



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FREDSON ALAN GOMES

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS ARGAMASSAS
DE REVESTIMENTO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
POR PÓ DE VIDRO COMO MATERIAL POZOLÂNICO**

MOSSORÓ/RN
2019

FREDSON ALAN GOMES

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS ARGAMASSAS
DE REVESTIMENTO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
POR PÓ DE VIDRO COMO MATERIAL POZOLÂNICO**

Projeto apresentado ao Conselho do
Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFERSA, como requisito parcial
para elaboração do Trabalho Final de
Graduação.

Orientador: Felipe Augusto Dantas de
Oliveira - UFERSA

MOSSORÓ/RN
2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G633a Gomes, Fredson Alan.
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM A SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO CIMENTO POR PÓ DE VIDRO COMO MATERIAL
POZOLÂNICO / Fredson Alan Gomes. - 2019.
52 f. : il.

Orientador: Felipe Augusto Dantas de Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Argamassas de Revestimento. 2. Pó de Vidro.
3. Propriedades Mecânicas. 4. Construção Civil. I.
Oliveira, Felipe Augusto Dantas de, orient. II.
Título.

FREDSON ALAN GOMES

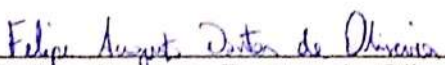
**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS ARGAMASSAS
DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR
PÓ DE VIDRO COMO MATERIAL POZOLÂNICO**

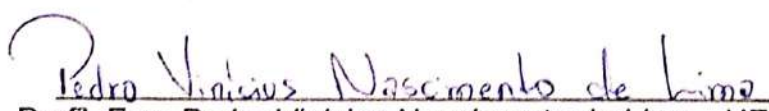
Projeto apresentado ao Conselho do
Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFERSA, como requisito parcial
para elaboração do Trabalho Final de
Graduação.

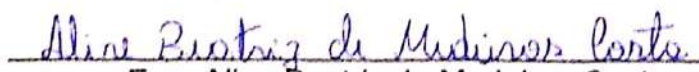
Orientador: Felipe Augusto Dantas de
Oliveira - UFERSA

APROVADO EM 22 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA


Profª. Eng. Felipe Augusto Dantas de Oliveira - UFERSA
Orientador - Presidente


Profª. Eng. Pedro Vinicius Nascimento de Lima - UFERSA
Primeiro Membro


Eng. Aline Beatriz de Medeiros Costa
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Ao único Deus que sempre tem me ajudado e me protegido com sua forte e potente mão, sempre me mantendo a fé e a esperança para realização dos meus sonhos e objetivo, me proporcionando sempre o melhor caminho para seguir em frente.

Aos meus pais, Francisco de Assis Gomes e Antonia Maria da Conceição Gomes que prestaram grande parcela de contribuição para que eu pudesse chegar até aqui, eles que mesmo sem nenhuma formação, mostraram os caminhos da educação como forma correta para um futuro melhor perante a sociedade.

A minha querida e amada esposa Jenny Kelly Gomes por me apoiar nesses momentos finais da graduação e que tem sido peça fundamental para esse sucesso acadêmico, te amo linda.

Minha irmã e meu irmão, que sempre me apoiaram e me motivaram nessa longa caminhada acadêmica.

Aos professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, por todos os ensinamentos científicos, como também de vida. Em especial ao professor e orientador, Eng. Felipe Augusto Dantas de Oliveira pelo apoio, incentivo e cobrança no desenvolvimento deste trabalho, me orientou da melhor forma possível, e que se disponibilizou a me ajudar com tamanha atenção.

A banca examinadora da defesa, por ter aceitado o convite e pela contribuição prestada.

Ao técnico do laboratório do curso de Edificações do IFRN – campus Mossoró, Valteson da Silva, pela grande contribuição nos ensaios e desenvolvimento da pesquisa, como também nas informações fornecidas.

Meus amigos e papais do coração, juntamente com suas respectivas esposas, pelo carinho para comigo, esse sucesso acadêmico dedico também a todos vocês.

“Tu és o meu Deus; graças te darei! Ó meu Deus, eu te exaltarei! Deem
graças ao Senhor, porque ele é bom; o seu amor dura para sempre.”
(Salmos 118:28-29)

RESUMO

A preservação do meio ambiente e o crescimento sustentável na construção civil, faz com que os alunos das Universidades e Centros Tecnológicos procurem por procedimentos e implementos para a obtenção de materiais alternativos que permitam a utilização dos mais variados tipos de resíduos oriundos dos canteiros de obra. Sabe-se que na construção civil, ultimamente, a questão da reutilização e reaproveitamento das matérias primas e produtos utilizados nas obras tem sido uma preocupação para os engenheiros e pesquisadores da área, buscando um equilíbrio quanto ao consumo dessas matérias primas e sua vasta geração de resíduo. O vidro é um dos materiais de construção que tem apresentado um alto consumo nos dias atuais, gerando uma grande quantidade de resíduos nos aterros sanitários e lixões. Neste contexto, o presente trabalho procura possibilitar de forma técnica a substituição de parte do cimento por material pozolânico, no caso, pó de vidro comum proveniente de resíduos das sucatas de vidraçarias. A possibilidade foi avaliada pela comparação de resultados de ensaios mecânicos em corpos de prova de argamassa de revestimento no estado fresco e endurecido rompidos aos 28 dias. Foram utilizados dois traços, um traço na proporção de 1:1:4, cimento, cal e areia fina (padrão) e outro com o mesmo traço fazendo a substituição de 25% do cimento por pó de vidro comum. As argamassas são materiais de bastante uso nas construções nas mais diversas etapas, sendo normalmente utilizadas para assentamento de alvenarias, revestimento de paredes e regularização de pisos e contrapisos. Prontamente com a realização dos ensaios, observou-se que, os resíduos de vidro comum estudado nesse trabalho apresentaram um bom potencial e alternativa para a utilização como material pozolânico, nas misturas com cimento em argamassas de revestimento, ficando esclarecido que para obras nas quais as características mecânicas não sejam tão preponderantes, esse material pozolânico pode ser empregado, pois a resistência a compressão em torno de 7 a 10 MPa e para tração na flexão de 2 a 4 MPa é algo a se considerar para uso em argamassas de revestimento, principalmente em obras que desejem obter certificações com relação a preservação do meio ambiente.

Palavras-Chave: Argamassas de Revestimento; Pó de Vidro; Propriedades Mecânicas; Construção Civil.

