



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB  
CAMPUS VIII – ARARUNA/PB  
CENTRO CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**THAMYRES DE MEDEIROS SOUSA**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE  
VIDRO TRITURADO**

**ARARUNA – PB  
2016**

**THAMYRES DE MEDEIROS SOUSA**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE  
VIDRO TRITURADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos

**ARARUNA - PB  
2016**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

725 Souza, Thamyres De Medeiros  
Análise das Propriedades Mecânicas De Argamassas com  
Adição De Vidro Triturado [manuscrito] / Thamyres De Medeiros  
Sousa. - 2016.  
41 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
ENGENHARIA CIVIL) - Universidade Estadual da Paraíba,  
Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2016.

"Orientação: Daniel Baracuy da Cunha Campos,  
Departamento de Engenharia Civil".

1. Argamassas. 2. Resíduo de vidro. 3. Resistência à  
compressão I. Título.

21. ed. CDD 624.17

THAMYRES DE MEDEIROS SOUSA

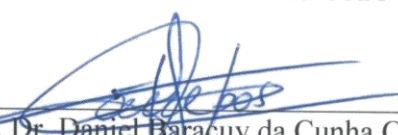
**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO  
DE VIDRO TRITURADO**

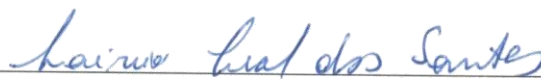
Trabalho de Conclusão de Curso apresentada  
ao Departamento de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito à obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.


Área de concentração: Materiais de  
Construção.

Aprovada em: 18/05/16.

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos  
(Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos  
(Examinador Interno)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Daysan Fritzgirard Kamikase Leal Medeiros  
(Examinador Interno)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## DEDICATÓRIA

À Deus por ter me sustentado com sua graça e misericórdia todos os dias. Aos meus familiares, por toda luta, perseverança e confiança depositada na realização desse sonho.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me conduziu e sustentou com suas poderosas mãos e me deu forças para a realização deste grande sonho.

Aos meus pais, Maria Alexandra e Adriano Nóbrega, pela entrega, apoio, luta e perseverança para me oferecer a grandiosa riqueza dos estudos e realização profissional. À vocês que foram sempre muito presentes em todas as etapas da minha vida, não tenho palavras para agradecer. Amo vocês.

A minha irmã, Thays Medeiros e demais familiares por ficarem ao meu lado sempre me fortalecendo ao longo dessa jornada. Amo vocês.

A todos os professores e funcionários do Câmpus VIII da Universidade Estadual da Paraíba pelos valiosos ensinamentos, colaboração e contribuição para o meu aprendizado e crescimento profissional ao longo desses anos.

Em especial, ao meu professor orientador Daniel Baracuy da Cunha Campos, pela excelente orientação e ensinamentos que me proporcionou. Pela disponibilidade, paciência e dedicação para realização deste trabalho.

Ao Samuel Chagas, técnico do laboratório de materiais do canteiro de obras do Patos Shopping, pelo carinho e pela disponibilidade para me auxiliar na realização dos ensaios deste trabalho.

Aos meus amigos de graduação, em especial ao Jandeilson, José e Valdemar que compartilharam e dividiram comigo as lutas, alegrias vivenciadas ao longo do curso. A graduação me apresentou vocês como irmãos.

Um agradecimento bastante especial, ao meu namorado Allan Andrade, pela cumplicidade, paciência, apoio e carinho compartilhado durante a graduação. Te agradeço demais.

A minha amiga, Allany que me acolheu como família e me encorajou diversas vezes durante a graduação e compartilhou comigo muitas horas de estudo.

Aos meus amigos de infância, Carla, Sabrina, Diógenes e Danielle, que mesmo distantes torceram por mim e dividiram momentos bons e ruins vivenciados comigo ao longo desses anos.

