribuição das fibras parece não ser suficiente e sobressai o aumento da porosidade, que prejudica a resistência à tração. Já a partir 15FA, é possível perceber que houve um crescimento na resistência em comparação a REF, onde as fibras podem ter sido responsáveis por maximizar a resistência. Porém, em 25FA, a resistência sofre uma queda aos 7 dias e permanece constante aos 28 dias, onde a porosidade se sobressai ao aumento na quantidade das fibras.

4.4. Resistência à compressão

Figura 38 - Influência do teor de substituição de resíduo de fibrocimento sobre a resistência à compressão com idade de 7 e 28 dias



Fonte: Autora.

Aos 7 dias, há um aumento na resistência à compressão de REF até 20FA, diminuindo em 25FA. Já aos 28 dias, a resistência diminui de REF ao 10F e aumenta em 15FA ao 20FA e volta a cair em 25FA.

Em comparação ao REF, todos os traços apresentaram melhora a resistência à compressão aos 7 dias. Mas aos 28 dias somente os traços 15FA, 20FA e 25FA superaram os valores do REF.

Conforme discutido anteriormente, o fibrocimento contribui com as fibras que tem a finalidade de melhorar a resistência mecânica, em contrapartida, o agregado do resíduo de fibrocimento é um material mais grosso e com uma dispersão das dimensões das partículas menos uniforme que a areia, o que acaba conferindo mais vazios à argamassa que a areia. Ou seja, quanto maior a substituição por fibrocimento, mais fibras e mais vazios. E de 5F a 10F, o fibrocimento impactou diminuindo a resistência a compressão aos 28 dias. Já a partir de 15FA, a contribuição da substituição da areia por fibrocimento foi um aumento da resistência à compressão em relação a REF. Porém, em 25FA, a porosidade começa a se sobressair à adição de fibras, causando uma queda na resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

4.5. Absorção por capilaridade

A Tabela 3 apresenta os resultados da absorção em 10 e 90 minutos e o coeficiente de capilaridade para cada traço.

Tabela 3 - Valores médios da absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade aos 28 dias

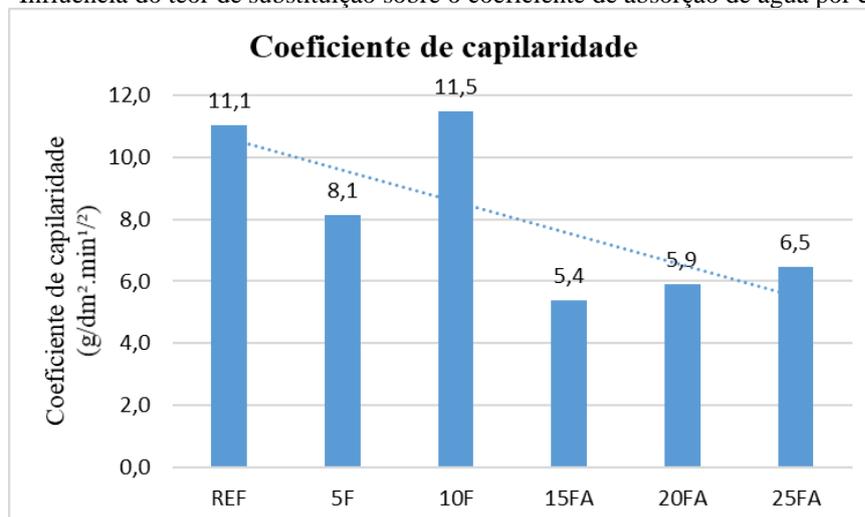
Argamassa	Absorção 10 min (g/cm ²)	Absorção 90 min (g/cm ²)	Coeficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})
REF	0,4	1,1	11,1
5F	0,3	0,8	8,1
10F	0,4	1,1	11,5
15FA	0,3	0,6	5,4
20FA	0,2	0,5	5,9
25FA	0,2	0,7	6,5

Fonte: Autora.

