

**UNIVERSIDADE TIRADENTES  
ENGENHARIA CIVIL**

**LETICIA CARDOSO SOARES  
LUIZ FLÁVIO ASSUNÇÃO MENDONÇA**

**ARGAMASSA COLANTE: UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA  
ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO  
NATURAL POR AGREGADO MIÚDO RECICLADO PROVENIENTE DO  
CONCRETO, SUBMETIDAS A TIPOS DE CURAS DISTINTAS.**

**ARACAJU  
2018**

**LETICIA CARDOSO SOARES  
LUIZ FLÁVIO ASSUNÇÃO MENDONÇA**

**ARGAMASSA COLANTE: UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA  
ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO  
NATURAL POR AGREGADO MIÚDO RECICLADO PROVENIENTE DO  
CONCRETO, SUBMETIDAS A TIPOS DE CURAS DISTINTAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Tiradentes, como  
requisito parcial para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> MSc. Andréa Quaranta  
Barbosa

**ARACAJU**

**2018**

**ARGAMASSA COLANTE: UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA  
ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO  
NATURAL POR AGREGADO MIÚDO RECICLADO PROVENIENTE DO  
CONCRETO, SUBMETIDAS A TIPOS DE CURAS DISTINTAS.**

**Leticia Cardoso Soares**

**Luiz Flávio Assunção Mendonça**

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE TIRADENTES COMO REQUISITO PARCIAL DE AVALIAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinados por:

---

Prof.<sup>a</sup> MSc. Andréa Quaranta Barbosa  
Orientadora – Universidade Tiradentes

---

Prof. Dr. Anderson da Conceição Santos Sobral  
Banca examinadora – Universidade Tiradentes

---

Prof. MSc. Cassius Gomes de Oliveira  
Banca examinadora – Universidade Tiradentes

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeira e primordialmente a Deus que nos concedeu, muito mais que a vida, e que esteve sempre conosco, ensinando-nos a melhor maneira de vivê-la.

A nossa orientadora MSc. Andréa Quaranta Barbosa, pelo acompanhamento e incentivo durante toda a execução deste trabalho.

Aos professores da Universidade Tiradentes por todo o conhecimento e experiências passados ao longo dos anos.

A SONDA Engenharia, pelo apoio e auxílio nos ensaios realizados no laboratório.

A HUNIMASSAS, pelo apoio e disponibilização dos materiais para realização dos ensaios.

## RESUMO

Atualmente o termo sustentabilidade tem sido bastante discutido por inúmeros pesquisadores em todas as áreas da engenharia, de modo que um ponto relevante em relação a areia, é que a exploração de agregados miúdos promove um considerável impacto ambiental. Sendo assim, torna-se importante utilizar soluções sustentáveis para a produção de argamassa. Com isto, o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento da argamassa colante convencional em comparação as argamassas com substituição parcial de 25% e 50% do agregado natural por agregado reciclado proveniente do concreto, submetida a tipos de curas distintas. O estudo apresenta os resultados da caracterização granulométrica e massa específica dos agregados naturais e reciclados, bem como os ensaios de resistência à tração e ensaio de deslizamento de placa cerâmica. Contudo, a influência do agregado reciclado foi avaliada com base nas propriedades da argamassa colante no estado fresco e no estado endurecido e os resultados mostraram que, o uso de agregados reciclados nas argamassas colantes obteve um ganho de resistência a tração considerável. Sendo assim, os resultados mostram a viabilidade no uso do agregado miúdo reciclado para a produção de argamassa colante.

**Palavras-chave:** Argamassa. Sustentabilidade. Agregado reciclado. Resistência a tração.

## **ABSTRACT**

Currently the term sustainability has been widely discussed by many researchers in all areas of engineering, so that a relevant point in relation to sand, is that the exploitation of small aggregates promotes a considerable environmental impact. Therefore, it is important to use sustainable solutions for the production of mortar. The aim of this study was to analyze the behavior of conventional adhesive mortar in comparison to mortar with partial replacement of 25% and 50% of the natural aggregate by recycled aggregate from concrete submitted to different types of cure. The study presents the results of the granulometric characterization and specific mass of the natural and recycled aggregates, as well as the tests of tensile strength and ceramic plate slip test. However, the influence of the recycled aggregate was evaluated based on the properties of the fresh and hardened adhesive mortar and the results showed that the use of recycled aggregates in the adhesive mortar obtained a considerable tensile strength gain. Thus, the results show the feasibility in the use of the recycled kid's aggregate for the production of adhesive mortar.

**Keywords:** Mortar. Sustainability. Recycled aggregate. Tensile strength.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Classificação dos aglomerantes.....	17
<b>Figura 2:</b> Características para utilização da água.....	21
<b>Figura 3:</b> (A) Agregado Natural; (B) Agregado reciclado.....	25
<b>Figura 4:</b> Britador de mandíbulas.....	25
<b>Figura 5:</b> Estufa de modelo TE-394/3.....	27
<b>Figura 6:</b> Conjunto de peneira da série normal.....	28
<b>Figura 7:</b> Frasco aferido de 500cm <sup>3</sup> .....	29
<b>Figura 8:</b> Banho maria.....	30
<b>Figura 9:</b> Dosagem da argamassa convencional.....	32
<b>Figura 10:</b> Dosagem da argamassa com agregado reciclado.....	32
<b>Figura 11:</b> Misturador mecânico.....	33
<b>Figura 12:</b> Substrato-padrão.....	34
<b>Figura 13:</b> Fôrma para execução do substrato-padrão.....	35
<b>Figura 14:</b> Concreto homogêneo utilizado no substrato-padrão.....	36
<b>Figura 15:</b> Substrato-padrão após moldagem.....	37
<b>Figura 16:</b> Processo de cura do substrato-padrão.....	38
<b>Figura 17:</b> Aplicação da argamassa no substrato-padrão.....	39
<b>Figura 18:</b> Formação dos cordões de argamassa.....	39
<b>Figura 19:</b> Verificação da altura dos cordões com auxílio do paquímetro.....	40
<b>Figura 20:</b> Aplicação da placa cerâmica no substrato.....	40
<b>Figura 21:</b> (A) Massa padrão; (B) Carregamento da placa cerâmica; (C) retirada dos cordões excedentes.....	41
<b>Figura 22:</b> Cura da argamassa em condições ambientais.....	42
<b>Figura 23:</b> Cura da argamassa com imersão em água.....	42
<b>Figura 24:</b> Cura com aquecimento em estufa.....	43
<b>Figura 25:</b> Ensaio de arrancamento.....	44
<b>Figura 26:</b> Placas cerâmicas aplicada para ensaio de deslizamento.....	46
<b>Figura 27:</b> Curva granulométrica do agregado natural e agregado reciclado.....	51
<b>Figura 28:</b> Ensaio de arranque.....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Tipos gerais de argamassa quanto a utilização.....	15
<b>Tabela 2:</b> Tipos de argamassa colante.....	16
<b>Tabela 3:</b> Principais tipos de aditivos utilizados nas argamassas.....	20
<b>Tabela 4:</b> Massa mínima de agregado para ensaio.....	26
<b>Tabela 5:</b> Granulometria do agregado natural.....	48
<b>Tabela 6:</b> Granulometria do agregado reciclado.....	49
<b>Tabela 7:</b> Verificação da diferença da massa inicial para o somatório das massas retidas.....	49
<b>Tabela 8:</b> Classificação da areia quanto ao módulo de finura.....	50
<b>Tabela 9:</b> Massa específica do agregado natural.....	52
<b>Tabela 10:</b> Massa específica do agregado reciclado.....	52
<b>Tabela 11:</b> Resistência para agregado natural com cura em condições ambientais.....	54
<b>Tabela 12:</b> Resistência para 25% do agregado reciclado com cura em condições ambientais.....	55
<b>Tabela 13:</b> Resistência para 50% do agregado reciclado com cura em condições ambientais.....	55
<b>Tabela 14:</b> Resistência para agregado natural com cura úmida.....	56
<b>Tabela 15:</b> Resistência para 25% do agregado reciclado com cura úmida.....	57
<b>Tabela 16:</b> Resistência para 50% do agregado reciclado com cura úmida.....	57
<b>Tabela 17:</b> Resistência para agregado natural com cura em estufa.....	58
<b>Tabela 18:</b> Resistência para 25% do agregado reciclado com cura em estufa.....	58
<b>Tabela 19:</b> Resistência para 50% do agregado reciclado com cura em estufa.....	59
<b>Tabela 20:</b> Resultado de deslizamento para agregado natural.....	60
<b>Tabela 21:</b> Resultado de deslizamento para agregado reciclado 25%.....	60
<b>Tabela 22:</b> Resultado de deslizamento para agregado reciclado 50%.....	60



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	12
2.1. Geral .....	12
2.2. Específicos.....	12
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
3.1. Histórico da argamassa .....	13
3.2. Conceito de argamassa.....	14
3.3. Materiais constituintes da argamassa.....	16
3.3.1. Aglomerantes .....	16
3.3.1.1. Cimento .....	17
3.3.1.2. Cal .....	18
3.3.2. Agregados.....	18
3.3.3. Aditivos .....	19
3.3.4. Água de amassamento.....	20
3.4. Propriedades das argamassas.....	22
3.4.1. Aderência.....	22
3.4.2. Trabalhabilidade .....	22
3.5. Dosagem.....	23
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	24
4.1. Caracterização do agregado miúdo.....	24
4.1.1. Granulometria.....	24
4.1.2. Massa específica .....	29
4.2. Dosagem e fabricação da argamassa colante.....	31
4.3. Ensaio realizados .....	34
4.3.1. Determinação da resistência de aderência à tração.....	43
4.3.2. Deslizamento.....	45
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48
5.1. Granulometria.....	48
5.2. Massa específica .....	51
5.3. Ensaio de arrancamento.....	52
5.4. Ensaio de deslizamento.....	59
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	62
<b>7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	63
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil apresenta uma grande participação na economia mundial, sendo responsável pela maior extração de recursos naturais para uso em indústria e pela geração excessiva de resíduos de construção civil (RCC) durante o processo construtivo. Tais materiais gerados são decorrentes de erros, falhas de execução e indefinição na elaboração dos projetos (SILVA, 2000).

Nesse cenário, a argamassa é um dos mais antigos materiais de construção, e é composta basicamente por agregados miúdo, aglomerantes, água e podendo ou não conter aditivos químicos. Ela é aplicada nas mais diversas áreas, sendo elas: casas, edifícios, estádio de futebol, usina hidrelétrica, obras de saneamento entre outras. Devido ao uso progressivo da argamassa, acarretado pelo intenso crescimento na construção civil, há uma crescente demanda por insumos, sendo eles a areia natural, que é o agregado miúdo mais utilizado. Desse modo, a exploração desse recurso natural leva grandes impactos a natureza, o que gera inúmeras restrições estipuladas pelos órgãos ambientais, considerando que a extração descontrolada de jazidas agride as calhas naturais dos rios, ocorrendo um aumento na vazão de água e provocando erosão das margens (TEODORO, 2013).

Diante do exposto, nas últimas décadas, políticas e incentivos vem sendo adotados pelo governo e empresas privadas visando estabelecer o desenvolvimento com menor impacto possível. Sendo assim, a atual legislação indica para os produtores buscarem técnicas de extração e até de interdição de jazidas que não estão conforme com os padrões estabelecidos, o que torna necessária a busca por materiais que possam substituir a areia.

Sendo assim, no Brasil, a Resolução 307/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) proporcionou um avanço na construção civil, de modo que ela atribui responsabilidades aos geradores e transportadores de resíduos. Os geradores de resíduos são também responsáveis pela sua destinação e por esse motivo, as empresas procuram medidas visando à redução de perdas e aproveitamento de resíduos através do processo de reciclagem. Neste sentido, a reutilização e reciclagem de resíduos oriundos da construção civil apresentam grandes vantagens do ponto de vista do desenvolvimento sustentável (SILVA,2000).