## RESUMO

Argamassa são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais tipos de aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais. Os resíduos de vidros são materiais que são depositados incorretamente em lixões, terrenos abandonados, etc. Esses resíduos são materiais ricos em sílica ( $\text{SiO}_2$ ), cerca de 70% de sua composição, que possuem elevada atividade pozolânica, podendo assim substituir parte do agregado miúdo na formulação das argamassas. O objetivo do trabalho foi desenvolver formulações de argamassas com adição de vidro triturado, utilizando como ferramenta uma matriz de planejamento experimental do tipo  $2^{2+3}$  repetições no ponto central. A metodologia consistiu em triturar manualmente todo o vidro adquirido na cidade de Patos-PB, em seguida o mesmo foi caracterizado através de análise granulométrica, assim como a areia utilizada na formulação, seguindo a norma 7211/2009, ambos os procedimentos foram realizados no laboratório de materiais e geotecnia situado no campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba. Em seguida foram moldados corpos-de-prova padrão sem adição de vidro no laboratório de controle tecnológico do Patos Shopping, seguindo a NBR 7215/2009, que cita um traço de 1:3 e uma relação a/c de 0,48. Após a moldagem dos corpos de prova padrão foi formulado um planejamento experimental do tipo  $2^2$ , variando os percentuais de vidro entre 25% e 50% e o tempo e cura variando entre 3 e 21 dias. Assim foram moldados os corpos de prova com adição do vidro triturado e mantendo-os em cura úmida de acordo com os tempos de cura determinados. Depois de passado o tempo de cura, os mesmos foram rompidos em uma prensa hidráulica para avaliar a influência das variáveis independentes percentual de vidro e tempo de cura na variável dependente resistência à compressão. Os resultados da classificação granulométrica da areia e do vidro triturado caracterizaram ambos os materiais como agregado de granulometria grossa, devido ao módulo de finura ser maior que 3,30. O planejamento mostrou que o modelo de regressão não foi estatisticamente significativo, no entanto, através do diagrama de Pareto, foi possível verificar que a variável de maior influência no processo foi o percentual de vidro. A resistência a compressão atingiu valor de  $18,23 \pm 1,72$  MPa, para os corpos-de-prova com teor de 37,5% de vidro e na idade de cura de 12 dias. Sendo assim os resíduos de vidros podem ser aplicados em formulação de argamassa pois apresentaram ação benéfica no aspecto da resistência à compressão, e sua implantação no processo da construção civil traz vantagem ao meio ambiente.

**Palavras chaves:** Argamassas; Resíduo de vidro; Planejamento Experimental; Resistência a compressão.

## ABSTRACT

Mortar are building materials having properties of adhesion and hardness, obtained from the homogeneous mixture of one or more types of binder, fine aggregate and water, which may contain additives and mineral additions. The glass residues are materials that are deposited incorrectly in landfills, waste land, etc. These waste materials are rich in silica ( $\text{SiO}_2$ ), about 70% of its composition, which have high pozzolanic activity, and thus can substitute part of the fine aggregate in the formulation of mortars. The objective was to develop mortars formulations with addition of crushed glass, using as an experimental tool planning matrix of type 22 + 3 central points. The methodology consisted of manually grind the whole glass obtained in the city Patos-PB without it then was characterized by particle size analysis as well as the sand used in the formulation following the standard 7211/2209, both procedures were performed in the laboratory geotechnical materials located on campus VIII of the State University of Paraiba. Then were molded standard test piece bodies without adding glass technological control laboratory Ducks Shopping, following the standard 7215, which cites a trace of 1:3: and ratio w/c of 0.48. After standard specimens of molding an experimental design was made of type 22 by varying the glass percentage between 25% and 50%, and the curing time and ranging between 3 and 21 days. So they were molded test specimens with the addition of crushed glass and keeping them moist healing according to certain curing times. Once past the time of healing, the same were broken in a hydraulic press to evaluate the influence of the independent variables percentage of glass and curing time on the dependent variable compressive strength. The results of the granulometric classification of sand and ground glass materials characterized as both coarse aggregate, due to the fineness modulus is greater than 3.30. The planning showed that the regression model was not statistically significant, however, by the Pareto diagram, it was observed that the greatest influence in the process variable was the percentage of glass. The compressive strength value reached  $18.23 \pm 1.72$  MPa for the bodies of the test piece with a content of 37.5% of glass and at the age of 12 days of healing. Thus the glass waste can be applied in formulation mortar presented as beneficial effect on compressive strength aspect, and its implementation in the construction process brings advantage to the environment.