Pode-se observar que aos 10 minutos a absorção diminui de REF ao 5F, depois volta a subir para o mesmo valor e segue caindo a partir de 15FA e se mantém constante em 20FA e 25FA. Aos 90 minutos também há uma queda a partir de REF até 5F, subindo e atingindo o mesmo valor de REF em 10F, depois segue caindo a partir de 15FA e volta a subir 25FA. Nenhum dos traços superou os valores de absorção de REF, seja aos 10 ou aos 90 minutos. No entanto, o traço 10F, aos 10 e 90 minutos, obteve resultados idênticos aos de REF.

A Figura 39 apresenta o gráfico com os resultados do coeficiente de capilaridade para cada traço.

Figura 39 - Influência do teor de substituição sobre o coeficiente de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autora.

Observa-se que o índice de capilaridade obtém uma queda em 5F, depois aumenta de valor ao seu máximo em 10F e volta a cair em 15FA e a partir daí continua aumentando até 25FA. O menor resultado pode ser observado em 15FA, com um coeficiente de capilaridade de 5,4 contra 11,1 do REF. Isso significa uma redução de 54,05%. O maior resultado é apontado em 10F, com aumento de 3,60% em relação ao traço de referência.

No caso da capilaridade, o comportamento das argamassas REF, 5F e 10F, as quais não tinham na sua composição aditivo, apresentaram os maiores valores de coeficiente de capilaridade. Já em 15FA, 20FA e 25FA, nas quais continham aditivos, o coeficiente de capilaridade foi reduzido em relação a REF.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho pode se observar que a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado é possível para produção de argamassa. Contudo, é importante que seja feito um estudo minucioso das propriedades do agregado miúdo reciclado pois suas características são diferentes do agregado miúdo natural e, portanto, podem apresentar comportamentos diferentes nas propriedades reológica e físico-mecânica da argamassa.

Com base nos resultados obtidos, percebeu-se que a argamassa perde trabalhabilidade conforme o teor de substituição de agregado miúdo por resíduo de fibrocimento aumenta e para corrigir esse fator, foi necessário o uso de aditivo hiperplastificante. No entanto, o consumo de aditivo foi bastante elevado, extrapolando o valor máximo recomendado pelo fabricante. Esse elevado volume de aditivo pode impactar de forma severa o custo de produção da argamassa, fazendo com que seja inviável a produção em obras visto que a economia na areia pode não superar o custo elevado com aditivo plastificante.

Nos resultados para os testes de resistência à tração a flexão, os únicos traços que conseguiram resultados melhores que REF foram 15FA, 20FA e 25FA, tanto na idade de 7 dias como aos 28. Destaca-se que apesar do aumento no teor de substituição, 25FA não obteve o melhor desempenho em nenhuma das idades. 20FA obteve os resultados mais elevados: em relação a REF, aos 7 dias aumentou em 70% e aos 28 dias aumentou 31,25%. 25FA apresentou resultado semelhante ao 20FA aos 28 dias mas teve um resultado inferior aos 7 dias.

Na resistência a compressão, todos os traços apresentaram resultados superiores a REF aos 7 dias. Mas, aos 28, isso só aconteceu com 15FA, 20FA e 25FA. Destacando que 20FA obteve o melhor resultado em relação a REF, quando aos 7 dias obteve 38,46% de melhora e aos 28, melhorou 69,05%. O traço 25FA obteve resultados inferiores tanto a 20FA como a 15FA.

O índice de capilaridade teve o seu pior resultado em 10F, apesar deste ter apresentado um resultado muito próximo a REF. 15FA foi o traço que apresentou o menor índice de capilaridade.

Para produção do agregado miúdo reciclado de fibrocimento, foi necessário que o material fosse moído durante 1 hora no Equipamento de Abrasão Los Angeles. Além disso, para os traços que apresentaram os melhores desempenhos na resistência mecânica e no coeficiente de capilaridade, foi necessário adicionar grandes volumes de aditivo plastificante.

E o consumo de energia elétrica e o custo da adição de aditivo são dois fatores que impactam negativamente na produção da argamassa. E apesar da melhora no comportamento mecânico, a utilização do resíduo de fibrocimento na produção da argamassa não se apresentou satisfatório.