Vários estudos comprovam a viabilidade do uso de agregados reciclados tanto na condição graúda (OIKONOMOU, 2005; ETXEBERRIA *et al.*, 2007) como na

condição miúda (EVANGELISTA & BRITO, 2007; 2010) na fabricação de concreto. Leite *et. al.* (2000) e Moriconi *et. al.* (2009) mostram que substituições parciais dos agregados naturais pelos reciclados em argamassas podem apresentar também desempenho satisfatório.

Segundo o IBGE (2010) foi constatado que, 72,45% dos municípios brasileiros realizam coleta de resíduos gerados pela construção civil e apenas 9,7% desses possuem formas de processamento que possibilitem a reciclagem (ROMA; MOURA, 2011), sendo assim, a reciclagem dos materiais originados pela construção civil ainda precisa ser estimulada.

Além da grande exploração dos recursos naturais, segundo Pimentel *et. al.* (2007), os resíduos gerados são abandonados e estocados de maneira inadequadas no Brasil, sendo que, de todo o lixo gerado pelas grandes cidades, 50% destes corresponde a resíduos gerados da construção civil.

Nas últimas décadas, diante desses acontecimentos, a utilização de materiais alternativos na produção de argamassas vem ganhando espaço e se mostrando vantajoso. Conforme John (2000), a reciclagem na construção civil pode gerar benefícios como a redução no consumo de recursos naturais. Além disso, algumas pesquisas demonstram que em média de 40 a 50% dos materiais reciclados podem se tornar finos, o que sugere a substituição parcial da areia natural por estes materiais. Contudo, para que um novo produto seja aceito pelo mercado, é necessário conhecer bem o seu comportamento físico e tecnológico (LEITE, 2001).

Portanto, a relevância deste estudo consiste analisar a viabilidade técnica do reuso dos resíduos como agregado miúdo utilizados na fabricação de argamassa colante.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Geral

Analisar o comportamento da argamassa colante convencional em comparação as argamassas com substituição parcial de 25% e 50% do agregado natural por agregado reciclado proveniente do concreto, submetida a tipos de curas distintas.

### 2.2. Específicos

- Executar a caracterização dos agregados miúdos;
- Dosar e fabricar a argamassa colante com substituição de 25% e 50% do agregado miúdo por agregado reciclado;
- Analisar a aderência da argamassa sustentável em comparação com a argamassa colante tradicional, submetidas ao processo de cura distintas;
- Comparar os resultados do teste de deslizamento entre as três argamassas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Histórico da argamassa

Estimam-se que, há cerca de 11.000 anos, ocorreram as primeiras utilizações da argamassa como material de construção. Em 1985, no sul da Galileia, perto de Yiftah'el, em Israel, o que hoje é considerado o registro mais antigo da utilização de argamassa pelo homem, que se refere a um piso polido de 180m<sup>2</sup>, feito com pedras e argamassa de areia e cal, com estimativa de execução no período entre 7.000 a.C. e 9.000 a.C. O segundo registro mais antigo, 5.600 a.C., que é de uma laje com 25cm de espessura, executada com argamassa de cal no pátio da Vila de Lepenske-Vir, hoje atual Iugoslávia. Além disso, também existem muitos outros registros da utilização da argamassa de cal e gesso pelos Egípcios, Gregos, Romanos e Etruscos (European Mortar Industry Organization – EMO, 2006; Hellenic Cement Industry Association – HCIA, 2006).

Diante do exposto, as argamassas na antiguidade eram produzidas com areia e cal, no entanto com a modificação das técnicas de construção, novos materiais foram originados.

No final do século XIX, surgiram as argamassas industrializadas, mais precisamente nos Estados Unidos e Europa, as quais eram misturas prontas, sendo necessário apenas a adição de água. Hoje, as argamassas possuem em sua composição o cimento Portland e, em alguns casos, aditivos orgânicos para melhorar seu desempenho, a exemplo da trabalhabilidade. Esses aditivos podem ser os retentores de água, que usam em sua composição ésteres de celulose, com a finalidade regular a perda de água de amassamento, e os aditivos incorporadores de ar, que alteram a reologia da argamassa em estado fresco pela adição de pequenas bolhas de ar (EMO, 2006).

Sendo assim, segundo Fiorito (1994), para a execução do assentamento de placas cerâmicas, eram utilizadas argamassas convencionais antes da utilização das argamassas colantes no mercado, conseqüentemente, sem a utilização de aditivos, de modo que essas misturas convencionais eram feitas no próprio canteiro da obra. A espessura utilizada para o assentamento era de aproximadamente 20mm, o que provocava grandes perdas de água através de sucção e/ou evaporação.

De acordo com Wagner (1973), durante a década de 60, na Europa e nos Estados Unidos, houve a primeira modificação, utilizando polímeros nas argamassas para o assentamento de placas cerâmicas, aplicando inicialmente o polímero metil celulose, devido à grande capacidade de retenção de água. Diante disso, diversos outros tipos de polímeros vêm sendo estudados pelo meio técnico e empregados pelas indústrias fabricantes de argamassas colantes.

Fiorito (1994) afirma que no Brasil, somente em meados 1971 surgiram as primeiras argamassas colantes, baseada na “dry-set mortar” que é uma mistura de cimento, areia muito fina e um composto de retenção de água que permite que o cimento se hidrate adequadamente, porém nos Estados Unidos, Europa e Japão já vinham sendo utilizadas. Tal especificação emprega-se pelo fato da argamassa ser uma mistura preparada, precisando somente da adição de água (OHAMA, 1984).

Baseado em Silva (2003), por volta da década de 80, houve um aumento na produção da argamassa colante nas indústrias brasileiras, resultando em uma normalização específica. Conforme o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, CB-18 da ABNT, em 1994 começaram os estudos para normatização da argamassa colante, apresentando os projetos aprovados e publicados em 1998, e assim dando origem as NBR 14081 a 14086/1998, sendo essas canceladas e substituídas pelas NBR 14081-1 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – parte 1 a 14081-5/2012 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – parte 5.

### 3.2. Conceito de argamassa

A NBR-13281/2005, define argamassa como uma mistura homogênea de agregado (s) miúdo (s), aglomerante (s) inorgânico (s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em indústrias.

Já a NBR-13529/2013, define os tipos mais comuns de argamassa, sendo elas descrita na Tabela 1.

**Tabela 1:** Tipos gerais de argamassa quanto a utilização.

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
<b>Argamassa de revestimento</b>	É uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.
<b>Argamassa comum</b>	É uma argamassa de composição simples ou mista, cujas propriedades dependem da proporção e do tipo do(s) aglomerante(s) e agregado(s) utilizados.
<b>Argamassas aditivada</b>	É uma argamassas em que são utilizadas aditivo(s) para melhorar suas propriedades no estado fresco ou endurecido.
<b>Argamassa para rejuntamento (rejunte)</b>	É utilizada no preenchimento de juntas entre peças para revestimento (cerâmicas, porcelanatos, pastilhas, ladrilhos, pedras de revestimento, entre outros).
<b>Argamassa colante</b>	Argamassa com propriedades adesivas (colante), empregada no assentamento de peças para revestimento (cerâmicas, porcelanatos, pastilhas, ladrilhos, pedras de revestimento, entre outros).

**Fonte:** ABNT NBR 13529/2013.

A argamassa colante industrializada, segundo a NBR-14081-5/2012 (argamassas colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas-parte 5), é definida como sendo um produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturado com água, forma uma massa plástica, viscosa e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento. Essas argamassas podem ser do tipo AC I, AC II, AC III e do tipo E, conforme ilustrado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Tipos de argamassa colante.

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Argamassa colante industrializada AC I</b>	Possuem características de resistência às solicitações mecânicas e termoigrométricas típicas de revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais.
<b>Argamassa colante industrializada AC II</b>	Argamassa com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termoigrométrica e a ação do vento.
<b>Argamassa colante industrializada AC III</b>	Apresenta aderência superior em relação às argamassas dos tipos AC I e AC II
<b>Argamassa colante industrializado tipo E</b>	Argamassa colante industrializada dos tipos AC I, AC II e AC III, com tempo em aberto estendido.

**Fonte:** Adaptado da NBR 14081-5/2012.

Diante do exposto, conforme o manual de revestimento da ABCP-2002 (Associação Brasileira do Cimento Portland), as argamassas possuem uma série de propriedades que tem relevância em função do seu tipo e/ou sua aplicação, sendo elas possuírem características no estado fresco ou no estado endurecido.

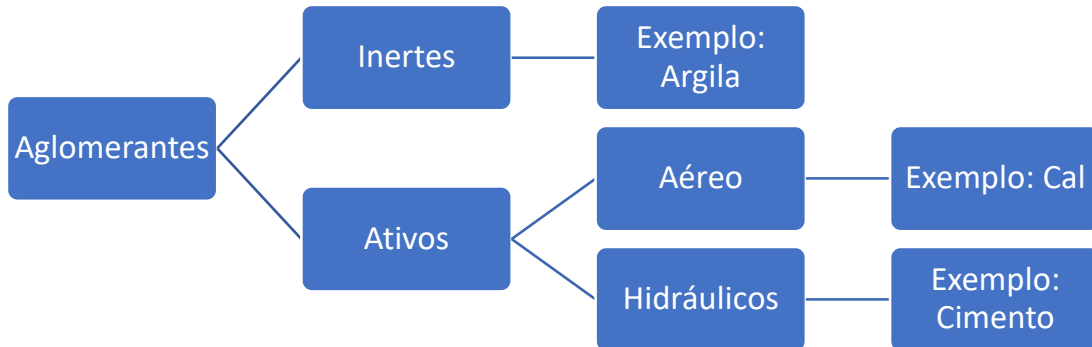
### 3.3. Materiais constituintes da argamassa

#### 3.3.1. Aglomerantes

Segundo Ambrozewicz (2012), aglomerante é o material ligante, ativo, que tem como principal função formar uma pasta que tem poder cimentante, ou seja, promover a junção entre os grãos dos agregados, sendo empregados na fabricação de concretos, argamassas, na confecção de natas e pastas.



Segundo Petrucci e Silva (1975), de acordo com sua composição e mecanismo de endurecimento, os aglomerantes podem ser divididos em inertes ou ativos conforme ilustra a Figura 1.



**Figura 1:** Classificação dos aglomerantes.  
**Fonte:** Adaptado Petrucci e Silva (1975).

Ainda segundo os autores, os aglomerantes quimicamente inertes têm seu endurecimento devido a secagem do material, a exemplo disso temos a argila, já os aglomerantes quimicamente ativos seu endurecimento se dá por reação química, que temos como exemplo o cimento e a cal.

### 3.3.1.1. Cimento

De acordo com Boletim Técnico BT-106 (ABCP, 2002) o Cimento Portland, popularmente conhecido na construção civil como cimento, tem propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes. É um material pulverulento que reagem sob ação da água, sendo assim, um aglomerante hidráulico. Depois de endurecido, mesmo que submetido à uma nova ação da água, permanece estável.

O cimento é o aglomerante mais utilizado na construção civil, tem seu nome decorrente da semelhança do cimento fabricado industrialmente com a pedra de Portland, calcário extraído na Inglaterra, mais precisamente em Dorset. Constitui-se por um pó fino acinzentado, composto de silicatos e aluminatos de cálcio, com várias propriedades e características, dentre elas ser facilmente moldável quando misturados com água, além de desenvolver elevada resistência à compressão ao longo do tempo (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2013).