ABSTRACT

The preservation of the environment and sustainable growth in the construction industry means that the students of the Universities and Technological Centers are looking for procedures and implements to obtain alternative materials that allow the use of the most varied types of waste from the construction sites. It is known that in civil construction, lately, the question of the reuse and reuse of the raw materials and products used in the works has been a concern for the engineers and researchers of the area, seeking a balance on the consumption of these raw materials and its vast generation of residue. Glass is one of the building materials that has presented a high consumption in the current days, generating a lot of waste in landfills and dumps. In this context, the present work seeks to provide a technical way to replace part of the cement by pozzolanic material, in this case, ordinary glass powder from glass scrap waste. The possibility was evaluated by the comparison of results of mechanical tests on fresh and hardened coating mortar specimens ruptured at 28 days. Two traces were used: a 1: 1: 4 trace, cement, lime and fine sand (standard) and another with the same trace, replacing 25% of the cement with ordinary glass powder. Mortars are materials of considerable use in constructions in the most diverse stages, being usually used for laying of masonry, coating of walls and regularization of floors and subfloors. It was observed that the common glass residues studied in this work presented a good potential and alternative for the use as pozzolanic material in cement mixtures in coating mortars, being it clarified that for works in which the mechanical properties are not so preponderant, this pozzolanic material can be used, since the compressive strength around 7 to 10 MPa and for flexural tensile strength of 2 to 4 MPa is something to be considered for use in coating mortar, works that wish to obtain certifications regarding the preservation of the environment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do Cimento Portland.....	8
Tabela 2: Cimentos Normalizados no Brasil.....	9
Tabela 3: Propriedades Específicas do Vidro Comum	13
Tabela 4: Caracterização Física do Cimento CII-Z-32	18
Tabela 5: Caracterização Química do Cimento CII-Z-32	18
Tabela 6: Análise Granulométrica dos Materiais	22
Tabela 7: Composição em Massa, Proporção 1:1:4.....	22
Tabela 8: Valores Obtidos da Consistência e Fator água/cimento.....	35
Tabela 9: RCS das Argamassas aos 28 dias de Cura	35
Tabela 10: Valores Obtidos da Consistência e Fator água/cimento.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura Molecular do Vidro Comparado com Sólido Cristalino (BAUER)	12
Figura 2: Cimento Apodi CPII-Z-32	17
Figura 3: Cal Hidratada Passado na Peneira.	19
Figura 4: Areia Fina Material Passante na Peneira.	19
Figura 5: Resíduos de Vidro.....	20
Figura 6: Coleta da Areia Fina.....	21
Figura 7: Resíduos de Vidro Sendo Triturado (a), Passante na Peneira(b)	21
Figura 8: Peneiras Utilizadas Para Análise Granulométrica dos Materiais.....	22
Figura 9: Argamassadeira Usada Para Mistura dos Materiais	23
Figura 10: Moldagem de Troco de Cone.....	24
Figura 11: Espalhamento da Argamassa.	25
Figura 12: Corpos de Prova Prismáticos.....	26
Figura 13: Corpos de Prova Cilíndricos.....	27
Figura 14: Corpos de Prova Desmoldados em Processo de Cura.....	27
Figura 15: Prensa EMIC DL 100T	28
Figura 16: Ensaio de Resistência à Tração na Flexão	28
Figura 17: Corpos de Prova Após Capeamento em Retifica.....	29
Figura 18: Ensaio de Resistência à Compressão em Corpos de Prova Cilíndricos ..	30
Figura 19: Corpos de Prova Secando em Estufa	31
Figura 20: Corpos de Prova Imersos em Água	31
Figura 21: Relação Água/Cimento Para Cada Amostra Estudada	34
Figura 22: Resultado Argamassa “A”	37
Figura 23: Resultado Argamassa “B”.	37
Figura 24: Resultado Final do Ensaio	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
1.1 OBJETIVO.....	6
1.1.1 Objetivo Geral.....	6
1.1.2 Objetivo Específico	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1 ARGAMASSA.....	7
2.1.1 Definição	7
2.1.2 Classificação	8
2.1.3 Constituinte da Argamassa de Revestimento	8
2.1.3.1 Cimento Portland.....	8
2.1.3.2 Cal Hidratada	9
2.1.3.3 Agregado Miúdo	10
2.1.4 Propriedades da Argamassa	10
2.1.4.1 Estado Fresco	11
2.1.4.2 Estado Endurecido	11
2.2 VIDRO	12
2.2.1 História.....	12
2.2.2 Característica.....	13
2.2.3 Utilização do Vidro na Construção Civil.....	13
2.2.4 Reutilização do Vidro	13
2.3 POZOLANAS	14
2.3.1 Definição e Classificação das Pozolanas Segundo a NBR 12653 (ABNT 2014).....	14
2.3.2 Interações Entre a Pozolana e o Cimento Portland.....	15
2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	15
3. METODOLOGIA	17
3.1 MATERIAIS	17
3.1.1 Cimento Portland	17
3.1.2 Cal Hidratada	18
3.1.3 Agregado Miúdo	19
3.1.4 Água	20

3.1.5 Resíduo de Vidro Comum.....	20
3.2 METODOS E PROCEDIMENTOS	20
3.2.1 Caracterização dos Agregados.....	21
3.2.2 Produção das Argamassas	23
3.2.3 Propriedades das Argamassas no Estado Fresco (Ensaio)	23
3.2.3.1 Ensaio de Consistência.....	23
3.2.4 Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido (Ensaio)	25
3.2.4.1 Moldagem dos Corpos de Prova	26
3.2.4.2 Desmoldagem e Cura dos Corpos de Prova	27
3.2.5 Ruptura dos Corpos de Prova por Tração na Flexão.....	27
3.2.6 Ruptura dos Corpos de Prova por Compressão Axial.....	29
3.2.7 Ensaio de Absorção de Água por Imersão	30
3.2.7.1 Determinação do Índice de Vazios	32
3.2.7.2 Determinação da Massa Específica Seca	32
3.2.7.3 Determinação da Massa Específica Saturada.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 ENSAIOS DE CONSISTÊNCIA E FATOR ÁGUA/CIMENTO.....	34
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS AMOSTRAS ANALISADAS...	35
4.2.1. Resistência à Compressão Simples	35
4.2.1.1 Determinação do Índice de Desempenho, Argamassa Produzida com Adições de Pozolana	36
4.2.2 Resistência à Tração na Flexão	37
4.2.3 Determinação da Absorção de Água por Imersão	38
4.2.3.1 Resultado do Índice de Vazios	39
4.2.3.2 Resultado da Massa Específica Seca	40
4.2.3.3 Resultado da Massa Específica Saturada.....	40
5. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil a busca pelo o avanço em materiais para constituir uma boa argamassa de revestimento é de extrema importância, principalmente quanto ao aspecto de eficiência e sustentabilidade em construções.

A necessidade de se obter construções com bom desempenho em vários aspectos leva a desenvolver novos materiais ou ainda aperfeiçoar materiais e sistemas construtivos já existentes. Atualmente no Brasil, a Norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), norteia os padrões mínimos no que se refere à eficiência das edificações no país, trazendo as diretrizes para obtenção do conforto, estabilidade estrutural, vida útil adequada e segurança contra incêndios (BARROS, 2018).

Nesse contexto, é crescente o número de pesquisas com ênfase em investigar o emprego de agregados leves e até mesmo aditivos, como o pó de vidro, que possui importantes propriedades. Em uma argamassa padrão, o componente mais dispendioso e o que consome elevada quantidade de energia é, sem dúvida, o cimento. Segundo Miranda (2006), o cimento tem a função de promover a coesão dos agregados na mistura no estado fresco e a aderência inicial da argamassa ao substrato, além de conferir resistência mecânica e reduzir a permeabilidade do revestimento à água.

As pozolanas, quando utilizadas em argamassas, permitem reduzir o teor de cimento, por darem origem à formação de compostos hidráulicos, contribuindo para um aumento considerável da resistência mecânica. Por outro lado, por ser constituído essencialmente por sílica amorfa e em menores percentagens por sódio e cálcio, o vidro tem uma composição favorável ao desenvolvimento da reação pozolanica (FRAGATA *et al*, 2007).

Caracterizando o resíduo, avaliando a sua reatividade pozolanica e determinando a proporção adequada de ligante e adição pozolanica, formularam-se argamassas com incorporação de pozolana (pó de vidro) e argamassas de referência sem adição de pó de vidro para comparação (FRAGATA *et al*, 2007). Procedendo-se assim à determinação de novos compostos para adição em componentes da construção civil, sendo esse método a melhor forma de se resolver as necessidades quanto ao reaproveitamento dos resíduos gerados na obra.

Um dos principais interesses da construção civil nos dias atuais é a busca por novas tecnologias fazendo reutilização dos materiais de construção, elaborando estudos específicos nas áreas de atuações de cada material, como o que será estudado nessa pesquisa. Necessitando assim das análises comportamentais da trabalhabilidade e durabilidade desse novo produto (SILVA 2013).

É de grande importância novos estudos e pesquisas buscando encontrar novas formas de reutilização de materiais que já não tem utilidade dentro da construção civil. Cronogramas térmicos e mecânicos bem elaborados podem acarretar em melhorias de um novo produto, que por sua vez podem viabilizar o sucesso na criação de uma argamassa de revestimento com adição de material reutilizado. Sendo assim, é importante demandar maior tempo e atenção nessa etapa do projeto, escolhendo a melhor metodologia de pesquisa no laboratório e melhor sequência de execução dos testes e ensaios.