**Keywords:** mortars; glass waste; Experimental planning; Compressive Strength



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Composição do vidro .....	16
<b>Figura 2</b> – Série de peneiras normal .....	27
<b>Figura 3</b> – Peneiramento de areia.....	27
<b>Figura 4</b> – Trituração do vidro.....	28
<b>Figura 5</b> – Quarteamento do vidro.....	28
<b>Figura 6</b> – Molde cilíndrico de PVC.....	29
<b>Figura 7</b> – Corpos de prova de argamassa .....	29
<b>Figura 8</b> – Cura úmida dos corpos de prova .....	30
<b>Figura 9</b> – Corpos de prova na prensa hidráulica.....	31
<b>Figura 10</b> – Retífica .....	31
<b>Figura 11</b> - Diagrama de Pareto para interação percentual de vidro, tempo de cura na análise de resistência à compressão .....	37
<b>Figura 12</b> - Curva de nível com as variáveis independentes, tempo de cura e percentual de vidro .....	38

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Curva de distribuição granulométrica da areia .....	33
Gráfico 2 - Curva de distribuição granulométrica do vidro .....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Tipos de Cimento Portland .....	20
<b>Tabela 2</b> – Quantidade de materiais .....	29
<b>Tabela 3</b> – Matriz de planejamento experimental do tipo $2^2 + 3$ repetições no ponto central .....	30
<b>Tabela 4</b> – Resultados do ensaio granulométrico da areia .....	32
<b>Tabela 5</b> – Classificação do módulo de finura .....	33
<b>Tabela 6</b> – Resultados do ensaio granulométrico do vidro triturado .....	33
<b>Tabela 7</b> – Resultados do ensaio de resistência à compressão .....	35
<b>Tabela 8</b> – Resultados do ensaio de resistência à compressão de corpos de prova com vidro .....	35
<b>Tabela 9</b> - Análise de variância para o processo de resistência a compressão .....	36

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
NBR	Norma Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.0</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>3.0</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Vidros</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Propriedades dos vidros</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Argamassas</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Constituintes das Argamassas</b> .....	<b>20</b>
3.3.1.1	Cimento .....	20
3.3.1.2	Agregados .....	22
3.3.1.3	Aditivos .....	23
3.3.1.4	Água de amassamento .....	24
<b>3.4</b>	<b>Software STATISTICA</b> .....	<b>25</b>
<b>4.0</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Ensaio de Caracterização</b> .....	<b>27</b>
4.2.1.1	Ensaio de Análise Granulométrica da Areia .....	27
4.2.1.2	Ensaio de Análise Granulométrica do Vidro .....	28
4.2.1.3	Preparação das argamassas e moldagens dos corpos de prova .....	28
4.2.1.4	Ensaio de resistência à compressão .....	30
<b>5.0</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização Granulométrica</b> .....	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Resistência à compressão</b> .....	<b>34</b>
<b>6.0</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>40</b>

## 1.0 INTRODUÇÃO

Segundo Barros (2010), o Brasil produz aproximadamente 890 mil toneladas de recipientes e embalagens de vidro por ano, em que tem tendência a continuar crescendo a aplicação e produção desse material, no entanto, a reciclagem desse material só chega a 40% do consumo total. O vidro por ser um material com elevada massa específica e ser muito quebradiço, apresenta alto custo de transporte, sendo assim inviável a sua utilização como produto de reciclagem, acabando sendo depositado incorretamente em lixões tratando de um material não biodegradável.

Segundo Bauer et. al (1997), os vidros são compostos que possuem em torno de 70% de óxido de sílica o que pode lhe conferir com boas propriedades pozolânicas aos materiais cimentícios.

Metha e Monteiro (1994) definem pozolanas como substâncias constituídas de sílica e alumina, que em presença de água, combinam-se com o hidróxido de cálcio  $Ca(OH)_2$  e com os diferentes componentes do cimento, sendo capazes de formar compostos estáveis com propriedades aglomerantes e que contribuem para o aumento da trabalhabilidade da mistura, aumento da resistência e aumento da impermeabilidade. Dessa forma, ao se tornar menos permeável, sua durabilidade tende a aumentar.

Os vidros apresentam elevada durabilidade química apresentando-se com capacidade para compor materiais cimentícios como as argamassas e concretos. Sabendo que as argamassas e concretos são provenientes da mistura de cimentos com agregados de diferentes granulometrias que se concentram em quantidade muito superiores aos volumes de cimento e que são explorados dos recursos naturais.

O Brasil é um país com elevada abundância em recursos naturais como os agregados, algumas jazidas sofrem problemas ambientais graves consequentes da excessiva exploração, pois agredem os leitos dos rios aumentando a erosão e tornando o solo estéril sem crescimento de vegetação nesses ambientes explorados.