A construção civil utiliza o cimento Portland com propósito de conferir propriedades de resistência e durabilidade aos materiais de construção, constituindo, basicamente, de compostos de silicatos e aluminatos, por meio de processo de hidratação, fazendo assim o cimento produzir os chamados compostos hidratados, como o silicato de cálcio hidratado (CSH), o hidróxido de cálcio (CH) – chamado também por portlandita e o sulfoaluminato de cálcio, além dos grãos de clínquer não hidratados (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

### 3.3.1.2. Cal

De acordo com a NBR-7175/2003, a cal hidratada é resultado da hidratação da cal virgem, após moagem dando origem a um pó fino de característica pulverulenta. Constituído de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou sendo ainda a tal mistura com adição de óxido de magnésio.

Conforme a ABCP (2002), nas edificações civis a cal é utilizada na condição hidratada, como parte fundamental no ganho de desempenho e durabilidade no preparo de argamassas de assentamento e de revestimento.

Além disso, segundo Dubaj (2000), a cal é um aglomerante aéreo que tem seu endurecimento devido a secagem e a reação com o anidrido carbônico presente na atmosfera. A cal é usada em argamassa, já que inclui na argamassa a capacidade de absorver deformações além de assegurar a estanqueidade do revestimento.

### 3.3.2. Agregados

Segundo Bauer (2000), agregado miúdo é um material particulado, incoesivo, constituído de misturas de partículas com uma vasta gama de tamanhos. O autor ressalta ainda que, são materiais de formato granulares e classificados com base em sua composição granulométrica. Além disso, de acordo com sua origem, podem também ser definidos como agregado natural: que são aqueles obtidos por meio da exploração de jazidas naturais ou retirados dos leitos dos rios através do processo de dragagem ou agregado artificial: que são obtidos por meios industriais através do processo de britagem.

Somado a isso, conforme Manual de Revestimento da ABCP (2002), a composição granulométrica dos agregados é um dos fatores mais importantes e tem influência direta na relação água/cimento da mistura, logo o agregado que possui uma curva granulométrica mais contínua, resulta então em uma argamassa com melhores propriedades.

### 3.3.3. Aditivos

Conforme ABCP (2002), os aditivos são substâncias adicionadas em pequenas quantidades à mistura, com o propósito de aprimorar uma ou mais propriedades da argamassa no estado fresco e/ou endurecido, e tem suas quantidades expressas em percentual com relação ao aglomerante.

Ainda segundo ABCP (2002) frequentemente, por meio de aditivos, busca-se baixar a retração na secagem no sentido de diminuir a fissuração, aumentar o tempo de pega e preservar a plasticidade para facilitar a trabalhabilidade, aumentar o acúmulo de água e, por fim, acrescentar a aderência da argamassa ao substrato.

Os aditivos são produtos orgânicos ou inorgânicos, os quais são complementares à composição e às finalidades das argamassas. Sua aplicação, em pequenas quantidades, antes ou depois da mistura dos componentes, faz aparecer ou reforçar certas características (GUIMARÃES, 1998).

Segundo Hanai (1992), os aditivos podem atuar modificando as propriedades da argamassa no estado fresco, como trabalhabilidade, tempo de início e fim de pega, coesão, entre outras, bem como as propriedades da argamassa no estado endurecido, como resistência mecânica, durabilidade, permeabilidade, entre outras.

O manual de Revestimento da ABCP (2002) define os tipos de aditivos e suas principais funções como ilustrado na Tabela 3:

**Tabela 3:** Principais tipos de aditivos utilizados nas argamassas.

<b>Tipos de aditivos</b>	
<b>Redutores de água (plastificante)</b>	Melhora a trabalhabilidade sem alterar a quantidade de água.
<b>Retentores de água</b>	Reduzem a evaporação e a exsudação de água; Conferem capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes.
<b>Incorporador de ar</b>	Criam homogeneamente microbolhas de ar, aumentando a trabalhabilidade e atuando a favor da permeabilidade.
<b>Retardadores de pega</b>	Retardam a hidratação do cimento, proporcionando um tempo maior de utilização.
<b>Aumentadores de aderência</b>	Proporcionam aderência química ao substrato.
<b>Hidrofugantes</b>	Reduzem a absorção de água, mas não a tornam impermeável.

**Fonte:** Adaptado do Manual do Revestimento ABCP (2002).

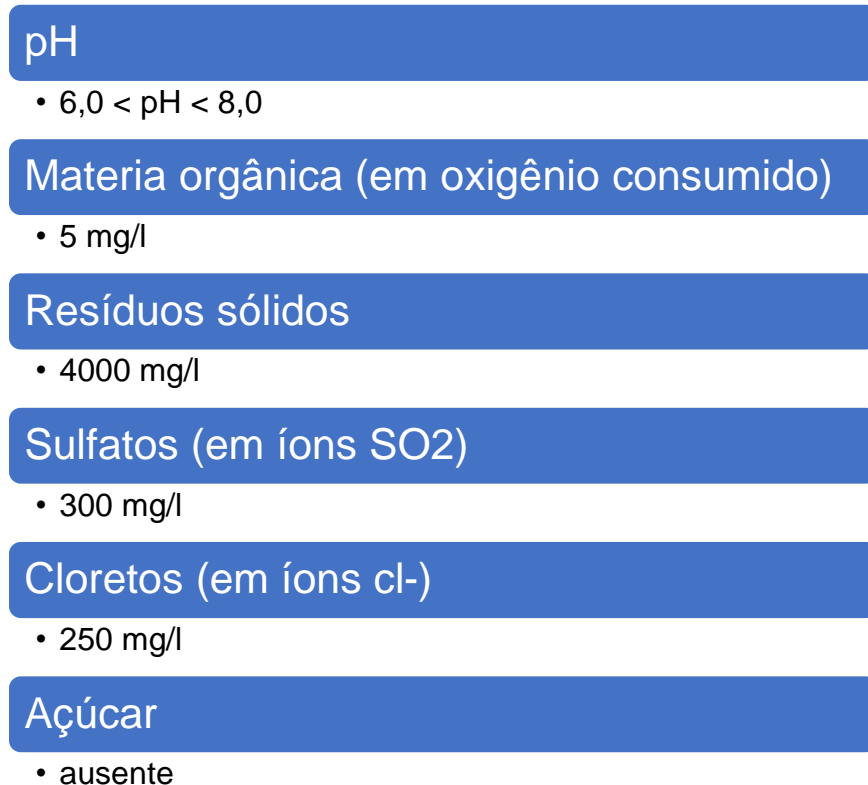
#### 3.3.4. Água de amassamento

Segundo Ambrozewicz (2012), em um orçamento de custo e serviço de engenharia, a água não é vista nem tratada como item de construção, mesmo sabendo de sua importância em várias etapas da obra. A água na engenharia é praticamente usada em todos os serviços, sendo ela tratada como componente ou como ferramenta, pois entra como componente na utilização junto com o concreto e argamassa, e é tida como ferramenta na utilização dos trabalhos de limpeza, resfriamento e cura do concreto.

Ainda segundo o autor, a água utilizada para o amassamento deve estar dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 15900-1/2009, prescrevendo que a água destinada ao amassamento não deve conter impurezas, teores prejudiciais e de substância estranhas para assim garantir a homogeneidade da mistura.

Silva (1991) também denomina água de amassamento como a água usada na confecção da argamassa, e também ressalta que deve ser livre de impurezas que afetem sua reação com o cimento.

A NBR 11560/1990 especifica como regra geral que as águas potáveis são consideradas satisfatórias desde que apresentem suas características semelhantes ao cenário mostrado na Figura 2.



**Figura 2:** Características para utilização da água.  
**Fonte:** Adaptado da NBR 11560/90.

De modo geral, a NBR 11560/1990 especifica que em função de sua origem e características, é possível verificar se a água é adequada ou não para ser empregada no amassamento.

### 3.4. Propriedades das argamassas

#### 3.4.1. Aderência

Segundo CARASEK (2007), a aderência é uma característica da argamassa que corresponde a resistência e a extensão da junção entre a argamassa e o substrato. Desta forma deve-se levar em conta tanto as características das argamassas quanto do substrato onde serão aplicadas.

A aderência dos agregados ocorre por meio do seu intertravamento com a pasta de aglomerantes, devido a aspereza da superfície das suas partículas. Segundo NEVILLE e BROOKS (2013) quanto mais ásperas a superfície, resultam em melhor aderência, e diante disso, há de se considerar ainda que, a aderência é também influenciada pela composição química e mineralógica dos grãos, bem como sua condição eletrostática da superfície.

#### 3.4.2. Trabalhabilidade

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a trabalhabilidade é uma propriedade de avaliação qualitativa, de modo que alguns aspectos interferem nessa propriedade como as características dos materiais constituintes e o quantitativo de cada material empregado. Desse modo, uma argamassa é considerada trabalhável quando em estado não fluida deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, mantém-se coesa ao ser transportada e não adere à colher de pedreiro ao ser lançada, distribui-se facilmente e preenche todas as reentrâncias da base e não endurecem rapidamente quando aplicadas.

Conforme Carasek (2007), para argamassas no estado fresco, a trabalhabilidade é uma propriedade que determina a facilidade em que ela pode ser misturada, aplicada e acabada em condições homogêneas, sendo ela uma propriedade complexa, resultante da junção de outras propriedades, tais como: plasticidade, retenção de água, consistência, exsudação, densidade de massa e adesão inicial.

### 3.5. Dosagem

Conforme Santos (2014) dosar uma argamassa é, de acordo com seu uso e formas de aplicação, estudar e estabelecer o traço ou proporções (quantitativos) de materiais componentes da mistura, de forma que essas proporções podem ser indicadas em massa ou volume. Ainda segundo o autor, um estudo de dosagem de argamassa eficiente é aquele que visa diminuir os erros gerado de um traço inadequado e produz uma argamassa com maior durabilidade e qualidade.

## 4. METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido no CTEA (Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura), localizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Tiradentes – UNIT, Campus Farolândia, no município de Aracaju, SE.

### 4.1. Caracterização do agregado miúdo

Para caracterização do agregado, foram feitos os ensaios de granulometria e massa específica, conforme as normas ABNT NBR NM 248/2003 e ABNT NBR NM 52/2009, respectivamente.

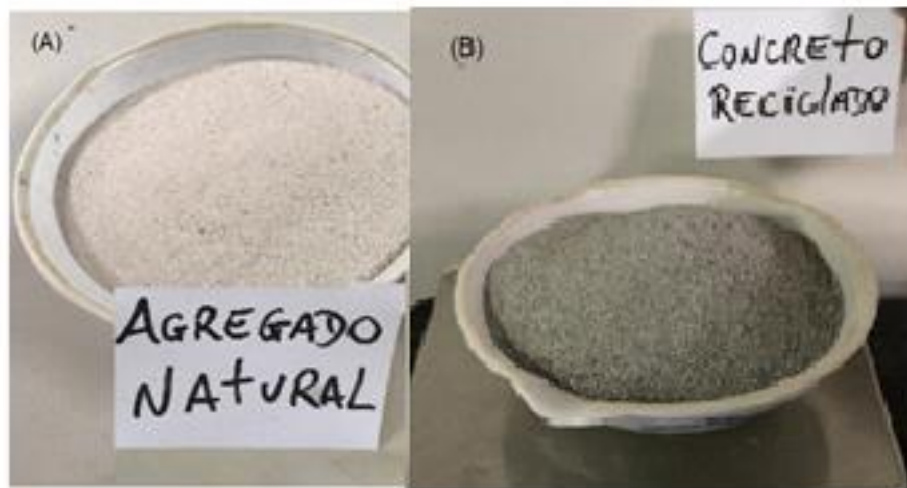
#### 4.1.1. Granulometria

Para execução do ensaio granulométrico foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a. Balança com capacidade para 3.300g e resolução de 0,01g;
- b. Estufa de modelo TE-394/3 capaz de manter temperatura de  $(105 \pm 5)$  °C;
- c. Conjunto de peneiras da série normal com tampa e fundo;
- d. Escovas de nylon;
- e. Fundo de peneira avulso;
- f. Cápsula de porcelana.