Através do conceito de um novo produto na construção civil, o planejamento adquire uma maior riqueza nos detalhes, não só durante o projeto, mas também durante a execução. Pode-se afirmar então que a utilização de pesquisas e estudos para se encontrar um novo produto com eficiência e que seja de forma sustentável será sempre aceito no mercado da construção nos dias atuais. Com base no exposto, o objetivo do trabalho é determinar um novo tipo de argamassa de revestimento, através da incorporação no momento da mistura do produto (sendo o vidro o mais comum nos resíduos de construção e demolição (RCD), tanto na construção civil, quanto em indústrias de fabricação e lapidação de vidros), sendo de granulometria inferior ou igual a 0,149 mm, e que têm propriedades pozolânicas (OLIVEIRA *et al* 2012).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo do estudo é analisar e avaliar a reutilização de resíduos de vidro comum na obtenção de produtos sustentáveis e adequados ao campo de aplicação previsto.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as propriedades das argamassas no estado fresco;
- Analisar as propriedades no estado endurecido das argamassas;
- Determinar a resistência à tração na flexão e à compressão de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, de acordo com a **NBR 13279** (ABNT 2005).
- Determinar a Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica de acordo com a **NBR 9778** (ABNT 2005).
- Determinar a Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, de acordo com a **NBR 13276** (ABNT 2002).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O avanço tecnológico chegou à indústria da construção civil em vários seguimentos. Dentre eles, o estudo e desenvolvimento dos novos materiais com vistas às demandas técnicas e ambientais. Materiais surgem constantemente, fruto de matéria-prima existente ou proveniente de processos de produção, não participando da sua utilização final, como exemplo resíduo de vidro (SILVA 2013).

2.1 ARGAMASSAS

2.1.1 Definição

A NBR 13281 (ABNT, 2005, p. 2) define a argamassa como uma “mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou instalação própria”.

A argamassa é um material essencial em qualquer construção constituída de pedras, tijolos ou blocos cerâmicos, pois tem a função de juntar diversas unidades desses materiais entre si. A outra função básica da argamassa é o revestimento, o qual propicia uma maior proteção aos vários elementos construtivos, colaborando, conseqüentemente, com a durabilidade das edificações (SANTIAGO, 2007).

Para obtenção de uma argamassa de revestimento de qualidade, as condições de compacidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume, resistência mecânica adequada e durabilidade devem ser atendidas. Além disso, é importante que o sistema de revestimento contribua com funções de isolamento térmico, isolamento acústico, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais, servindo também como base para acabamentos decorativos (SANTIAGO, 2007; CARASEK, 2010).

2.1.2 Classificação

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013) as argamassas são classificadas em relação aos seguintes critérios:

- Quanto à natureza do aglomerante: argamassa aérea, ou hidráulica;
- Quanto à quantidade de aglomerantes: argamassa simples, ou mista;
- Quanto ao tipo de aglomerante: argamassa de cal, de cimento, ou de cimento e cal;
- Quanto à função do revestimento: argamassa de chapisco, de emboço, ou de reboco;
- Quanto à forma de preparo ou fornecimento: argamassa dosada em central, ou produzida *in loco*;
- Quanto a propriedades especiais: argamassa aditivada, de aderência aprimorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga (que evita umidade), e isolante térmico.

2.1.3 Constituinte da Argamassa de Revestimento

2.1.3.1 Cimento Portland

O cimento Portland é por definição segundo Bauer (1994) “o produto obtido pela pulverização de clinker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego”. Quando misturados com água hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode oferecer elevada resistência.

Tabela 1 – Composição do Cimento Portland.

Nome do Composto	Sigla	Composição em óxidos	Abreviação
Silicato Tricalcico	CaO	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato bicálcico	SiO ₂	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricalcico	Al ₂ O ₃	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ferro aluminato tetracalcico	Fe ₂ O ₃	4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Fonte: Adaptado de Bauer.

De acordo com Oliveira (2016), dependendo do tipo de cimento que se deseja obter podem ser adicionados outros tipos de adições minerais, como por exemplo, pozolana, escória de alto forno e fíler calcário.

A tabela 2, mostra um resumo dos principais tipos de cimentos comercializados e normatizados no Brasil:

Tabela 2 – Cimentos Normalizados no Brasil.

Cimento	Classes de resistência (MPa)	Clinquer + Sulfatos (%)	Escoria (%)	Pozolana (%)	Materiais Carbonáticos (%)
CPI (NBR 5732/91)	25-32-40	100			0
CPI-S (NBR 5732/91)	25-32-40	99-95			1-5
CPII-E (NBR 11578/91)	23-32-40	94-56	6-34		0-10
CPII-Z (NBR 11578/91)	25-32-40	94-76		6-14	0-10
CPII-F (NBR 11578/91)	25-32-40	94-90			6-10
CPIII (NBR 5735/91)	25-32-40	65-25	35-70		0-5
CPIV (NBR 5238/91)	25-32	85-45		15-50	0-5
CPV-ARI (NBR 5733/91)	---	100-95			0-5

Fonte: Bauher e Souza (2015)

2.1.3.2 Cal Hidratada

A NBR 7175 – Cal hidratada para argamassas - Requisitos (ABNT, 2003) define cal hidratada como um 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.

Segundo Tusset (2010), por possuir um processo lento de carbonatação, a cal exerce como aglomerante uma função mais tardia se comparada ao cimento. A cal influencia positivamente na resistência à aderência, isso decorre da maior extensão de contato da argamassa ao substrato, ocasionada pela plasticidade proveniente da mesma.

A cal influencia diretamente em importantes propriedades como plasticidade, retração e rendimento da pasta. A plasticidade oferece uma maior facilidade na aplicação das argamassas de revestimento, apresentando uma melhor trabalhabilidade a fim de propor ao profissional um melhor manuseio e um melhor

preenchimento dos poros do substrato. Além disso, a cal é um produto pulverulento, sendo capaz de reter a água de amassamento no seu interior, assim, proporcionando uma menor retração da argamassa durante as reações de hidratação do cimento (OLIVEIRA, 2016).

2.1.3.3 Agregado Miúdo

De acordo com Velosa (2006), são atribuídas diversas classificações aos agregados utilizados para incorporação em argamassas e concretos. Os agregados podem ser classificados, quanto as dimensões em: finos, grossos ou areias; quanto a constituição química e mineralógica, em: siliciosos, calcários ou argilosos; e quanto a sua origem: naturais de rio, de mar ou artificiais. Geralmente, o agregado empregado nas argamassas é a areia natural, constituída essencialmente de quartzo e extraída de leitos de rios.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o agregado miúdo ou areia que compõem as argamassas são encontrados de forma particulada, com diâmetros entre 0,06 e 2,0mm. A faixa granulométrica da areia influi nas proporções do aglomerante e da água que será utilizado na produção da argamassa, o que a depender da granulometria do agregado, sendo ele predominantemente, acarretará em um maior consumo de água e conseqüentemente uma diminuição na resistência mecânica, maior retração da argamassa e ocorrência de fissuras.

A ABCP ressalta ainda que as areias utilizadas para a confecção de argamassas podem ser encontradas em cavas, rios e por britagem (processo industrializado, areia artificial).

2.1.4 Propriedades da Argamassa

O desempenho dos revestimentos e dos acabamentos está ligado diretamente às propriedades da argamassa, tanto em seu estado fresco quanto em seu estado endurecido. As propriedades no estado fresco são responsáveis, geralmente, pela facilidade de manuseio da argamassa, como por exemplo a trabalhabilidade. Já no estado endurecido as propriedades, em sua maioria, estão ligadas à capacidade de aderência ao substrato e à capacidade de absorver esforços físicos (GOMES, 2008).

2.1.4.1 Estado Fresco

Ao analisar as propriedades da argamassa no estado fresco, é possível observar a consistência, a trabalhabilidade, a coesão, a retenção de água, a adesão inicial, a densidade de massa e o teor de ar incorporado (FREITAS, 2010).

É importante citar que o desempenho das argamassas no estado fresco está relacionado a vários fatores, como os materiais empregados, o proporcionamento entre eles, a mistura, o tipo de transporte, a espessura da camada e até a forma de aplicação. O conhecimento das propriedades das matérias primas utilizadas no preparo, na dosagem e na implantação de um sistema eficiente de mistura e transporte, assim como o treinamento dos operários no sentido de uma mão de obra mais qualificada quanto à aplicação correta do material, são providências essenciais para garantir durabilidade aos revestimentos (GOMES, 2008).

Gomes (2008) afirma que a principal propriedade da argamassa fresca é a trabalhabilidade, esta por sua vez, agrupa várias outras, como por exemplo, a consistência, a plasticidade e coesão.

Não existe um ensaio específico para a determinação da trabalhabilidade; sendo a mesma medida em laboratório através do índice de consistência da argamassa, descrito na NBR 13276 (ABNT, 2005).