Nesse contexto, introduzir a sucata de vidro como agregado miúdo artificial nas argamassas seria dar destino nobre a esse resíduo, além disso, o procedimento de produção do agregado pode oferecer economia de energia muito maior quando comparado ao procedimento padrão para extração de agregado natural, uma vez que esse material não necessita de máquinas especiais para serem utilizadas no processo de trituração e separação por faixas granulométricas. Segundo Crensil et. al (2005) alguns exemplos de países

desenvolvidos que já utilizam o vidro moído na produção do concreto entre eles estão a Austrália e Estados Unidos.

Deste modo, o presente trabalho busca pesquisar e estudar de maneira desafiadora soluções técnicas que garantam viabilidade do vidro como agregado, e que garantam boas propriedades mecânicas e trabalhabilidade as argamassas e concretos trazendo benefícios e aplicações desse resíduo na engenharia.

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar as propriedades mecânicas de argamassas produzidas com a incorporação de vidro reciclado em diferentes percentuais, em substituição da areia como agregado miúdo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar a areia através da análise granulométrica;
- Caracterizar o vidro através da análise granulométrica;
- Moldar corpos de prova de argamassa com diferentes percentuais de vidro;
- Analisar a resistência à compressão de argamassas com auxílio de matriz de planejamento experimental 2<sup>2</sup>;

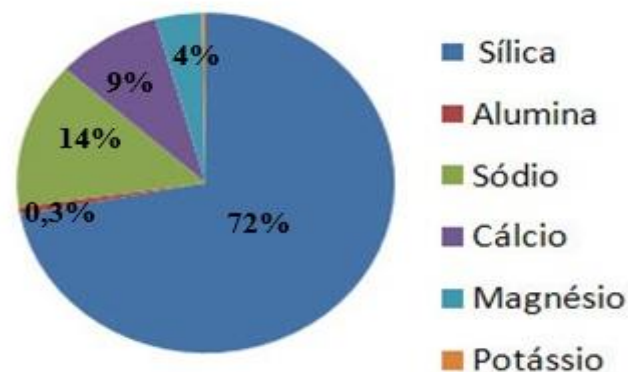
## **3.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Vidros**

Ambrozewics (2012) define o vidro como material amorfo, inorgânico e fisicamente homogêneo que é obtido a partir do resfriamento de massa em fusão submetida a elevada temperatura, endurecido pelo aumento contínuo da viscosidade atingindo a rigidez sem sofrer cristalização. Apresenta característica principal por ser moldável a uma determinada temperatura sem nenhuma degradação.

O vidro por apresentar como matéria prima principal o óxido de silício (sílica)  $\text{SiO}_2$ , em que essa matéria prima é muito abundante na natureza de fonte praticamente inesgotável, faz dele um material popular e de fácil aquisição.

Cada elemento constituinte na composição do vidro garante propriedades específicas e podem ser enquadradas em grupos diferentes de acordo com os tipos de vidros mais comuns no cotidiano. Entre eles estão os vidros de sílica, soda e cálcio, vidros de chumbo, vidros de borossilicatos, vidro de sílicas e aluminosilicatos. (Coelho, 2009). A composição química básica da maioria dos tipos de vidro é apresentada na Figura 1:



**Figura 1**– Composição do vidro

Fonte: Adaptado do Guia de Vidro (2016)

Segundo Coelho (2009), as principais etapas do processo de fabricação do vidro de maneira geral são: fusão dos insumos em que o vidro é submetido a forno de elevadas temperaturas, a moldagem da peça chamada de conformação em que o mesmo será levado ao procedimento de prensagem ou assopro, e em seguida, ao resfriamento. Todas as etapas necessitam de aporte elevado de energia, em média, 1,8 milhão de kcal de energia térmica o que equivale 200 kWh de energia elétrica.

Pinheiro (2007) afirma que o processo de produção do vidro não tem variação significativa de um tipo ao outro, e que são classificados basicamente em: Vidro recozido, vidro temperado, vidro laminado, vidro aramado e vidro composto.