Contudo, para a realização do ensaio foram utilizadas duas amostras do agregado natural (Figura 3-A) e duas amostras do agregado reciclado (Figura 3-B), sendo elas consideradas como areia fina segundo a NBR 7211/2009.





**Figura 3:** (A) Agregado Natural; (B) Agregado reciclado.

A primeira amostra do agregado natural foi fornecida pela empresa Hunimassa, uma empresa fabricante de argamassa colante localizada em Aracaju/SE, a segunda amostra, referente ao agregado reciclado foi fabricada no CTEA, através do processo de moagem mecânica do concreto reciclado por meio de um britador de mandíbulas (Figura 4), que consistiu em reduzir o tamanho das partículas do concreto por meio do atrito.



**Figura 4:** Britador de mandíbulas.

Utilizou-se duas amostras de cada material, atentando-se que para cada dimensão máxima do agregado, tem-se uma massa mínima a ser utilizada, conforme especificado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Massa mínima de agregado para ensaio.

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

(\*) Após secagem.

**Fonte:** Adaptado da NBR NM 248/2003.

O material coletado foi previamente seco em estufa (Figura 5) a temperatura constante de  $105 \pm 5$  °C por um período de 24h.



**Figura 5:** Estufa de modelo TE-394/3.

Posteriormente colocou-se a amostra pesada no conjunto de peneira de série normal conforme Figura 6, a qual inicia-se com a maior abertura de malha na parte superior e diminui gradativamente até o fundo de peneiras. O processo de peneiramento foi executado manualmente por um período de aproximadamente 5 min por peneira ou até que a massa do material passante seja inferior a 1% da massa do material retido. Vale ressaltar que, a agitação das peneiras foi feita em movimentos laterais e circulares tanto no plano horizontal como no inclinado.



**Figura 6:** Conjunto de peneira da série normal.

Após o peneiramento, determinou-se a massa retida em cada peneira com o auxílio da balança, retirando-se o material de cada peneira e a transferindo-o com a auxílio de uma escova de nylon para uma cápsula de porcelana e registrando assim o valor da massa retida em gramas. Com as quantidades da massa retida em cada peneira foi possível obter a determinação das porcentagens simples (massa relativa da amostra pela massa total) e acumuladas (soma das porcentagens simples anteriores) de cada peneira. O procedimento foi executado duas vezes com cada amostra de agregado miúdo e, ao fim da análise e com os valores da composição granulométrica, foi possível montar a curva das médias dos materiais amostrados.

Através desse ensaio, foi possível determinar o módulo de finura dos agregados que corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100, conforme a Equação 1:

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ retido acumulado}}{100} \quad (\text{Equação 1})$$

#### 4.1.2. Massa específica

Para realização do ensaio de massa específica dos agregados miúdo natural e reciclado, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Balança com capacidade para 3.300g e resolução de 0,01g;
- Frasco aferido de 500 +/- 5 cm<sup>3</sup> de capacidade;
- Estufa capaz de manter temperatura no intervalo de (105 ± 5) °C;
- Banho maria para manter a temperatura constante;
- Espátula de aço;
- Dessecador;
- Cápsula de porcelana.

De início pesou-se aproximadamente 500 ± 0,1 g da amostra ( $m_s$ ), e colocou-se cuidadosamente no frasco (figura 7), registrando assim a massa inicial do conjunto ( $m_1$ ). Encheu-se o frasco com água até próximo a marca de 500 ml e o mesmo foi agitado em movimento de rotação, para eliminar as bolhas de ar presente.



**Figura 7:** Frasco aferido de 500cm<sup>3</sup>.

Em seguida, colocou-se o conjunto (frasco + agregado + água) em banho maria com temperatura constante de 29,9 °C por um período de aproximadamente 1h, conforme mostrado na Figura 8.



**Figura 8:** Banho maria.

Após esse tempo, retirou-se o conjunto do banho maria, completou-se com água até a marca de 500 ml expressa no frasco e registrou-se a massa do conjunto (frasco, agregado e água ( $m_2$ )) com precisão de 0,1 g. Foi retirado o agregado miúdo do frasco e colocou-se em uma cápsula de porcelana e levado para a estufa com temperatura constante de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$  por  $24\text{h} \pm 4\text{h}$ . Esfriou-se até temperatura ambiente no dessecador e registrou-se a massa do material ( $m$ ), posteriormente a determinação da massa específica foi realizada através da Equação 2 (ABNT, 2009).

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$d_3$  – é a massa específica do agregado, em gramas por centímetro cúbicos;

$m$  – é a massa da amostra seca em estufa determinada em gramas;

$V$  – é o volume do frasco em centímetros cúbicos;

$V_a$  – é o volume de água adicionado ao frasco em centímetros cúbicos;  
 $m_s$  – é a massa da amostra na condição saturada superfície seca em gramas;  
 $\rho_a$  – é a massa específica da água em gramas por centímetros cúbicos.

Para o cálculo do volume de água adicionado ao conjunto foi utilizada a Equação 3 (ABNT, 2009).

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

$V_a$  – é o volume de água adicionado ao frasco em centímetros cúbicos;  
 $m_1$  – é a massa do conjunto (frasco + agregados) determinada em gramas;  
 $m_2$  – é a massa total (frasco + agregados + água) determinada em gramas;  
 $\rho_a$  – é a massa específica da água em gramas por centímetros cúbicos.

O experimento foi realizado com duas amostras de cada agregado, sendo que os resultados não devem diferir em mais de 0,02 g/cm<sup>3</sup> conforme NBR NM 52/2009. Tomou-se como valor da massa específica a média dos valores correspondentes obtidos e registrou-se com aproximação de 0,01 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, foi levado em consideração duas casas decimais.

#### 4.2. Dosagem e fabricação da argamassa colante

Para a dosagem utilizou-se três diferentes traços experimentais (cimento : agregados), de modo que, para o traço padrão foi utilizado os quantitativos de cimento, cal, agregado e aditivos conforme disponibilizado pelo fabricante de argamassa colante Hunimassas, nas proporções de 74,86% de agregado miúdo natural, 16,67% de cimento Portland, 6,67% de cal e 1,80% de aditivo com composto de celulose da marca Tylose conforme ilustrado na Figura 9.

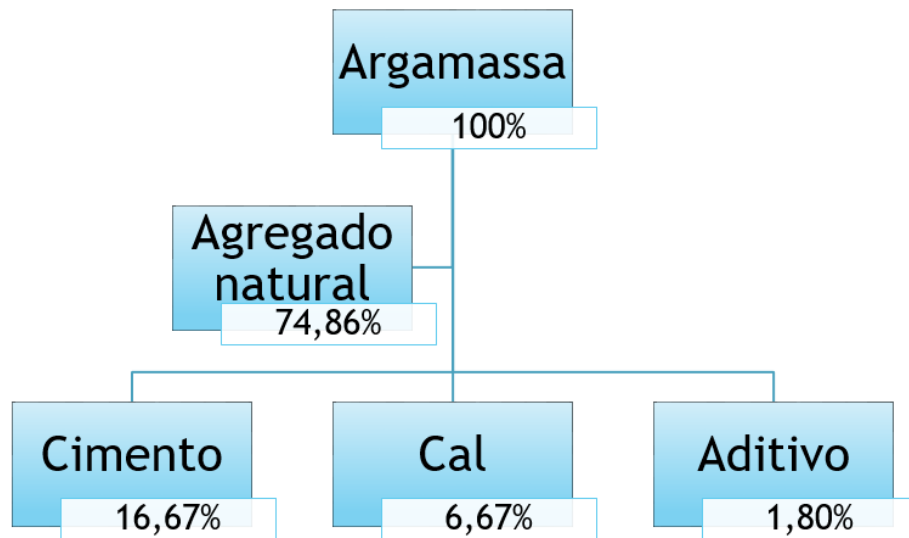


Figura 9: Dosagem da argamassa convencional.

Para as demais dosagens, seguiu-se com as mesmas proporções, porém com substituições de 25% e 50% do agregado natural pelo agregado miúdo reciclado conforme Figura 10.

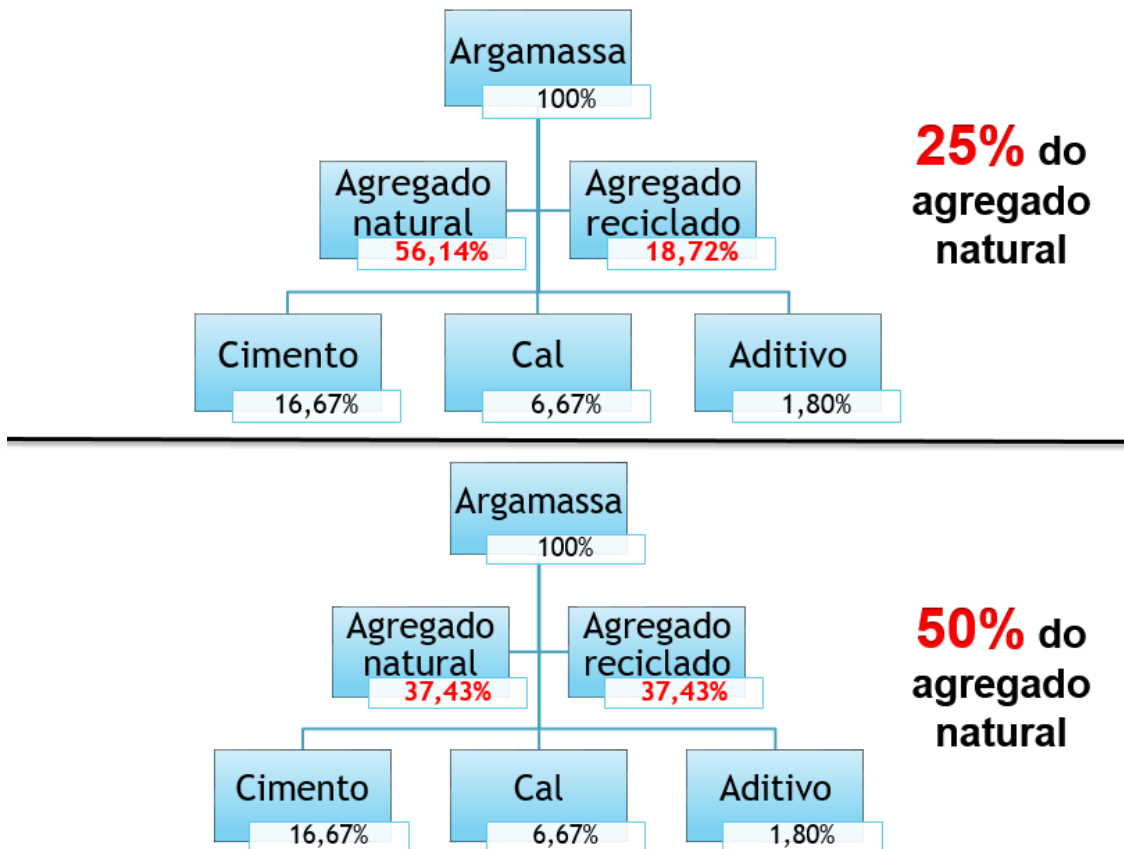


Figura 10: Dosagem da argamassa com agregado reciclado.



Para o preparo da argamassa colante, seguiu-se a norma ABNT NBR 14081-2/2015 e para a execução da mistura foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a. Balança com precisão de 0,1g;
- b. Misturador mecânico;
- c. Espátula de aço;
- d. Cápsula de porcelana;
- e. Balde com tampa;
- f. Flanela.

Colocou-se o agregado miúdo juntamente com os aglomerantes e aditivo em um balde com tampa e agitou-se energicamente por aproximadamente 3 min para tornar a mistura dos componentes homogênea, aguardou-se 2 min após a agitação para a preparação da argamassa. Pesou-se a argamassa colante e a água de amassamento, colocou-se a água no recipiente de mistura e foi adicionado a argamassa sobre o líquido. Acionou-se o misturador (Figura 9) em velocidade lenta por 30 s, e ao desligar, raspou-se as laterais do recipiente e a pá de mistura, posteriormente misturou-se por mais 60 s em velocidade lenta.