2.1.4.2 Estado Endurecido

Argamassa no estado endurecido possui propriedades que lhe são inerentes, sendo avaliadas diretamente em corpos-de-prova, e outras que dependem do modo como esses materiais interagem com a base e só podem ser analisadas em conjunto, isto é, no revestimento. Entre as primeiras, pode-se citar: resistência à compressão axial, tração à flexão, tração por compressão diametral, elasticidade, retração, absorção de água, massa específica e permeabilidade. Já entre as segundas, pode-se mencionar: resistência de aderência à tração, dureza superficial, propagação de ondas sonoras e durabilidade (GOMES, 2008).

No Brasil, os ensaios de resistência mecânica são estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Esta norma padroniza os ensaios de determinação resistência à tração na flexão e da resistência à compressão de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido.

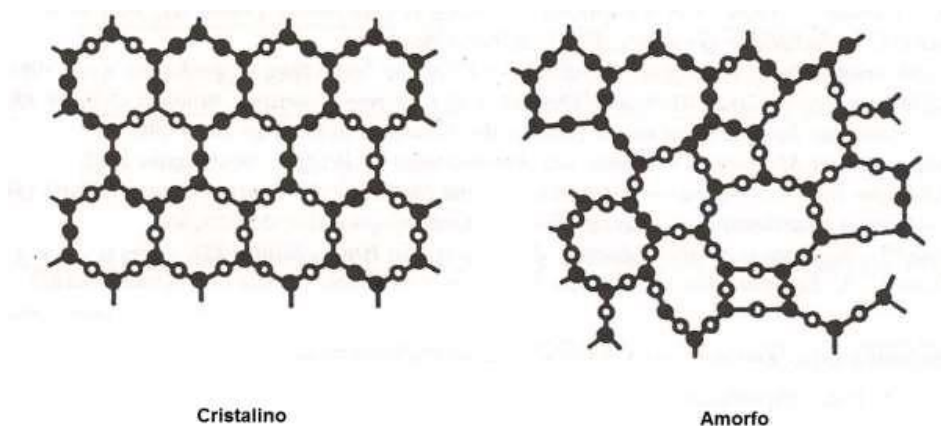
Conforme a norma da ABNT NBR 9778 (ABNT, 2009), a absorção de água por imersão é definida como o processo em que a água ocupa os poros permeáveis de um corpo sólido, ou melhor, é a relação do acréscimo da quantidade de massa devido à penetração de água nos poros e à sua massa na condição seca.

2.2 VIDRO

2.2.1 História

Não se sabe exatamente onde e quando surgiu o vidro, acredita-se que o primeiro vidro produzido pelo homem veio da Síria a aproximadamente 3000 a. c. No século XX, as pesquisas das propriedades físicas e químicas possibilitaram novos tipos de vidros tais como os temperados, laminados, as fibras de vidro, as fibras óticas e os vidros cerâmicos. O que dá aos vidros qualidades singulares é a sua estrutura atômica. Nem um líquido e nem verdadeiramente um sólido cristalino, está mais para um líquido super resfriado (PEREIRA 2016).

Figura 1 – Estrutura Molecular do Vidro Comparado com Sólido Cristalino (BAUER).



Fonte: BAUER, Materiais de Construção Civil (1994)

2.2.2 Características

Um material pozolânico típico deve apresentar três características essenciais: conter elevado conteúdo em sílica no estado amorfo, e ter uma elevada superfície específica. Constituído essencialmente por sílica (SiO_2 - 72.5%) no estado amorfo e uma menor percentagem de sódio (Na_2O – 13.2%) e cálcio (CaO 9.18%), o

vidro apresenta uma composição favorável ao desenvolvimento da reação pozolânica (FRAGATA, VEIGA *et al*, 2007).

Tabela 3 – Propriedades Específicas do Vidro Comum.

Módulo de elasticidade	75.000 ± 5.000 Mpa
Tensão de Ruptura a flexão	40 ± 5 Mpa
Tensão admissível a flexão:	13 ± 2 Mpa
Coefficiente de Poisson	0,22
Peso específico	2500 kgf/m ³

Fonte: Bauer (1994) adaptado

2.2.3 Utilização do Vidro na Construção Civil

O vidro é vastamente utilizado na construção civil por ser um material de alta tecnologia, estético e multifuncional. Trata-se de um material que não requer acabamento e a manutenção necessária consiste apenas na limpeza periódica. A escolha do material vítreo a ser utilizado em cada projeto depende de dois fatores primordiais: o efeito desejado pelo cliente em seu resultado final e esforço ao qual o material será submetido. Porém, as inovações e avanços que têm alavancado as linhas de produção tanto em qualidade como em quantidade do material têm garantido um número de possibilidades de aplicação cada vez maiores ao material (COSTA 2016).

2.2.4 Reutilização do Vidro

Callister (2008) escrevendo sobre a reutilização de vidro na engenharia dos materiais, diz:

O material cerâmico que é consumido pelo público em geral nas maiores quantidades é o vidro, na forma de recipientes. O vidro é um material relativamente inerte e, como tal, não se decompõe; dessa forma, ele não é biodegradável. Uma proporção significativa de aterros municipais consiste em sucatas de vidros; e o mesmo ocorre com os resíduos de incineradores.

Ainda segundo o autor, a variedade de matéria prima disponível faz com que não exista um estímulo econômico para sua reciclagem. Mas, ele é defensor da reutilização do resíduo de vidro, com visão para uma redução na emissão de poluentes.

Segundo SILVA, *et al* (2012), o reaproveitamento do resíduo de vidro constitui um benefício importante em relação ao meio ambiente, visto que, retira um resíduo descartado anteriormente no ambiente, reinserindo-o no processo produtivo.

2.3 POZOLANAS

2.3.1 Definição e Classificação das Pozolanas Segundo a NBR 12653 (ABNT 2014)

Definido pela NBR 12653 (ABNT, 2014), a pozolana é um material silicoso ou silico aluminoso que, por si só, possui pouca ou nenhuma atividade aglomerante. Entretanto, quando finamente moídos e na presença de água, reage com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades aglomerantes (silicato de cálcio e aluminato de cálcio).

Esta mesma norma, que fixa as condições exigíveis para materiais pozolânicos para o uso como adição em argamassas, classifica as pozolanas, com base nas origens dos materiais, em três classes: Classe N, Classe C e Classe E.

- Classe N: Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis nesta Norma, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas.
- Classe C: Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas.
- Classe E: Qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores.

A mesma NBR 12653 (ABNT, 2014) divide ainda as pozolana em grupos, sendo eles:

- Pozolanas naturais: Materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter pozolânica.

- Pozolanas artificiais: materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica.
- Argilas calcinadas: materiais provenientes de calcinação de certas argilas submetidas a temperaturas, em geral, entre 500°C e 900°C, de modo a garantir sua reatividade com hidróxido de cálcio.
- Cinzas volantes: Resíduos finamente divididos que resultam da combustão de carvão mineral pulverizado ou granulado com atividade pozolânica.

2.3.2 Interações Entre a Pozolana e o Cimento Portland

Vieira (2005), relata as recentes pesquisas, em todo o mundo, visando a obtenção e o beneficiamento de pozolanas de baixo custo. Do ponto de vista ambiental, o mesmo autor aponta que estas substituições implicam em um duplo benefício, uma vez que agrega valor à resíduos cuja exposição na natureza é fonte de degradação ambiental, e reduz o consumo de cimento.

Quando introduzida nas argamassas, a pozolana reage com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento, não apenas consumindo-o, mas também produzindo novos compostos cimentícios resistentes, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Isso ocorre pelo fato de o silício e o alumínio presentes na sua composição se encontrarem em estruturas amorfas ou desordenadas atômicamente. Sendo denominada de reação pozolânica (VIEIRA, 2005).

De acordo com o mesmo autor, a reação pozolânica contribui para a resistência da pasta endurecida, bem como da durabilidade diante à ação de agentes agressivos. As partículas que não reagem com os produtos de hidratação do cimento, pozolana residual, e outros compostos formados durante a reação pozolânica, como o Aluminato de Cálcio Hidratado (C-A-H), atuam apenas como filler, reduzindo a porosidade, e consequentemente a permeabilidade da estrutura resultante.

2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Fatores mecânicos podem ocasionar fissuras nas argamassas de revestimento, possibilitando o contato da alvenaria com a umidade proveniente das chuvas. Líquidos em movimento, contendo partículas em suspensão, podem

causar desprendimento do revestimento, resultando em seu desgaste. O desprendimento e a deterioração combinada pode ser mais rápida e prejudicial que as ações isoladas. Fluidos com partículas sólidas em suspensão funcionam como abrasivos mesmo na forma de vapor, como constatada na cavitação (BOTELHO, SILVA, 2008).