Vidro recozido, que após a saída do forno e resfriamento não recebe nenhum tratamento térmico. Vidro temperado, que é submetido ao tratamento térmico, através do qual foram introduzidas tensões adequadas e que ao partir-se, desintegra-se em pequenos pedaços menos cortantes que o vidro recozido. Vidro laminado, composto de chapas de vidro, unidas por películas aderentes. Vidro aramado, formado por uma única chapa de vidro que contém no



seu interior fios metálicos incorporados à massa na fabricação. Vidro absorvente, absorver pelo menos 20% dos raios infravermelhos, reduzindo deste modo o calor transmitido através dele. Vidro composto, unidade pré-fabricada com duas ou mais chapas de vidro, e possui vazios entre chapas, contendo gás no interior gás desidratado, com a finalidade de isolamento térmico e acústico.

### **3.2 Propriedades dos vidros**

Os vidros apresentam propriedades físicas que o tornam bastante valorizados pela sociedade, pois apresenta dilatação térmica muito baixa, baixa condutividade elétrica, alta durabilidade e elevada resistência água, solventes e alguns ácidos com exceção dos fosfóricos e fluorídricos.

Segundo Barros (2010), quanto à elasticidade, os vidros têm comportamento elástico e são materiais frágeis já que se trata de material cerâmico.

No que diz respeito à resistência à compressão, o material pode apresentar resistência elevada cerca de 1000 MPa, e sua resistência a flexão é na ordem de 40 MPa para um vidro recozido polido e de 100 a 120 MPa para um vidro temperado. Essa resistência elevada pode oferecer benefícios à resistência das argamassas e concretos.

Barros (2010) ainda afirma que a resistência a tração do vidro pode apresentar valores na ordem de 3 a 7 MPa e podem variar de acordo com alguns fatores como por exemplo a umidade e temperatura, ou seja, a temperatura e a umidade são inversamente proporcionais a resistência à tração.

### **3.3 Argamassas**

Ambrozewicz (2012) define argamassa como sendo a mistura de agregados minerais, aglomerantes, água e aditivos, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

Segundo Carasek (2007), as argamassas podem ser classificadas de acordo com: à natureza dos aglomerantes (aérea e hidráulica), quanto ao tipo de aglomerante (cal, cimento, cimento e cal, gesso, cal e gesso), quanto ao número de aglomerantes (simples, mista), quanto à plasticidade (pobre, média e rica) e ainda quanto à densidade de massa da argamassa (leve, normal e pesada). Além disso, quanto à função nas aplicações podem ser classificadas como: argamassas de assentamento, revestimento (chapisco, emboço, reboco, camada única, revestimento decorativo monocamada), e ainda em argamassa de reparo.

As principais diferenças e funções desempenhadas nas argamassas de revestimento são: regularização das alvenarias, impermeabilização, proteção contra intempéries, acabamento e decoração. Entretanto, as argamassas de assentamento devem unir as unidades de alvenaria contribuindo nas resistências aos esforços, garantir estanqueidade as paredes à penetração de água e absorver as deformações. No caso das argamassas de reparo, tem funções de reconstituir geometricamente elementos estruturais em processo de recuperação (Carasek, 2007).

Segundo Dubaj, (2000) na classe das argamassas de revestimento, o chapisco consiste na camada de preparação da base devendo ser áspera e utilizar agregados com granulometria grossa para funcionar como suporte para o emboço, no entanto, a aderência é um dos requisitos essenciais em que é obtida pelo alto teor de cimento, pois favorece a penetração de partículas finas nos poros da base, aumentando a ancoragem.

Segundo Carasek (2007), o emboço é a camada executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, deve ser executado após três dias da aplicação do chapisco e sua principal função é evitar a penetração de água sem impedir a capilaridade de água da alvenaria à superfície exterior desta.

A camada de reboco constitui-se numa etapa para cobrimento do emboço, proporcionando superfície capaz de receber o revestimento decorativo. Outra possibilidade de revestimento é a camada única, também denominada de “reboco paulista” ou “massa única” é o tipo de revestimento mais comum, trata-se de um revestimento aplicado diretamente na base e após ele é feita aplicação de uma camada decorativa.

O revestimento decorativo monocamada chamado de RDM, como o próprio nome sugere, trata-se de um revestimento de única camada que tem função de regularização e decorativa. Esse tipo de argamassa não existe norma brasileira, e é mais utilizado na Europa, no qual a sua composição é variável e pode ter: cal hidratada, agregado de diversas formas, pigmentos, aditivos e cimento branco.(Carasek, 2007)

Todas essas camadas devem apresentar suporte aos esforços atuantes sem desagregações e durabilidade por longo tempo e estão condicionadas aos teores de aglomerantes, agregados e ainda as técnicas executivas aplicadas.