**Figura 11:** Misturador mecânico.

Deixou-se o material em maturação, coberto com um pano úmido durante um intervalo de 15 min, e em seguida, ligou-se o misturador em velocidade lenta por mais 15 s. Ao final do processo, aguardou-se 5 minutos para aplicação da argamassa no substrato-padrão para realização dos ensaios.

#### 4.3. Ensaio realizados

Para que pudesse ser feito os ensaios de arrancamento e deslizamento foi necessário a construção de onze substratos-padrão de concreto como representado na Figura 10, que serviu como base para assentamento das placas cerâmicas, sendo que nove deles serviu para ensaios de arrancamento e dois para ensaios de deslizamento.



**Figura 12:** Substrato-padrão.

Logo, para a execução do mesmo seguiu-se a norma ABNT NBR 14081-2/2015 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas, Parte 2 - Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios, Anexo B, e para isso foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a. Balança com precisão de 0,1g;
- b. Betoneira Menegotti de 120L;
- c. Fôrmas confeccionada em madeira rígida e não absorvente nas dimensões de 40mm x 250mm x 500mm;
- d. Concha metálica;
- e. Colher de pedreiro de 7”;
- f. Espátula de aço;
- g. Régua metálica de aço;
- h. Recipiente para pesagem dos materiais.

Sendo assim, foi feita a execução das fôrmas nas dimensões de 40mm x 250mm x 500mm com compensado naval e foram montadas e fixadas com parafuso para facilitar a desforma.



**Figura 13:** Fôrma para execução do substrato-padrão.

Para o concreto utilizado nos substratos, foi definido o traço 1 : 2,6 : 1,3 : 0,5 referente a uma parte de cimento CP-V ARI, 2,6 partes de areia média, 1,3 partes

de brita 0 e com um fator de água cimento de 0,5 para um consumo de 400kg de cimento por m<sup>3</sup> de concreto, retirado da NBR 14081-2/2015. Primeiramente foi definido o volume de 0,06325m<sup>3</sup> de concreto utilizado para então calcular o quantitativo de cada material da mistura. Pesou-se 25,3 kg de cimento, 65,78 kg de areia, 32,89 kg de brita e 12,65 kg de água. Colocou-se primeiramente a brita na betoneira com a água e deixou misturando por 30 segundos, posteriormente foi adicionado o cimento e deixou rodando por 1 min, após esse período, com a betoneira em movimento foi adicionado a areia e deixou-se misturando por 5 min, até o concreto ficar bem homogêneo conforme ilustrado na Figura 12.



**Figura 14:** Concreto homogêneo utilizado no substrato-padrão.

Para a aplicação do concreto na fôrma utilizou-se o auxílio de uma concha, de modo que o concreto foi lançado na fôrma previamente untada com desmoldante do tipo Desmol da vedacit, espalhando até o total preenchimento, com a haste de compactação aplicou-se cinquenta golpes no concreto para que houvesse um melhor adensamento. Para finalizar, regularizou-se a superfície com uma régua metálica e o acabamento final foi feito com uma desempenadeira de madeira após 45 min do lançamento do concreto na fôrma, aplicando-se movimentos circulares e finalizando com movimentos longitudinais da fôrma, deixando com acabamento apto a receber a argamassa colante conforme ilustrado na Figura 13.



**Figura 15:** Substrato-padrão após moldagem.

Após 24h de moldado houve a desforma e o substrato-padrão foi submetido ao processo de cura por 28 dias, sendo o primeiro dia no molde, seis dias em cura úmida (ver Figura 14) e 21 dias ao abrigo das intempéries, conforme a NBR 14081-2/15.



**Figura 16:** Processo de cura do substrato-padrão.

Para a aplicação da argamassa colante no substrato-padrão, seguiu-se a norma ABNT NBR 14081-2/2015 e foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a. Argamassa preparada conforme NBR 14081-2/2015;
- b. Desempenadeira metálica dentada;
- c. Espátula;
- d. Cápsula de porcelana;
- e. Cronômetro;
- f. Paquímetro.

Foi colocado uma porção de argamassa sobre a face do substrato e estendeu-se com o lado liso da desempenadeira com movimentos de vaivém, conforme ilustrada na Figura 15, pressionando firmemente sobre a superfície, retirou-se e foi descartado o excesso de argamassa retido na desempenadeira.



**Figura 17:** Aplicação da argamassa no substrato-padrão.

Após a regularização da superfície do substrato com uma camada fina de argamassa, foi colocada uma nova porção de argamassa no substrato e estendeu-se com o lado liso da desempenadeira de modo a formar uma camada uniforme e mais espessa, com espessura suficiente para a conformação dos cordões. Com o lado dentado da desempenadeira, apoiou-se firmemente sobre o substrato e em um único movimento formou-se cordões com altura de 5 mm no sentido longitudinal do substrato, mostrado na Figura 16.



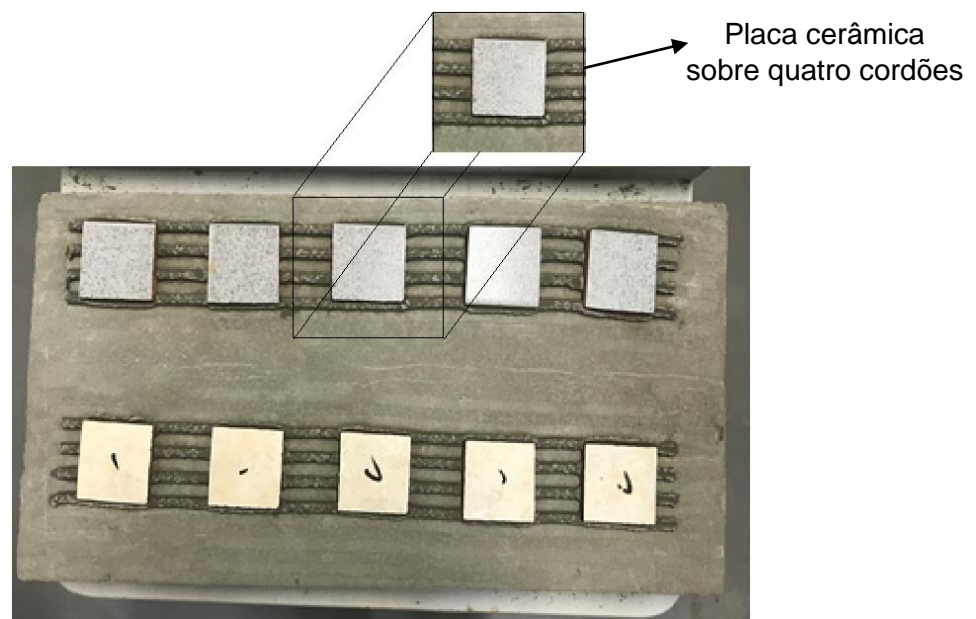
**Figura 18:** Formação dos cordões de argamassa.

Após a formação dos cordões de argamassa no substrato, verificou-se com auxílio de um paquímetro analógico a altura dos cordões em três pontos aleatórios, sendo eles no primeiro terço, segundo terço e terceiro terço do substrato conforme Figura 17.



**Figura 19:** Verificação da altura dos cordões com auxílio do paquímetro.

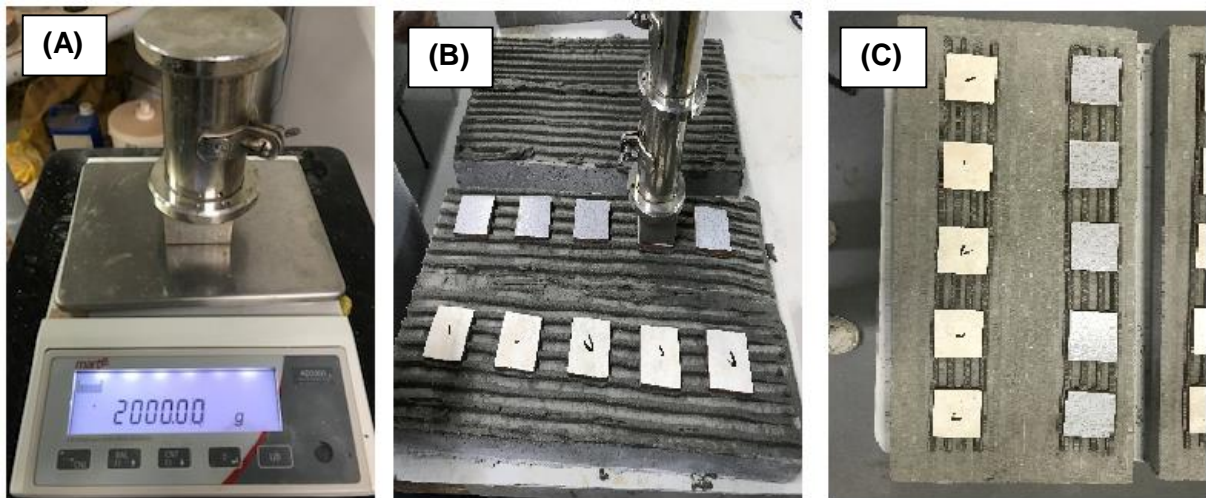
Ao final da verificação acionou-se o cronômetro e, após transcorridos 5 minutos posicionou-se dez placas cerâmicas sobre quatro cordões da argamassa colante estendida (Figura 18).



**Figura 20:** Aplicação da placa cerâmica no substrato.



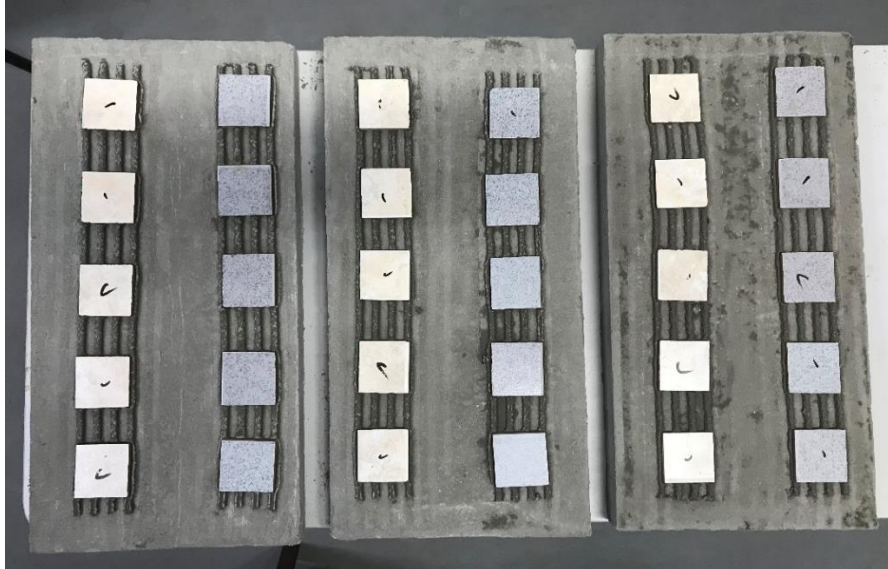
Foi carregado cada placa cerâmica manualmente com uma massa padrão de 2 kg como mostra a Figura 19(A) e Figura 19(B) por 30 s atentando-se para a ordem de colocação e retirada das massas-padrão, no qual, deve ser a mesma sequência de colocação da placa cerâmica no substrato. Retirou-se as massas padrão e foi deixado aproximadamente 1 cm de cordão ao redor da placa cerâmica e retirou-se os cordões excedentes conforme ilustrado na Figura 19(C).



**Figura 21:** (A) Massa padrão; (B) Carregamento da placa cerâmica; (C) retirada dos cordões excedentes.

O processo de cura da argamassa colante procedeu-se por três maneiras distintas, sendo a primeira em cura com condições ambientais, a segunda cura com imersão em água e a terceira cura com aquecimento em estufa.