Algumas das propriedades mecânicas inerentes às argamassas são tração na flexão e a resistência à compressão das argamassas de revestimento e assentamento. Tendo seus padrões estabelecidos pela norma NBR 13279 de 2005. Segundo a mesma norma, a tração é uma solicitação que tende a alongar a peça no sentido da reta de ação a força aplicada, já a flexão é um esforço que tende a modificar o eixo geométrico de uma peça; e a compressão são os esforços que tendem a encurtar ou comprimir a peça no sentido da reta de ação da força aplicada.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi de uma pesquisa experimental com análises de ensaios físicos realizados no laboratório, utilizando traços de argamassas de revestimento com substituição parcial do cimento por pó de vidro, efetuando uma comparação entre ambas às argamassas, fazendo uma avaliação do resultado obtido.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

Para o desenvolvimento da pesquisa, o aglomerante utilizado foi o cimento Portland CII-Z-32, fabricado pela empresa Cimento Apodi. A escolha do cimento consistiu no fato do mesmo ser geralmente utilizado nas obras locais. O cimento ficou armazenado e estocado em local seco, coberto e fechado conservando suas propriedades.

Figura 2 – Cimento Apodi CII-Z-32.



Fonte: Autoria Própria (2019)

As Tabelas 4 e 5 apresentam, respectivamente, a descrição da sua composição física e química.

Tabela 4: Caracterização Física do Cimento CII-Z-32.

Área Específica	4435 cm ² /g
Massa Específica	2,98 g/cm ³
Finura – Resíduo na Peneira 0,075 mm (n° 200)	1,50%
Finura – Resíduo na Peneira 0,044 mm	8,40%
Início de Pega	1,47 h:min
Fim de Pega	2,57 h:min

Fonte: Silva 2016

Tabela 5: Caracterização química do cimento CII-Z-32.

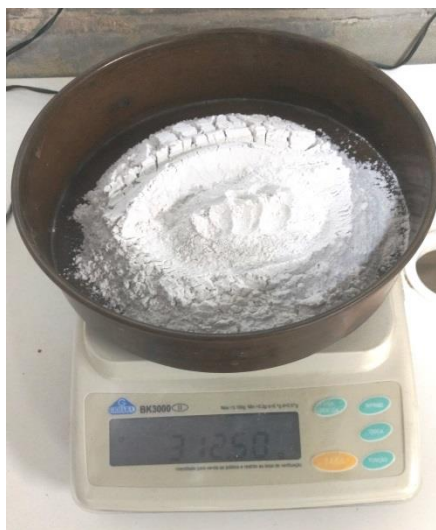
SiO ₂	21,89%
Fe ₂ O ₃	3,05%
Al ₂ O ₃	6,21%
CaO	54,27%
MgO	5,14%
SO ₃	2,78%
CO ₂	5%
CaO Livre	0,68%
Resíduo Insolúvel	9,87%
Perda ao Fogo	4,98%

Fonte: Silva 2016

3.1.2 Cal Hidratada

A cal hidratada utilizada foi a tipo CH I, fabricada pela empresa Carbomil e obtida em uma distribuidora da cidade de Mossoró/RN, tendo como garantia de fabricação a conformidade com a NBR 7175 (ABNT, 2003).

Figura 3 – Cal Hidratada Passado na Peneira.



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.1.3 Agregados Miúdos

O agregado miúdo (areia fina) utilizado para a produção das argamassas, foi oriunda do município de Governador Dix - Sept Rosado, Rio Grande do Norte.

Figura 4 – Areia Fina Material Passante na Peneira.



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.1.4 Água

Na produção dos traços das argamassas foi utilizada água do Laboratório de Construção Civil do IFRN-Campus Mossoró, proveniente da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN).

3.1.5 Resíduo de Vidro Comum

As amostras dos resíduos de vidro utilizada nesse trabalho, foram oriundas da reciclagem de vidros comuns coletados em uma vidraçaria no município de Mossoró/RN.

Figura 5 – Resíduos de Vidro.



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

A metodologia utilizada nesse trabalho se desenvolveu de início com a coleta e caracterização dos materiais. Logo após, a proporção e o percentual de substituição do aglomerante das argamassas foram definidas, nos traço A foi usada a proporção 1:1:4 cimento CP II-Z-32, cal hidratada, areia fina e água (Padrão), e no traço B foi adicionado 25% em massa do material pozolânico, em substituição a igual porcentagem de cimento CP II-Z-32, cal hidratada, areia fina e água na mesma proporção.

Para cada traço foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos de (50mm de diâmetro x 100mm altura) e 3 corpos de prova prismático (4mm x 4mm x 16mm), conforme orienta a NBR 7215. E finalmente as propriedades no estado fresco e endurecido foram avaliadas.

3.2.1 Caracterização dos Agregados

A areia fina, após coletada, foi seca por 48 horas ao sol, posteriormente, resfriadas à temperatura ambiente na sombra. Após esse procedimento foi realizada a redução das amostras por quarteamento com base na NBR NM 27 (ABNT, 2001) até a obtenção da quantidade de material necessária para realização de cada ensaio, logo após foi feito o peneiramento de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016).

Figura 6 – Coleta da Areia Fina.



Fonte: Autoria Própria (2019)

O pó de vidro foi deixado secar e moído de forma manual com uso de um recipiente de 200L juntamente com um triturador de ferro. O material utilizado no trabalho foi o passante na peneira de *mash* #200.

Figura 7 – Resíduos de Vidro Sendo Triturado (a), Passante na Peneira(b).



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 8 – Peneiras Utilizadas Para Análise Granulométrica dos Materiais.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 6: Análise Granulométrica dos Materiais.

Materiais	Peneira #	Granulometria
Cimento	200	0,075mm
Cal	140	0,106mm
Areia Fina	40	0,424mm
Pó de Vidro	200	0,075mm

Fonte: Autoria Própria (2019)

Logo após o peneiramento dos materiais os mesmos foram pesados em balança com resolução de 0,1g como mostra a tabela a seguir.

Tabela 7: Composição em Massa, Proporção 1:1:4.

Materiais	Massa(g)	
	Argamassa "A"	Argamassa "B"
Cimento CP II-Z-32	312,5	234,38
Cal Hidratada	312,5	312,5
Areia Fina	1.250	1.250
Água	320	330
Material Pozolânico	-	78,12

Fonte: Autoria Própria (2019)

3.2.2 Produção das Argamassas

A argamassa foi misturada em uma argamassadeira, no Laboratório de Construção Civil do IFRN - Campus Mossoró. Os materiais foram introduzidos na argamassadeira obedecendo à seguinte ordem: cimento, cal, areia fina e água; sendo que no traço feito com a substituição o pó de vidro moído foi acrescentado junto com o cimento.

Figura 9 – Argamassadeira Usada Para Mistura dos Materiais.



Fonte: Autoria Própria (2019).

3.2.3 Propriedades das Argamassas no Estado Fresco (Ensaio)

3.2.3.1 Ensaio de Consistência.

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Norma esta que prescreve o método de determinação do índice de consistência da argamassa a ser utilizada na realização de ensaios necessários à caracterização do material.

Materiais utilizados para a realização do ensaio:

- Balança com resolução de 0,1 g;

- Mesa para índice de consistência, conforme a NBR 7215;
- Molde tronco cônico, conforme a NBR 7215;
- Soquete metálico, conforme NBR 7215;
- Argamassadeira, conforme NBR 7215;
- Régua graduada para medições até 1000 mm.

Os materiais constituintes da argamassa foram inicialmente pesados, seguindo a proporção do traço 1:1:4. Após isso foram inseridos na argamassadeira primeiramente o cimento e a cal juntamente com metade da água e misturado por 40 segundos, posteriormente foi adicionado a areia fina e misturado todo o material por mais 3 minutos e 30 segundos adicionando o restante da água.

O valor do espalhamento de acordo com a norma foi estabelecido e fixado em $260 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$. Foi feito esse procedimento para as os dois traços de argamassas buscando determinar a proporção ideal de água para cada traço.

Feita a mistura atendendo as especificações da norma, a argamassa foi colocada no molde, sendo preenchido em três camadas de altura aproximadamente iguais. Na primeira camada foram aplicados 15 golpes, já na segunda camada foram aplicados 10 golpes, e na última camada, foram aplicados 5 golpes.