REFERÊNCIAS

- AHMADI, Raudhah et al. Evaluation of Microfine Palm Oil Fuel Ash (POFA) as Cement Partial Replacement Material for Mitigation of Chloride Attack. In: **International Journal of Engineering & Technology. Science Publishing Corporation** V.7, p.58-61, mar. 2018.
- APITHANYASAIA, Suchanya; NOOAEK, Praemai; SUPAKATAB, Nuta. The Utilization of Concrete Residue with Electric Arc Furnace Slag in the Production of Geopolymer Bricks. **Engineerig Journal**. V.22, p.1-14, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.4186/ej.2018.22.1.1>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento: diferentes tipos e aplicações**. Associação Brasileira de Cimento Portland. 2018. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/artigos/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>. Acesso em: 25 mar. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5649:Reservatório de fibrocimento para água potável – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2006.
- _____. **NBR 5650:Reservatório de fibrocimento para água potável – Verificação da estanqueidade e determinação dos volumes útil e efetivo**. Rio de Janeiro. 2006.
- _____. **NBR 5643: Telha de fibrocimento — Verificação da resistência a cargas uniformemente distribuídas**. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 7196: Telhas de fibrocimento sem amianto: Execução de coberturas e fechamentos laterais - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.
- _____. **NBR 7211: Agregado para concreto — especificação**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- NBR 7581: Telha ondulada de fibrocimento Parte 1: Classificação e requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 7581: Telha ondulada de fibrocimento Parte 2: Ensaios**. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 7581: Telha ondulada de fibrocimento Parte 3: Padronização**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 13194: Reservatório de fibrocimento para água potável - Estocagem, montagem e manutenção.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2005

_____. **NBR 15210: Telha ondulada de fibrocimento Sem Amianto e Seus Acessórios Parte 1: Classificação e Requisitos.** Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 15210: Telhas onduladas e peças complementares de fibrocimento sem amianto Parte 2: Ensaio.** Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16974: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão Los Angeles.** Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

BENNETI, Rafael Kirchner. **Traços de concreto convencional com incorporação de aditivo acelerador de pega:** análise da resistência nas primeiras idades. Ijuí, 2007, 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.

BOITA, Adenir; BOLLEI, Poliana. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo por Poliestireno Expandido (EPS) na argamassa de assentamento.** Revista Tecnológica. V. 9, n. 1, p. 42 - 55, maio de 2019. ISSN 2358-9221.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**: Relatório de pesquisa. Brasília, 2012.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 de ago. de 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 22 de fevereiro de 2021.

BRASILIT SAIT GOBAIN. **Telha de fibrocimento maxionda**. Disponível em: <https://www.brasilit.com.br/sites/brasilit.com.br/files/styles/carrossel_full_960/public/producto/%5Bnid%5D/60b7e03e-1988-4fbf-a440-f6e6b541804e.jpg?itok=dVytSogT>. Acesso em 22 de fevereiro de 2021.

BRUNATTO, Marcelo Luiz. **Eficiência da moagem de pó cerâmico em moinho agitador de esferas**. Caxias do Sul, 2017. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. 2007**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/T.18.2007.tde-21102007-164548. Acesso em: 2021-11-05.

CARASEK, Helena. **Argamassas, Materiais de construção civil e princípio de ciência e engenharia dos materiais**, Editor Geraldo C. Isaia, v.2, São Paulo, 2010.

COELHO, Flavia Helena Carvalho. **Caracterização de revestimentos interiores com base em argamassas**. 2020. Dissertação (Engenharia Civil - Reabilitação de Edifícios) - Universidade Nova de Lisboa, 2020.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas** - Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável. Brasil, nov. 2014.

DIAS, João Ferando. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. São Paulo, 2004. 251 p. Tese (Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ESTUDOS E PESQUISAS - A Construção Civil E Os Trabalhadores: panorama dos anos recentes. São Paulo: Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos, n.95, 9 jul. 2020.