Para a cura em condições ambientais colocou-se três conjuntos (substrato-padrão + placa cerâmica fixada com argamassa colante) por 28 dias em ambiente fechado (Figura 20) com temperatura controlada de 24°C com pouca circulação de pessoas.



**Figura 22:** Cura da argamassa em condições ambientais.

Para cura com imersão em água, o conjunto foi submetido durante sete dias às mesmas condições ambientais do processo de cura normal, em seguida, o conjunto foi imergido em água onde o mesmo permaneceu durante 20 dias conforme ilustra a Figura 21.



**Figura 23:** Cura da argamassa com imersão em água.

Já para cura com aquecimento em estufa (Figura 22), o conjunto foi submetido durante quatorze dias às mesmas condições ambientais do processo de

cura normal, em seguida o conjunto foi colocado em uma estufa com temperatura constante de 70°C. Decorridos os 14 dias, retirou-se o conjunto da estufa e foi resfriado a temperatura ambiente.



**Figura 24:** Cura com aquecimento em estufa.

#### 4.3.1. Determinação da resistência de aderência à tração

Para a determinação da resistência à tração, seguiu-se a norma ABNT NBR 14081-4/2012, e foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a. Argamassa preparada conforme NBR 14081-2/2015;
- b. Substratos-padrão conforme a ABNT NBR 14081-2;
- c. Placas cerâmicas de 50x50 mm;
- d. Adesivo acrílico de base epóxi;
- e. Aparelho para arrancamento hidráulico manual, para argamassas, capacidade 1500 kgf;
- f. Peças metálicas não deformáveis sob carga de ensaio, seção quadrada de aproximadamente 50mm de aresta e 10mm de espessura;
- g. Massas-padrão de material sólido e rígido com 2kg;

- h. Tanque para imersão do substrato-padrão;
- i. Estufa com capacidade de manter a temperatura constante de 70 °C;
- j. Cronômetro.

Executou-se o ensaio de arrancamento por tração manual com o aparelho de arrancamento, aplicando a carga a uma velocidade constante de 250 +/- 50 N/s até sua ruptura conforme Figura 23.



**Figura 25:** Ensaio de arrancamento.

Registrou-se a carga máxima aplicada em cada placa cerâmica e descreveu-se o tipo de ruptura, conforme descrito a seguir.

- a. Ruptura do substrato (S);
- b. Ruptura na interface argamassa e substrato (S/A);
- c. Ruptura da camada de argamassa colante (A);
- d. Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (A/P);
- e. Ruptura da placa cerâmica (P);
- f. Falha na colagem da peça metálica (F).

O cálculo da tensão de ruptura ( $f_t$ ) de cada placa cerâmica foi calculado mediante a Equação 4:

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$f_t$  – É a tensão de ruptura, arredondada à segunda decimal, expressa em megapascals (Mpa);

T – É a força de ruptura, expressa em newtons (N);

A – É a área da placa cerâmica, considerada igual a 2500 mm<sup>2</sup>, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

Foi calculado a tensão média de ruptura por tração das placas correspondentes a cada série assentada, sem arredondamento, desconsiderando os resultados obtidos com rupturas dos tipos S, P e F, pois os mesmos representam ruptura do substrato, ruptura da placa cerâmica e falha na colagem da peça metálica respectivamente, onde são valores irrelevantes para o cálculo de tensão.

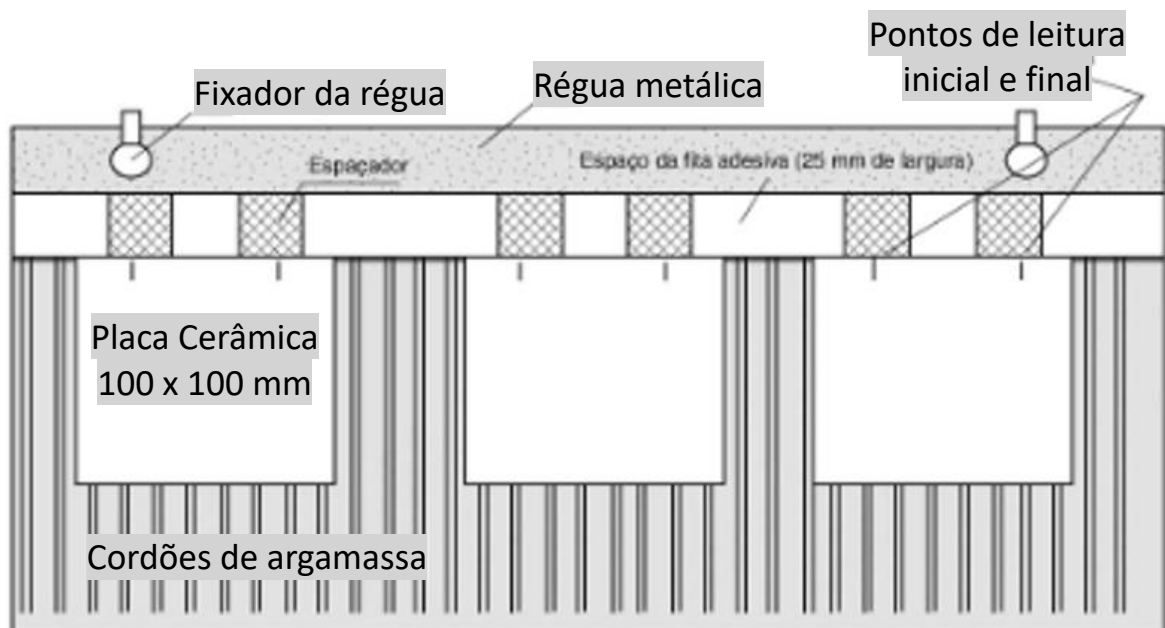
#### 4.3.2. Deslizamento

Para a determinação do deslizamento, seguiu-se a norma ABNT NBR 14081-5/2012, e foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a. Argamassa colante preparada conforme NBR 14081-2/2015;
- b. Substratos-padrão conforme a ABNT NBR 14081-2;
- c. Placas cerâmicas de 100x100 mm;
- d. Régua metálica rígida com cerca de 500 mm de comprimento;
- e. Fita adesiva de aproximadamente 25 mm de espessura;
- f. Massa padrão de material sólido de 5kg com base de seção formato quadrado de 100 mm de lado;
- g. Seis espaçadores de material rígido com formato de pastilha quadrada de 25mm e espessura de 10mm;
- h. Paquímetro;

- i. Dispositivo de fixação para pender firmemente a régua metálica ao substrato-padrão;
- j. Desempenadeira metálica dentada;
- k. Cronômetro.

Fixou-se com o dispositivo de fixação a régua metálica contra a borda longitudinal do substrato-padrão e em seguida colou-se a fita adesiva no substrato-padrão de modo que sua aresta ficou rente a régua, na posição horizontal foi feito a imprimação do substrato-padrão com a argamassa colante na direção transversal. Retirou-se o excesso de argamassa retido na desempenadeira. Prosseguiu-se com a formação dos cordões conforme os procedimentos indicados na ABNT NBR 14081-2/2012, atentando-se para que os cordões ficassem perpendiculares à régua metálica conforme ilustrado na Figura 25.



**Figura 26:** Placas cerâmicas aplicada para ensaio de deslizamento.

Retirou-se a fita adesiva e imediatamente foi colocado dois espaçadores para cada placa cerâmica encostados contra a régua metálica.

Após 2 min da aplicação da argamassa, colocou-se três placas cerâmicas centralizadas nos cordões da argamassa e posicionou-se cuidadosamente as massas-padrão sobre as placas cerâmicas por um período de 30 s atentando-se para

a ordem da colocação das massas-padrão sobre as placas cerâmicas que devem ser iguais à ordem de colocação das placas cerâmicas.

Retirou-se cuidadosamente os espaçadores e foi feita duas leituras inicial em cada placa cerâmicas com um auxílio do paquímetro a distância entre a borda da placa cerâmica e a régua metálica. Em seguida, moveu-se suavemente o substrato-padrão, deixando-o na posição vertical, com a régua e as placas cerâmicas assentadas na parte superior. Aguardou-se 20 min com o substrato na vertical e então retornou-se o substrato a posição horizontal e novamente foi medido a distância da placa cerâmica para a régua.

Calculou-se o deslizamento (L) de posição das três placas cerâmicas como a média das diferenças entre as leituras finais e iniciais, mediante a Equação 5:

$$L = \frac{\sum(L_f - L_i)}{6} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$L_f$  – é a leitura da posição final de cada ponto de leitura de cada placa cerâmica, expressa em milímetros (mm);

$L_i$  – é a leitura da posição inicial de cada ponto de leitura de cada placa cerâmica, expressa em milímetros (mm).

Os resultados foram expressos em milímetros e se a diferença entre os valores individuais for superior a 2mm, repetir o ensaio completo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Granulometria

Utilizando-se duas amostras do agregado natural e duas amostras do agregado reciclado de massa igual a 400g cada, seco em estufa, foi feito o peneiramento e obtiveram-se as massas retidas em cada peneira e, de posse desses valores, pôde-se calcular os percentuais médios de massa retida e massa retida acumulada. A Tabela 5 apresenta o resultado da granulometria do agregado natural utilizado.

**Tabela 5:** Granulometria do agregado natural.

<b>GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO NATURAL - NBR NM 248:2003</b>							
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) = 400,0		b) massa inicial seca (gr) = 400,0		(Vr) Massa retida Variações $\pm 4\%$	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b			
	4,75	0	0	0			
2,36	0	0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%
1,18	2,75	2,58	0,69%	0,65%	0,0%	0,7%	0,7%
0,6	20,25	20,87	5,07%	5,22%	0,2%	5,1%	5,8%
0,3	120,72	119,98	30,20%	30,01%	0,2%	30,1%	35,9%
0,15	153,12	147,39	38,30%	36,87%	1,4%	37,6%	73,5%
Fundo	102,95	108,99	25,75%	27,26%	1,5%	26,5%	100,0%
<b>Mt) Total</b>	399,79	399,81	<b>Módulo de Finura</b>			<b>1,16</b>	

Já a Tabela 6 representa a granulometria do agregado reciclado de acordo com a NBR NM 248/2003.



**Tabela 6:** Granulometria do agregado reciclado.

<b>GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO RECICLADO - NBR NM 248:2003</b>							
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) = 400,0		b) massa inicial seca (gr) = 400,0		(Vr) Massa retida Variações ± 4 %	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b			
	4,75	0	0	0			
2,36	0	0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%
1,18	1,95	2,06	0,49%	0,52%	0,0%	0,5%	0,5%
0,6	49,87	51,67	12,47%	12,92%	0,4%	12,7%	13,2%
0,3	114,36	109,33	28,61%	27,35%	1,3%	28,0%	41,2%
0,15	118,99	120,76	29,76%	30,20%	0,4%	30,0%	71,2%
Fundo	114,66	116,04	28,68%	29,02%	0,3%	28,9%	100,0%
<b>Mt) Total</b>	399,83	399,86	<b>Módulo de Finura</b>				<b>1,26</b>

Determinou-se a massa total de material retido em cada peneira e no fundo do conjunto, o somatório de todas as massas não deve diferir mais que 0,3% da massa inicial conforme NBR NM 248/2003. Para isso foi feito o cálculo de verificação e observado se atende ao limite determinado pela referida norma, e obteve-se os seguintes resultados:

$$400 - 399,79 = 0,21\text{g}$$

$$\frac{0,21}{1000} = 0,00021 * 100\% = 0,021\% \text{ (Atende ao limite da norma)}$$

A Tabela 7 mostra os resultados das verificações para as amostras do agregado natural e agregado reciclado.