Aplicando os golpes com o auxílio do soquete metálico, em seguida sendo retirado o molde, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Moldagem de Tronco de Cone.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Após a aplicação dos golpes, foi feito o arrasamento da argamassa que ficou em excesso na parte superior do molde com o auxílio de uma régua metálica. Após isso, foram aplicados 30 golpes em 30 segundos, na mesa de espalhamento na proporção de um golpe por segundo, para então se fazer a medição do espalhamento ocorrido da argamassa. A medida do espalhamento era realizada com o auxílio de uma régua, ver Figura 11.

Figura 11 – Espalhamento da Argamassa.



Fonte: Autoria Própria (2019)

O ensaio submetia-se a repetição sempre que o valor do espalhamento obtido não era de acordo com o valor previamente estabelecido, alterando a quantidade de água adicionada. O ensaio foi finalizado quando o espalhamento estava dentro dos limites fixados.

3.2.4 Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido (Ensaio)

Para a realização dos ensaios necessitou primeiramente realizar a moldagem dos corpos de prova.

3.2.4.1 Moldagem dos Corpos de Prova.

Foram moldados corpos de prova de formas cilíndricas e prismáticas. Os corpos de prova prismáticos foram moldados em conformidade com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Realizou-se a aplicação de uma fina camada de óleo nas partes internas dos moldes. Logo após a preparação das argamassas, com o traço e a relação água/aglomerante estabelecida no ensaio de consistência, foi preenchido em cada molde uma quantidade de argamassa.

Figura 12 – Corpos de Prova Prismáticos.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Os corpos de prova cilíndricos foram moldados em conformidade com a NBR 7215 (ABNT, 1996) – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. O molde foi preenchido com a argamassa em quatro camadas, com as alturas aproximadamente iguais, onde cada camada recebeu 30 golpes uniformes com o soquete. Finalmente, foi feito o arrasamento do topo dos corpos de prova por meio de uma régua.

Figura 13– Corpos de Prova Cilíndricos.



Fonte: Aatoria Própria (2019)

3.2.4.2 Desmoldagem e Cura dos Corpos de Prova.

As amostras permaneceram durante 24 horas nos moldes em temperatura ambiente até serem desmoldadas. Logo após foram submersas em tanque para cura durante 28 dias para realização de cada ensaio correspondente.

Figura 14 – Corpos de Prova Desmoldados em Processo de Cura.



Fonte: Aatoria Própria (2019)

3.2.5 Ruptura dos Corpos de Prova por Tração na Flexão

Os corpos de prova de argamassa prismáticos foram submetidos ao ensaio aos 28 dias de idade, inseridos em um dispositivo de carga, para a determinação da resistência à tração na flexão. A máquina utilizada foi a universal de ensaio, modelo DL 100T do laboratório de mecânica da UFERSA-Mossoró, como ilustra a Figura 15.

Figura 15 – Prensa EMIC DL 100T.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Na realização do ensaio de resistência à tração na flexão, a máquina foi adaptada com um dispositivo de carga de 2 toneladas força, e controlada pelo software computacional Test Script (TESC), no qual foi possível programar o ensaio, para que a velocidade de carregamento fosse aproximadamente 50 N/s, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), como ilustra a Figura 16.

Figura 16 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.



Fonte: Autoria Própria (2019)

A equação (1) foi utilizada para o cálculo da resistência à tração na flexão das amostras das argamassas.

$$Rf = \frac{1,5.Ff.L}{40^3} \quad (1)$$

Onde:

Rf : é a resistência à tração na flexão, em megapascals (MPa);

Ff : é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons (N);

L : é a distância entre os suportes, em milímetros (mm).

3.2.6 Ruptura dos Corpos de Prova por Compressão Axial

Os corpos de prova de formato cilíndrico ficaram submersos em água por 28 dias. Após a retirada do tanque de cura, deixou secando ao ar livre, para em seguida ser realizado o capeamento das superfícies na retífica em conformidade com a NBR 7215 (ABNT, 1996), conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17 – Corpos de Prova Após Capeamento em Retífica.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Em seguida os corpos de prova foram posicionados em um dispositivo de carga com velocidade de 0,25 MPa/s, ensaio esse realizado no laboratório de construção civil do IFRN campus Mossoró, conforme ilustra Figura 18.

Figura 18 – Ensaio de Resistência à Compressão em Corpos de Prova Cilíndricos.



Fonte: Autoria Própria (2019)

A equação (2) foi utilizada para o cálculo de resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos.

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

Onde:

R_f : é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F_c : é a carga máxima aplicada, em newtons (N);

A_c : é a área do cilindro, em milímetros quadrados (mm²).

3.2.7 Ensaio de Absorção de Água por Imersão

Ensaio esse realizado no laboratório de construção civil do IFRN campus Mossoró, em conformidade com a NBR 9778 (ABNT, 2009) – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Materiais utilizados para a realização deste ensaio.

- Balança hidrostática
- Recipientes
- Estufas

Foram utilizados para a realização deste ensaio os corpos de prova cilíndricos com mesma dimensão dos que foram utilizados para o ensaio de compressão e moldados da mesma forma.

Para execução deste ensaio foram utilizadas três amostras para cada tipo de argamassa confeccionada, sendo o resultado obtido a partir da média dos resultados das três. Em um período de 72 horas as amostras foram colocadas na estufa e mantidas à temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, conforme mostra a Figura 19, onde foi obtida e registrada a massa das amostras secas.

Figura 19 – Corpos de Prova Sendo Secas em Estufa.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Em sequencia as amostras foram submetidas á imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e mantidas durante 72 horas nessa condição, mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Corpos de Prova Imersos em Água.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Completada a etapa de saturação, sem fervura, procedeu à pesagem em balança hidrostática, foi anotado as massas das amostras imersa em água.

A determinação do percentual de absorção é obtido através da seguinte equação(3):

$$A = \frac{M_{sat}-M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

M_{sat} : Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura.

M_s : Massa da amostra seca em estufa.

3.2.7.1 Determinação do Índice de Vazios.

A determinação do percentual do índice de vazios é dado através da equação (4). Recomendado pela NBR 9778 (ABNT, 2009), que prescreve o ensaio para determinação da absorção de água, do índice de vazios por imersão, e da massa específica da argamassa endurecida.

$$Abs = \frac{M_{sat}-M_s}{M_{sat}-M_i} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

M_{sat} : Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura.

M_s : Massa da amostra seca em estufa.

M_i : Massa da amostra imerso em água.

3.2.7.2 Determinação da Massa Específica Seca.

A determinação do valor da massa específica seca é dada através da seguinte equação (5):

$$M_{sec} = \frac{M_s}{M_{sat}-M_i} \quad (5)$$

Onde:

M sat: Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura.

Ms: Massa da amostra seca em estufa.

Mi: Massa da amostra imerso em água.

3.2.7.3 Determinação da Massa Específica Saturada.

A determinação do valor da massa específica saturada é dada através da seguinte equação (6):

$$Mesat = \frac{Msat}{Msat - Mi} \quad (6)$$

Onde:

M sat: Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura.

Ms: Massa da amostra seca em estufa.

Mi: Massa da amostra imerso em água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo encontram-se os resultados obtidos através da pesquisa experimental descrito no capítulo anterior. Confere à apresentação e análise dos resultados dos ensaios aos corpos de prova com traço padrão e com substituição do cimento por pó de vidro como material pozolanico em argamassas de revestimento.

4.1 ENSAIOS DE CONSISTÊNCIA E FATOR ÁGUA/CIMENTO

A relação água-cimento é dada em função da Curva de Abrams na figura 21, que apresenta valores de a/c para cada tipo de cimento aceito pela ABNT. Para cimento com F_{ck} de 32 MPa.

Figura 21: Relação Água/Cimento Para Cada Amostra Estudada.



Fonte: <https://docplayer.com.br/2015061-Concretos-especiais-maximizando-o-desempenho.html>

Na Tabela 8 estão apresentados os valores da consistência e fator água/cimento para os traços estudados.

Tabela 8: Valores Obtidos da Consistência e Fator água/cimento.