FRANCISCON, Marcelo. **Tecnologia da Argamassa.** Itatiba, 2007. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

FREITAS, Guilherme Nuemberg de. **Projeto preliminar para realocação e adequação do espaço físico do laboratório de pavimentação da UFSC.**

Florianópolis, 2017. 113 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

GOMES, Wellington Lacerda. **Integração de modelos energéticos e de balanço populacional para simulação de moagem em Moinho de Bolas.** São Paulo, v. 1, f. 22, 2014. 197 p. Dissertação (Engenharia de Minas e Petróleo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GUIMARÃES, Goubyan Borges. **Avaliação do uso de resíduo de vidro a produção de vidros polidos.** Uberlândia, v. 1, f. 125, 2015. 124 p. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

KOFFS, Guilherme Nascimento ; VENDRUSCOLO, Iorham Marcelo Dias. **Análise do efeito de adições minerais na durabilidade de argamassas estabilizadas.** Pato Branco, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Par, Pato Branco, 2018.

KUDER, Katherine G.; SHAH, Surendra P. **Processing of high-performance fiber-reinforced cement-based composites Processing of high-performance fiber-reinforced cement-based composites.** Disponível em: <
<http://www.usp.br/constrambi/supplementary%20reading/Processing%20of%20high-performance%20fiber-reinforced%20cement-based%20composites.pdf>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2021.

LEMES, Silênia Priscila da Silva. **Análise de Desempenho em Argamassa de Assentamento e de Revestimento com Incorporação de Cinza de Casca de Arroz em Alvenaria de Bloco Estrutural e de Vedação.** Alegrete, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

Marconi Equipamentos Para Laboratórios Ltda. **MA701/21 | Moinho de Bolas para Minérios tipo Bond**. Disponível em <<http://www.marconi.com.br/produto/248/moinho-de-bolas-para-minerios-tipo-bond>>. Acesso em 22 de abril de 2021.

MARINHO, Marília Neves. **Análise do desempenho mecânico de concretos betuminosos usinados a quente com o uso de agregado graúdo reciclado de concreto**. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MARQUES, Vinicius Martins. **Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais ao Longo do Ciclo de Vida de Telhas de Fibrocimento com e sem Amianto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

MOHAMAD, Ahmad Yusri et al. Feasibility Study of Utilizing Steel Slag and Cathode Ray Tube Glass as Aggregate Replacement for Road Base. **International Journal of Nanoelectronics and Materials**. Science Publishing Corporation, V.13, p. 129-136, may 2020.

OLIVEIRA, Anderson Lima; MENDES, Ian Lucas Lopes; CASTRO, Nicolas Câmara de Castro. **Estudo da resistência mecânica da argamassa de revestimento**. São Luís, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

RAMOS, Vítor Emmanoel Tavares Tenório. **Análise das propriedades de concreto produzido com agregado miúdo reciclado proveniente de corpos de prova de concreto**. Delmiro Gouveia, 2021. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2021.

ROHDE, Luciana. **Escória de aciaria elétrica em camadas de pavimentos: estudo laboratorial**. Porto Alegre, 2002. 101 p. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TELES, Vanessa Yasmine Ferreira da Rocha. **Caracterização das argamassas das edificações históricas do engenho monjope - PE**. Recife, 2020. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2020.

TRENTIN, Priscila Ongaratto et al. **Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa**. *Matéria* (Rio de Janeiro) [online]. 2020, v. 25, n. 1 [Acessado 24 Novembro 2021], e-12576. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0903>>. Epub 06 Abr 2020. ISSN 1517-7076.
<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0903>.

VAS Tecnologia Industrial. **Máquina de Abrasão Los Angeles (A075N)**. VAS Tecnologia Industrial. Disponível em: <http://vastecnologia.com.br/maquina-de-abrasao-los-angeles/#:~:text=Usado%20para%20determinar%20a%20resist%C3%Aancia,entre%2031%20e%2033%20rpm>. Acesso em: 18 fev. 2021.

ZARDO, Anderson Maciel et al. Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento. In: **I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, 1., jul. 2004, São Paulo. ISBN 85-89478-08-4.