**Tabela 7:** Verificação da diferença da massa inicial para o somatório das massas retidas.

Tipo do agregado	Agregado natural		Agregado reciclado	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2
<b>Amostra ensaiada</b>				
<b>Massa inicial (g)</b>	400	400	400	400
<b>Massa total retido (g)</b>	399,79	399,81	399,83	399,86
<b>Diferença (%)</b>	0,021	0,019	0,017	0,014
<b>Verificação</b>	Atende ao limite da norma	Atende ao limite da norma	Atende ao limite da norma	Atende ao limite da norma

Devido ao procedimento granulométrico, se consegue calcular o módulo de finura do agregado miúdo, o qual é uma grandeza adimensional que pode ser obtido por meio do somatório do percentual retido acumulado em todas as peneiras da série normal e dividido por cem, onde, para o agregado natural foi de 1,16 e para o agregado reciclado 1,26.

Para argamassas colantes não há parâmetros para o módulo de finura, no entanto, quanto maior seu valor, mais grossos são os grãos dos agregados, resultando assim em uma maior trabalhabilidade. E segundo Bauer (2000), quanto ao valor do módulo de finura é possível classificar o agregado conforme descrito na Tabela 8.

**Tabela 8:** Classificação da areia quanto ao módulo de finura.

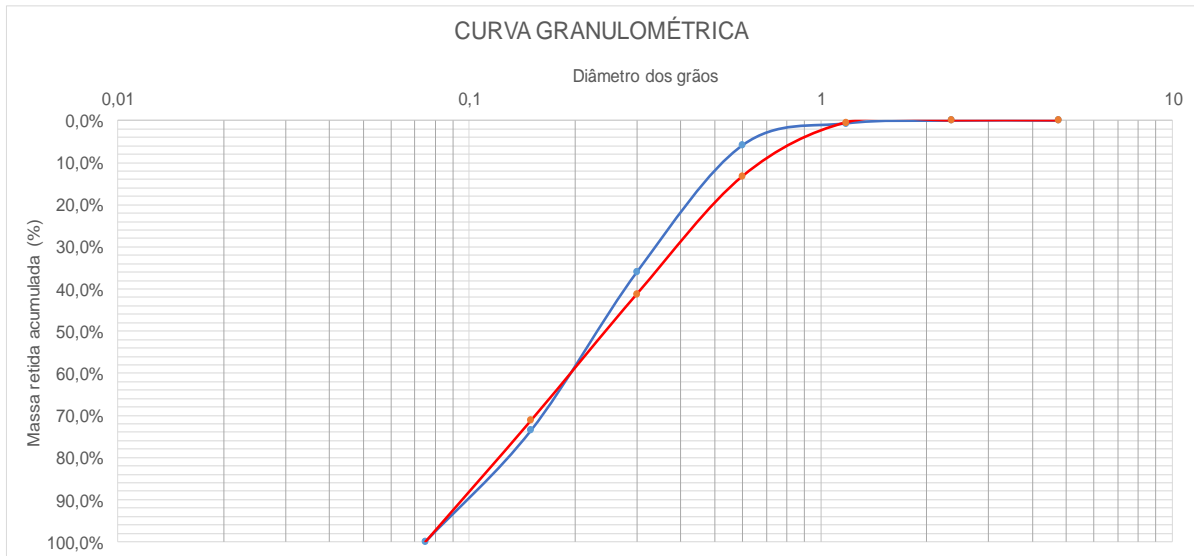
<b>Classificação</b>	<b>Módulo de finura</b>
<b>Grossa</b>	De 2,71 a 4,02
<b>Média</b>	De 2,11 a 3,38
<b>Fina</b>	De 1,71 a 2,85
<b>Muito fina</b>	De 1,15 a 2,25

Fonte: Bauer (2000).

Desta forma, observa-se que tanto o agregado natural como o agregado reciclado, são classificados como agregado muito fino, pois apresenta módulo de finura entre o intervalo de 1,15 a 2,25.

A curva granulométrica formada pelo ensaio é uma linha que liga os pontos que representam o resultado da análise granulométrica, ou seja, nas abscissas temos os diâmetros dos grãos e nas ordenadas a porcentagem de massa retida acumulada. Estas curvas são de importância para analisar de forma sucinta a granulometria do agregado.

A Figura 24 representa a curva granulométrica das amostras ensaiadas, sendo a linha azul representando o agregado natural e a linha vermelha representando o agregado reciclado.



**Figura 27:** Curva granulométrica do agregado natural e agregado reciclado.

Como se pode observar graficamente, ficou evidente de que os agregados reciclados apresentam comportamento semelhante aos agregados naturais, onde apresentam uma granulometria bem graduada, sendo assim, mantiveram-se as mesmas características granulométricas sem influenciar diretamente nas características da argamassa.

## 5.2. Massa específica

De posse dos valores obtidos no ensaio, foi possível calcular a massa específica conforme mostrado abaixo:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}}$$

$$d_3 = \frac{499,66}{(500 - 308,21) - \frac{500,03 - 499,66}{1}}$$

$$d_3 = 2,610 \text{ g/cm}^3$$

Os cálculos repetiram-se para todos os ensaios realizados e os resultados da determinação da massa específica do agregado natural encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9: Massa específica do agregado natural.

<b>Massa Específica - NBR NM 52:2009</b>		
<b>Agregado Natural</b>	<b>Ensaio 1</b>	<b>Ensaio 2</b>
(ms) Massa inicial (g)	500,03	500,05
(m1) Massa do agregado + frasco (g)	805,86	816,61
(m2) Massa do agregado + frasco + água (g)	1114,07	1123,8
(m) Massa após estufa (g)	499,66	499,48
(V) Volume do cilindro (cm <sup>3</sup> )	500	500
(Va) Volume de água (cm <sup>3</sup> )	308,21	307,19
(d3) Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,610	2,598
Média da Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,604	

Já a Tabela 10 mostra os resultados da massa específica do agregado reciclado.

Tabela 10: Massa específica do agregado reciclado.

<b>Massa Específica - NBR NM 52:2009</b>		
<b>Agregado Reciclado</b>	<b>Ensaio 1</b>	<b>Ensaio 2</b>
(ms) Massa inicial (g)	500,09	500,11
(m1) Massa do agregado + frasco (g)	817,01	817,25
(m2) Massa do agregado + frasco + água (g)	1116,88	1116,53
(m) Massa após estufa (g)	483,44	484,23
(V) Volume do cilindro (cm <sup>3</sup> )	500	500
(Va) Volume de água (cm <sup>3</sup> )	299,87	299,28
(d3) Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,635	2,620
Média da Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,627	

Como se pôde observar, a massa específica do agregado reciclado equivalente a 2,604 g/cm<sup>3</sup> ficou bem próxima a massa específica do agregado natural que foi de 2,627 g/cm<sup>3</sup>. Desta forma pode-se afirmar que os agregados têm características parecidas quando comparados suas massas específicas, logo utilizando a característica da massa específica, a substituição do agregado natural pelo reciclado estaria apta a sua utilização.

### 5.3. Ensaio de arrancamento

Foi realizado o ensaio de arrancamento por tração com auxílio do equipamento de arranque conforme ilustrado na Figura 25.



**Figura 28:** Ensaio de arranque.

Os valores obtidos no ensaio foram expressos em Newtons (N) e através deles foi possível calcular a tensão de ruptura conforme mostrado abaixo:

$$f_t = \frac{T}{A}$$

$$f_t = \frac{100}{2500}$$

$$f_t = 0,04 \text{ MPa}$$

Os cálculos repetiram-se para todos os ensaios realizados e os resultados da determinação de resistência ao arranque encontra-se mostrado nas Tabela 11 até Tabela 19.

Segundo a NBR 14081-4/2012, para médias iguais e superiores a 0,30 Mpa, descartar todos os resultados que se distanciarem mais de 20% da média e para média inferior a 0,30 Mpa, descartar os resultados que se distanciarem da média mais que 0,06 Mpa, com isso, foi feita a verificação da média.

Para o agregado natural com cura em condições ambientais foram realizados dez ensaios de arrancamento, onde, o valor médio de resistência foi de 0,18 Mpa, sendo que três dos valores de resistência foram descartados, pois, ficaram acima do limite estabelecido pela NBR. Ainda conforme a norma, foi demonstrado o tipo de ruptura da argamassa, no qual prevaleceu a ruptura do tipo S/A (Interface do substrato com a argamassa), conforme ilustrado na Tabela 11.

**Tabela 11:** Resistência para agregado natural com cura em condições ambientais.

<b>Cura condições ambientais - Agregado natural</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	370	2500	0,15	A	< 0,06 Mpa
2	350	2500	0,14	S/A	< 0,06 Mpa
3	740	2500	0,30	S/A	> 0,06 Mpa
4	580	2500	0,23	S/A	< 0,06 Mpa
5	560	2500	0,22	S/A	< 0,06 Mpa
6	440	2500	0,18	A	< 0,06 Mpa
7	420	2500	0,17	S/A	< 0,06 Mpa
8	260	2500	0,10	A	> 0,06 Mpa
9	440	2500	0,18	A	< 0,06 Mpa
10	270	2500	0,11	A/S	> 0,06 Mpa
<b>MÉDIA</b>			<b>0,18</b>		

A Tabela 12 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado reciclado com substituição de 25% do agregado natural com cura em condições ambientais. O valor médio de resistência foi de 0,10 Mpa, sendo um dos valores descartados por ter ficado fora dos limites da norma, vale ressaltar que o tipo de ruptura predominante foi dos tipos S/A e do tipo A/P.

**Tabela 12:** Resistência para 25% do agregado reciclado com cura em condições ambientais.

<b>Cura condições ambientais - 25% do ag. reciclado</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	360	2500	0,14	A/P	< 0,06 Mpa
2	430	2500	0,17	S/A	> 0,06 Mpa
3	110	2500	0,04	A/P	< 0,06 Mpa
4	220	2500	0,09	S/A	< 0,06 Mpa
5	230	2500	0,09	A/P	< 0,06 Mpa
6	360	2500	0,14	S/A	< 0,06 Mpa
7	150	2500	0,06	S/A	< 0,06 Mpa
8	350	2500	0,14	A/P	< 0,06 Mpa
9	190	2500	0,08	A/P	< 0,06 Mpa
10	210	2500	0,08	S/A	< 0,06 Mpa
<b>MÉDIA</b>			<b>0,10</b>		

Já a Tabela 13 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado reciclado com substituição de 50% do agregado natural com cura em condições ambientais. O valor médio de resistência foi de 0,33 Mpa, obtendo o tipo de ruptura predominante do tipo A/P.

**Tabela 13:** Resistência para 50% do agregado reciclado com cura em condições ambientais.

<b>Cura condições ambientais - 50% do ag. reciclado</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	960	2500	0,38	A/P	>20%
2	430	2500	0,17	A/P	>20%
3	770	2500	0,31	A	>20%
4	960	2500	0,38	A/P	>20%
5	1240	2500	0,50	A	>20%
6	520	2500	0,21	A/P	>20%
7	930	2500	0,37	A/P	>20%
8	770	2500	0,31	A/P	>20%
9	970	2500	0,39	A/P	>20%
10	610	2500	0,24	A/P	>20%
<b>MÉDIA</b>			<b>0,33</b>		

Para cura úmida, a Tabela 14 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado natural, onde o valor médio de resistência foi de 0,36 Mpa, sendo um dos valores descartados por estar fora dos limites da norma. O tipo de ruptura predominante foi do tipo A.