Traço	Consistência Obtidas (mm)				Água (ml)	Fator a/c
	Tentativas			Média		
1:1:4 (100% cim, 100% cal, 100% areia)	255	265	260	260	320	0,82
1:1:4 (75%cim,25%vidro,100%cal,100%areia)	270	265	260	265	330	0,89

Fonte: Autoria Própria (2019)

O fator água/cimento (a/c) é de grande importância para se obter uma boa trabalhabilidade nas argamassas. Foi definida a quantidade de água por tentativas, até a obtenção de um espalhamento na mesa de consistência dentro da faixa de 260 ± 5 mm, assim como recomendado pela NBR 13276 (ABNT, 2005), mesmo apresentando fatores a/c não muito alto, essas argamassas não tiveram sua trabalhabilidade prejudicada, pois foram determinadas para uma consistência padrão.

4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS AMOSTRAS ANALISADAS

4.2.1. Resistência à Compressão Simples

A tabela 9, mostra os valores obtidos para resistência à compressão simples das argamassas.

Tabela 9: RCS das Argamassas aos 28 dias de Cura.

Traço	RCS aos 28 dias
1:1:4 (100% cim, 100% cal, 100% areia)	9,44Mpa
1:1:4 (75%cim,25%vidro,100%cal,100%areia)	7,54Mpa

Fonte: Autoria Própria (2019)

A resistência à compressão simples (RCS) foi obtida conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996), partindo da média aritmética simples da RCS de três corpos de prova cilíndricos com dimensões (50x100)mm para cada argamassa. Utilizou-se a Prensa

Hidráulica CONTENCO 120T Ns-3001B, com velocidade de carga de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s para romper os corpos de prova.

Percebe-se que a substituição do material pozolânico ao cimento com proporção de 25%, reduziu a resistência a compressão dos corpos de prova com relação aos corpos de prova padrão, esse resultado provavelmente se deve ao fato de se retirar o cimento que tem outros óxidos em sua composição além da pozolana, o fator água cimento também é afetado necessitando de um pouco mais de água, aumentando assim a porosidade das argamassas.

4.2.1.1 Determinação do Índice de Desempenho, Argamassa Produzida Com Adições de Pozolana.

A determinação que será descrita, foi realizada conforme a NBR 5752/2014, onde a mesma recomenda a substituição de 25% do cimento pelo material pozolânico, então foram realizados ensaios com a argamassa padrão e outra com substituição.

A determinação do índice de desempenho aos 28 dias deve ser calculada pela equação (7):

$$I_{cimento} = \frac{F_{CB}}{F_{CA}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

$I_{cimento}$, é o índice de desempenho expresso em %.

F_{CB} , resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com adição de 25% de pozolana é expressa em MPa.

F_{CA} , é a resistência média do traço de referência expresso em MPa.

$$F_{CA} = 9,44 \text{ MPa} \quad I_{cimento} = \frac{7,54}{9,44} \times 100$$

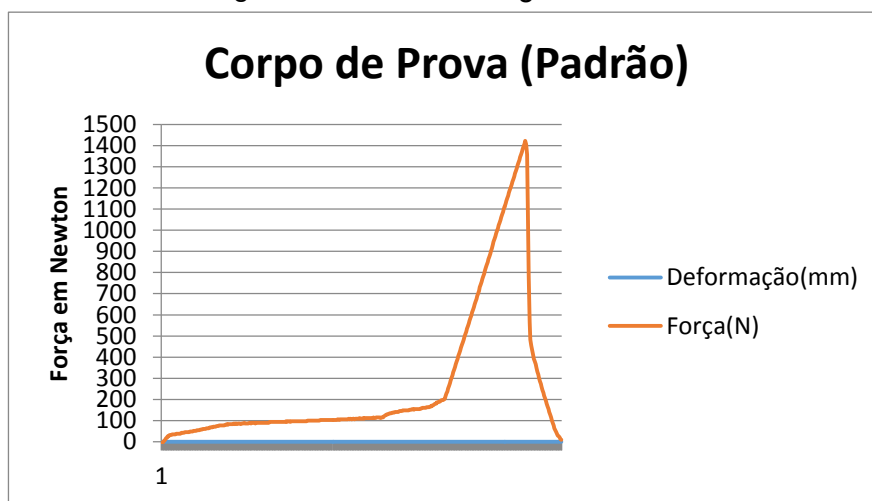
$$F_{CB} = 7,54 \text{ MPa} \quad I_{cimento} = 79,87\%$$

Logo o resultado está de acordo com a NBR 12653/92, onde a mesma estabelece um valor mínimo de 75%.

4.2.2 Resistência à Tração na Flexão

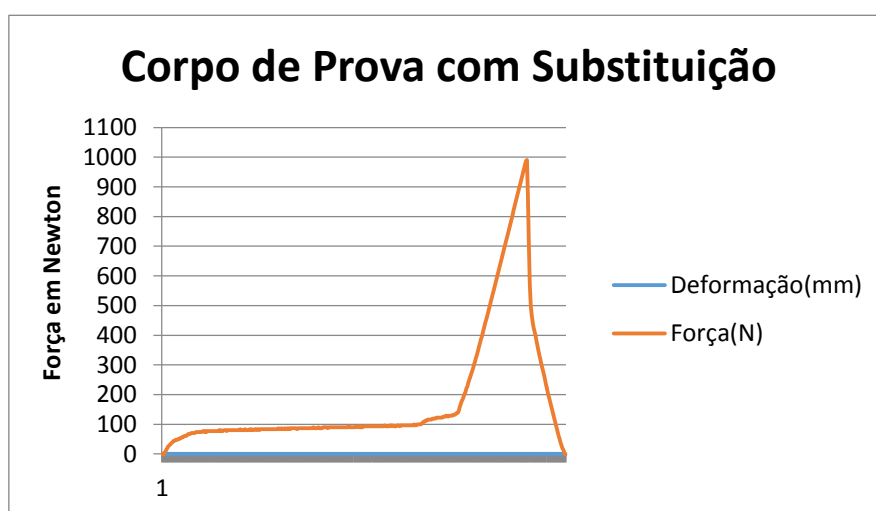
A partir do ensaio de resistência à tração na flexão obteve-se os seguintes resultados por média aritmética dos 3 corpos de prova, para argamassa “A”, a resistência a flexão de 1444,6N e limite de deformação 0,53mm, já na argamassa “B” a resistência a flexão foi de 993,4N com limite de deformação de 0,42mm, ver figuras 22 e 23.

Figura 22: Resultado Argamassa “A”.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 23: Resultado Argamassa “B”.

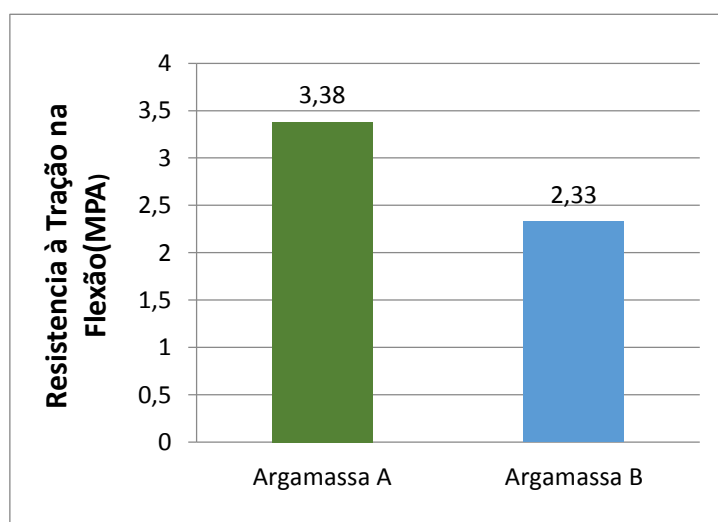


Fonte: Autoria Própria (2019)

Com os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, nota-se que a argamassa “A”, moldada com o traço padrão, apresentou o melhor resultado entre os dois traços em estudo, com valor de 3,38 MPa, já a argamassa “B”, moldada com a substituição de 25% do cimento por pó de vidro ficou com 2,33 MPa, portanto, com a menor resistência, usando a equação (8). (Ver Figura 24).

$$Rf = \frac{1,5.Ff.L}{40^3} \quad (8)$$

Figura 24: Resultado Final do Ensaio.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Para ocorrência dessa menor resistência no ensaio de tração na flexão, como no ensaio de compressão o fator água cimento é provavelmente o que mais contribui com esses valores obtidos. O uso do pó de vidro em substituição necessita de uma maior quantidade de água, aumentando assim a porosidade das argamassas.

4.2.3 Determinação da Absorção de Água por Imersão

A determinação da absorção de água das argamassas estudadas nesta pesquisa ocorreu seguindo as indicações prescritas pela norma da ABNT NBR 9778

(2009). Utilizaram-se três corpos de prova cilíndricos com dimensões (50x100)mm, para cada traço, e idades de cura de 28 dias.

A Tabela 10 apresenta os valores obtidos para absorção de água por imersão dos corpos de prova na respectiva idade de cura, usando a equação (9).

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (9)$$

Tabela 10 - Teores de Absorção de Água por Imersão.

Argamassa	Massa Saturada(g)	Massa Seca(g)	Massa Sat. Imer. (g)	Absorção(%)
Tipo "A"	394,45	342,83	201,85	15,05
Tipo "B"	386,35	334,66	194,22	15,45

Fonte: Autoria Própria (2019)

4.2.3.1 Resultado Índice de Vazios.

Foi determinado o percentual do índice de vazios através da equação (10).

Argamassa "A"

(10)

$$Iv = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad Iv = \frac{394,45 - 342,83}{394,45 - 201,85} \times 100 \quad Iv = 26,8\%$$

192,13

Argamassa "B"

$$Iv = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad Iv = \frac{386,35 - 334,66}{386,35 - 194,22} \times 100 \quad Iv = 26,9\%$$

4.2.3.1 Resultado da Massa Específica Seca.

Sendo determinado o valor da massa específica seca através da equação (11).

Argamassa “A” (11)

$$Mesec = \frac{Ms}{Msat - Mi} \quad Mesec = \frac{342,83}{394,45 - 201,85} \quad Mesec = 1,78$$

Argamassa “B”

$$Mesec = \frac{Ms}{Msat - Mi} \quad Mesec = \frac{334,66}{386,35 - 194,22} \quad Mesec = 1,74$$

4.2.3.2 Resultado da Massa Específica Saturada.

Sendo determinado o valor da massa específica saturada através da equação (12).

Argamassa “A”

(12)

$$Mesat = \frac{Msat}{Msat - Mi} \quad Mesat = \frac{394,45}{394,45 - 201,85} \quad Mesat = 2,05$$

Argamassa “B”

$$Mesat = \frac{Msat}{Msat - Mi} \quad Mesat = \frac{386,35}{386,35 - 194,22} \quad Mesat = 2,01$$

Após os resultados apresentados no ensaio de absorção de água, índice de vazios, massa específica seca e saturada, ficou constatado que apresentaram bons resultados para a argamassa com incorporação de 25% de pó de vidro. De fato, a argamassa “B” modificada apresentou coeficientes inferiores em todos os ensaios, com relação ao da argamassa de referência, traço padrão, apesar da considerável redução do teor de cimento que apresentou. Assim, esta argamassa modificada está mais protegida contra mecanismos de degradação do que a própria argamassa padrão.

5. CONCLUSÃO

A partir do exposto, percebe-se que o objetivo do trabalho foi alcançado com êxito. Neste estudo onde se reduziu 25% do teor de cimento de argamassas de revestimento pela incorporação do pó de vidro comum, não se esperava grandes melhorias do desempenho, mas pretendendo sim, apenas obter argamassas com um comportamento comparável a uma argamassa padrão específica, sendo a grande vantagem e melhoria à redução do aglomerante cimento a ser usado, para a incorporação de resíduos de vidro que seriam descartados no meio ambiente.

No entanto fica esclarecido que para obras nas quais as características mecânicas não sejam tão preponderantes, esse material pozolânico pode ser empregado, pois a resistência a compressão em torno de 7 a 10 MPa e para tração na flexão de 2 a 4 MPa é algo a se considerar para uso em argamassas de revestimento, principalmente em obras que desejem obter certificações com relação a preservação do meio ambiente, pois o uso de materiais reciclados é algo que colabora na obtenção destas certificações.

Quanto à absorção de água por imersão, a argamassa ao traço 1:1:4 com adição de 25% de pó de vidro, apresentou um maior coeficiente de absorção de água por imersão do que a argamassa padrão sem qualquer tipo de substituição. Esclarecendo assim, que esta argamassa modificada apresenta um melhor comportamento do que a argamassa padrão, em relação a esta característica.

Novos estudos poderão ser feitos diminuindo o percentual da substituição do cimento por resíduos de vidro, para encontrar novos resultados. Segundo Pereira e Santos (2007), ao substituírem parcialmente o cimento (10, 20, 25, 30 e 40%) por pó de vidro, de três granulometrias diferentes (0 - 45 μm , 45 - 75 μm e 75 - 150 μm), verificaram que, de um modo geral, a resistência à compressão e a flexão diminuiu com o aumento da percentagem de substituição, para todas as frações granulométricas estudadas. Os mesmos verificaram ainda que, para uma mesma percentagem de substituição, a resistência à compressão aumenta com a diminuição do tamanho das partículas incorporadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de revestimentos de argamassa.**

Disponível em:

<<http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>.

Acesso em: 02 Março 2019.

_____. **NBR NM 27:** Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. (2001).

_____. **NBR 5752:** Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

_____. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4 p.

_____. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 8 p.

_____. **NBR 9778:** Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

_____. **NBR 12653:** Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

_____. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

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

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

_____. **NBR 13529** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. (ABNT, 2013).

_____. **NBR 15575:** Desempenho de edificações habitacionais – ABNT, 2013.

BARROS, Ilma Maria S. (2018) **Análise térmica e mecânica de argamassas de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado**, (Dissertação em Engenharia Civil) – UFRN- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018.

BAUER, Falcão Luiz Alfredo. **Materiais de Construção 2:** Novos Materiais para Construção Civil. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos. S.A, 1994.

BOTELHO, A.; SILVA, D. (2008) **corrosão de armadura em estruturas de concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade da Amazônia-UNAMA, Belém-Pa, 2008.

CALLISTER, Willian D. **Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução**. Trad. Sergio M. S. Soares. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CARASEK, H. **Argamassas**. Capítulo 26. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 863-891 ISBN 978-85-98576-14-5 e 978-85-98576-15-2.

COSTA, Ramom Reis (2016) **Propriedades dos vidros e seu uso em construção civil**. Monografia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró, 2016.

FRAGATA, A.; VEIGA, R.; VELOSA, A.; FERREIRA, V. (2007) **Incorporação de resíduos de vidro em argamassas de revestimento - avaliação da sua influência nas características da argamassa**, 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, CD-Rom;

FREITAS, Cleverson de. **Argamassa de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba**: Propriedades no estado fresco e endurecido. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GOMES, Adailton de Oliveira (2008) conforme citado por Junior (2017). **Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas**. 2008. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

MIRANDA, L.; Selmo, S. (2006) CDW recycled aggregate renderings: Part I - Analysis of the effect of materials finer than 75 µm on mortar properties, *Construction and Building Materials* 20 (9), pp. 615-624;

OLIVEIRA, R.; VEIGA, M. R.; BRITO J. de. (2012). **Redução do teor de cimento em argamassas com incorporação de agregados finos de vidro**, Artigo, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Construção, Lisboa, Portugal

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Cimento Portland. In: BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. Cap. 3. p. 35-62.

PEREIRA, Henrique Artur (2016) **Avaliação da utilização de vidro comum como pozolana e avaliação da utilização de sucata de vidro temperado como agregado graúdo em concretos**, (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campo Mourão-PR, 2016.

PEREIRA, L.; Santos, P. (2007) **Resíduos reciclados como componentes de argamassas**, 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, CD-Rom;

SANTIAGO, C. C. **Argamassas**. Salvador: EDUFBA, 2007. 202p

SILVA, A. L. B.; PEREIRA, F. F. A.; COSTA, G. L. S.; OLIVEIRA, M. C. R.; MARQUES, S. A., **Resíduos de Vidro como Agregado Miúdo na Produção de Concretos**. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CONCRETOS ESPECIAIS, 5, 2012. Anais. Fortaleza/CE.

SILVA, Allyson L. Bezerra. (2013) **Análise da resistência à compressão de concreto obtido com resíduo de vidro em substituição ao agregado miúdo**. Mossoró/RN, 2013. TCC – Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró, 2013.

TUSSET, Cyane. **Avaliação de desempenho de revestimento externo de argamassa quanto à permeabilidade e resistência à aderência**: Estudo de caso. 2010. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28557>>. Acesso em: 03 maio 2019.

VELOSA, A. L. P. L. **Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas**. 2006. Tese (Doutorado) – Seção Autónoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2005.