**Tabela 14:** Resistência para agregado natural com cura úmida.

<b>Cura úmida - Agregado natural</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
<b>1</b>	100	2500	0,04	A	<20%
<b>2</b>	1460	2500	0,58	A	>20%
<b>3</b>	920	2500	0,37	A	>20%
<b>4</b>	1210	2500	0,48	A	>20%
<b>5</b>	910	2500	0,36	A	>20%
<b>6</b>	710	2500	0,28	A	>20%
<b>7</b>	750	2500	0,30	A	>20%
<b>8</b>	540	2500	0,22	A	>20%
<b>9</b>	960	2500	0,38	A	>20%
<b>10</b>	550	2500	0,22	A	>20%
<b>MÉDIA</b>			<b>0,36</b>		

Já a Tabela 15 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado reciclado com substituição de 25% do agregado natural com cura úmida. O valor médio de resistência foi de 0,33 Mpa. O tipo de ruptura predominante foi do tipo A.



**Tabela 15:** Resistência para 25% do agregado reciclado com cura úmida.

<b>Cura úmida - 25% do agregado reciclado</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	560	2500	0,22	S/A	>20%
2	640	2500	0,26	A	>20%
3	740	2500	0,30	A	>20%
4	540	2500	0,22	S/A	>20%
5	1300	2500	0,52	A	>20%
6	660	2500	0,26	S/A	>20%
7	960	2500	0,38	A	>20%
8	1000	2500	0,40	A	>20%
9	1130	2500	0,45	A	>20%
10	750	2500	0,30	A	>20%
<b>MÉDIA</b>			<b>0,33</b>		

Ainda para cura úmida, a Tabela 16 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado reciclado com substituição de 50% do agregado natural. O valor médio de resistência foi de 0,39 Mpa e o tipo de ruptura predominante foi do tipo A.

**Tabela 16:** Resistência para 50% do agregado reciclado com cura úmida.

<b>Cura úmida - 50% do agregado reciclado</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	1140	2500	0,46	A/P	>20%
2	820	2500	0,33	A/P	>20%
3	1150	2500	0,46	A	>20%
4	1000	2500	0,40	A	>20%
5	950	2500	0,38	A	>20%
6	870	2500	0,35	A	>20%
7	1100	2500	0,44	A	>20%
8	540	2500	0,22	A/P	>20%
9	1100	2500	0,44	A	>20%
10	1050	2500	0,42	A	>20%
<b>MÉDIA</b>			<b>0,39</b>		

Para cura em estufa, a Tabela 17 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado natural. O valor médio de resistência foi de 0,06 Mpa, sendo

que três dos valores foram descartados por estar fora dos limites da norma e o tipo de ruptura predominante foi do tipo A.

**Tabela 17:** Resistência para agregado natural com cura em estufa.

<b>Cura em estufa - Agregado natural</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	100	2500	0,04	F	-
2	120	2500	0,05	A	< 0,06 Mpa
3	50	2500	0,02	A	< 0,06 Mpa
4	120	2500	0,05	A	< 0,06 Mpa
5	100	2500	0,04	F	-
6	110	2500	0,04	A	< 0,06 Mpa
7	100	2500	0,04	S/A	< 0,06 Mpa
8	120	2500	0,05	S/A	< 0,06 Mpa
9	130	2500	0,05	S/A	< 0,06 Mpa
10	100	2500	0,04	F	-
<b>MÉDIA</b>			<b>0,06</b>		

Já a Tabela 18 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado reciclado com substituição de 25% do agregado natural com cura em estufa. O valor médio de resistência foi de 0,04 Mpa e o tipo de ruptura predominante foi do tipo S/A.

**Tabela 18:** Resistência para 25% do agregado reciclado com cura em estufa.

<b>Cura em estufa - 25% do ag. reciclado</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	90	2500	0,04	S/A	< 0,06 Mpa
2	130	2500	0,05	A	< 0,06 Mpa
3	90	2500	0,04	S/A	< 0,06 Mpa
4	80	2500	0,03	S/A	< 0,06 Mpa
5	160	2500	0,06	A	< 0,06 Mpa
6	80	2500	0,03	S/A	< 0,06 Mpa
7	180	2500	0,07	A	< 0,06 Mpa
8	60	2500	0,02	A	< 0,06 Mpa
9	70	2500	0,03	S/A	< 0,06 Mpa
10	130	2500	0,05	A	< 0,06 Mpa
<b>MÉDIA</b>			<b>0,04</b>		

Ainda se tratando de cura em estufa, a Tabela 19 mostra os valores de resistência ao arranque do agregado reciclado com substituição de 50% do agregado natural. O valor médio de resistência foi de 0,07 Mpa, sendo um dos valores descartados por estar fora dos limites da norma. Nessa situação, o tipo de ruptura predominante foi diversificado entre os tipos A, S/A e A/P.

**Tabela 19:** Resistência para 50% do agregado reciclado com cura em estufa.

<b>Cura em estufa - 50% do ag. reciclado</b>					
<b>Nº</b>	<b>Carga de ruptura (N)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>Tipo de ruptura</b>	<b>Verificação da média</b>
1	190	2500	0,08	A	< 0,06 Mpa
2	190	2500	0,08	A	< 0,06 Mpa
3	180	2500	0,07	S/A	< 0,06 Mpa
4	230	2500	0,09	A/P	< 0,06 Mpa
5	200	2500	0,08	A	< 0,06 Mpa
6	90	2500	0,04	F	< 0,06 Mpa
7	140	2500	0,06	A/P	< 0,06 Mpa
8	220	2500	0,09	A	< 0,06 Mpa
9	110	2500	0,04	A/P	< 0,06 Mpa
10	100	2500	0,04	F	-
<b>MÉDIA</b>			<b>0,07</b>		

Como se pode observar, a argamassa com substituição parcial de 50% do agregado natural por agregado reciclado houve um aumento na resistência ao arranque, já a argamassa com substituição de 25% do agregado natural, mostrou redução na resistência ao arrancamento, ambas quando comparadas as argamassas convencionais.

#### 5.4. Ensaio de deslizamento

Foi realizado o ensaio de deslizamento e os valores coletados nos ensaios foram expressos em milímetros (mm) e através destes foi possível calcular o valor do deslizamento para as argamassas conforme mostrado a seguir.

$$L = \frac{(1,22-0,01) + (1,21-0,00) + (1,24-0,00) + (1,23-0,01) + (1,29-0,02) + (1,29-0,03)}{6}$$

$$L = 1,24 \text{ mm}$$

Os cálculos repetiram-se para todos os ensaios realizados e os resultados da determinação de resistência ao arranque encontra-se mostrado a seguir.

A Tabela 20 mostra o resultado de deslizamento para o agregado natural.

**Tabela 20:** Resultado de deslizamento para agregado natural.

Argamassa convencional	Leitura Inicial (mm)		Leitura Final (mm)	
	Li1	Li2	Lf1	Lf2
<b>Placa 1</b>	0,01	0,00	1,22	1,21
<b>Placa 2</b>	0,00	0,01	1,24	1,23
<b>Placa 3</b>	0,02	0,03	1,29	1,29
<b>Média</b>	<b>1,24</b>			

Já a Tabela 21 mostra o resultado de deslizamento para o agregado reciclado com substituição de 25% em relação ao agregado natural.

**Tabela 21:** Resultado de deslizamento para agregado reciclado 25%.

Argamassa reciclada 25%	Leitura Inicial (mm)		Leitura Final (mm)	
	Li1	Li2	Lf1	Lf2
<b>Placa 1</b>	0,00	0,02	0,98	0,99
<b>Placa 2</b>	0,03	0,03	1,01	1,00
<b>Placa 3</b>	0,02	0,01	0,99	0,98
<b>Média</b>	<b>0,97</b>			

A Tabela 22 mostra o resultado de deslizamento para o agregado reciclado com substituição de 50%.

**Tabela 22:** Resultado de deslizamento para agregado reciclado 50%.

Argamassa reciclada 50%	Leitura Inicial (mm)		Leitura Final (mm)	
	Li1	Li2	Lf1	Lf2
<b>Placa 1</b>	0,01	0,00	0,93	0,93
<b>Placa 2</b>	0,01	0,02	0,94	0,93
<b>Placa 3</b>	0,00	0,01	0,92	0,91
<b>Média</b>	<b>0,92</b>			

Sendo assim, foi possível analisar que a argamassa convencional apresentou um maior deslizamento comparadas as argamassas com agregado reciclado. Desta forma pode-se presumir que os agregados reciclados têm uma maior absorção de água quando comparados aos agregados naturais, isso se explica pelo fato de que o agregado reciclado possui maior partículas de materiais finos em sua composição conforme resultado da granulometria.

Diante dos resultados analisados, observou-se que o método do ensaio de deslizamento se mostrou pouco preciso, exigindo uma atenção redobrada de modo a evitar apresentar grande variabilidade nos resultados.

## 6. CONCLUSÃO

Apesar do avanço nas pesquisas sobre o uso de agregados reciclados e o aumento no processo de reciclagem de resíduos no Brasil, o conhecimento da influência dos agregados reciclados na produção de argamassa colante é ainda iniciante. Sendo assim, este estudo buscou analisar melhor o comportamento da argamassa colante com o agregado reciclado.

As alterações do teor de agregado natural pelo agregado reciclado, proporcionou a análise da influência do agregado reciclado sobre as propriedades da argamassa colante no estado endurecido com o ensaio de resistência a tração por arrancamento e no estado fresco com o ensaio de deslizamento da placa cerâmica.

Por meio da análise dos resultados adquiridos no ensaio de arrancamento nos três tipos de curas diferentes, foi possível concluir que para substituições de 25% do agregado natural por agregado reciclado, houve uma diminuição na resistência nos três tipos de curas diferentes, sendo que contrariamente, o ensaio com substituição de 50% do agregado natural resultou em um aumento na resistência em torno de 83% para argamassa colante com cura úmida. Para o ensaio de deslizamento, foi notório que quanto maior o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, menor o deslizamento, de modo que o elevado teor de materiais finos na composição do agregado reciclado é um fator que contribui significativamente para a redução do deslizamento.

No que diz respeito à resistência ao arrancamento, observou-se que substituições de 25% do agregado natural por agregado reciclado se mostrou inviável devido a sua baixa aderência, já a substituição de 50% do agregado, configurou-se com uma alternativa viável por apresentar maior valor de aderência quando comparados as argamassas colantes industriais.

Portanto, com fundamento nas características estudadas, a utilização do agregado reciclado é viável para produção de argamassa colante, contudo, é importante ressaltar que se torna viável para substituição de 50% do agregado natural, pois foi onde atingiu o maior valor de aderência.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo realizado teve o objetivo de analisar a viabilidade técnica do uso de agregado miúdo reciclado na confecção de argamassa colante, mediante a avaliação de análise de aderência e deslizamento da placa cerâmica. Para a análise de outros aspectos referentes a argamassa colante e a utilização de agregado miúdo reciclado, outras variáveis podem ser estudadas. Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se citar:

- a) Determinação do tempo em aberto da argamassa colante;
- b) Estudo de uma metodologia para análise da taxa de absorção do agregado miúdo;
- c) Resistência a compressão da argamassa colante;
- d) Análise dos custos ambientais de extração de materiais minerais e da disposição de resíduos no meio ambiente;
- e) Avaliação de teores intermediários entre 25% e 50% bem como teores entre 50% e 100% de substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, de modo a analisar se existe um valor específico onde o ganho de aderência passa a ser significativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção**. 1ª ed. São Paulo. Pini. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP 2002.

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 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-2**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-4**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-5**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 5: Determinação do deslizamento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

BARROS, M.M.S.B; MACIEL, L.L.; SABBATINI, F.H. **Recomendações para execução de revestimento de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo 1998.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção. Volume 1**. 5ª ed. Uberlândia - MG: LTC. 2000.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos, estudos e procedimentos de execução**. São Paulo, PINI. 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª ed. IBRACON. 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre. Bookman. 2013.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. Porto Alegre: Globo, 1975.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2ª ed. Porto Alegre. ediPUCRS. 2012.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. da S.; STARLING, T. **Materiais de Construção**. 4ª ed. Belo Horizonte. UFMG. 2013.

SILVA, Moema Ribas. **Materiais de Construção**. São Paulo: PINI, 1985.