Segundo Veiga (2005), até meados do século XX, o conhecimento que se tinha sobre as exigências funcionais das argamassas de revestimento era mínimo, sendo os materiais utilizados mais porosos e deformáveis que os atuais, e a função de proteção e resistência era assegurados através da espessura aplicada nos revestimentos. As principais exigências

funcionais das argamassas, no estado fresco são: trabalhabilidade, consistência, plasticidade, aderência. No estado endurecido, as exigências primordiais a serem atendidas pelas argamassas são: resistência mecânica, retração e capacidade de absorver deformações.

Há muito tempo, pensava-se que a trabalhabilidade das argamassas era assegurada com muita adição de água na mistura e avaliava-se uma argamassa desse tipo como adequada para uso. Carasek (2007), afirma que a trabalhabilidade é resultado do conjunto de atuação de outras propriedades como consistência, plasticidade, aderência.

Carasek (2007) afirma que “a consistência é a maior ou menor facilidade da argamassa se deformar sob a ação de cargas.” É resultante da coesão, atrito interno e viscosidade, na qual a melhor forma dos agregados são aqueles com coeficiente de forma próximo a um, já a textura e granulometria dos grãos contribuem nessa propriedade. Plasticidade é definida como “propriedade que a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação”.

A resistência mecânica das argamassas está relacionada com a capacidade das mesmas em resistir aos esforços de compressão como no caso das argamassas de assentamento e aos esforços horizontais (flexão e cisalhamento) como os que ocorrem nas paredes. Tal propriedade tem influência no desempenho das mesmas.

Outra importante propriedade das argamassas é a retração, fenômeno esse que está relacionado com a modificação no volume. Essa propriedade garante o bom desempenho, estanqueidade e durabilidade das mesmas, sendo causada devido à perda de água e às reações de hidratação do cimento. Essa propriedade depende muito dos teores de cimento, água, condições de temperatura e cura utilizada na argamassa. Uma forma de correção da propriedade de retração é a produção de argamassa mista com a utilização de cal que tem propriedade de retenção de água, ou então realizar a aplicação de um aditivo que diminua a relação a/c, como nos casos de aditivos redutores.

Segundo Carasek (2007), as argamassas devem ser capazes de absorver as pequenas deformações que ocorrem, por exemplo, em função da ação da temperatura e umidade. Essa propriedade depende bastante do módulo de deformação, ou seja, quanto menor a relação a/c e o teor de cimento, maior será a capacidade de absorver.

### 3.3.1 Constituintes das Argamassas

Os materiais constituintes das argamassas desempenham contribuições importantes na qualidade e atendimento das exigências das mesmas, sendo eles: cimento, agregados minerais, água de amassamento e eventuais aditivos.

#### 3.3.1.1 Cimento

Ambrozewicz (2012) define o cimento Portland como “pó fino com propriedades aglomerantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, permanece estável, mesmo que submetido à ação da água e, por esta razão, é considerado um aglomerante hidráulico”.

Segundo Dubaj (2000), seu uso distingue-se da cal hidratada devido à pega ocorrer mais rapidamente e devido sua contribuição com o aumento na resistência mecânica e na resistência à aderência. No entanto, estas propriedades são influenciadas pelo tipo de cimento, idade de cura e quantidade de água adicionada à pasta, teor de finura, e ainda, da existência ou não de impurezas e matérias orgânicas presente na mesma. Nas argamassas de revestimento, o cimento tem função de promover a coesão dos agregados no estado fresco da mistura.

Ambrozewics (2012) cita as classificações dos cimentos conforme a composição e as adições feitas em sua produção. Os cimentos são seguidos de algarismos romanos de I a V conforme o tipo de cimento, sendo a classe expressa por números (25,32 e 40) que é a resistência à compressão depois de 28 dias de cura, conforme as seguintes classificações da Tabela 1:

Tabela 1: Tipos de Cimentos Portland

<b>- Cimento Portland Comum (CP I):</b>	É produzido sem nenhuma adição além do gesso, que é utilizado para regularizar a pega.
<b>- Cimento Portland Comum (CP I S):</b>	Cimento com adição de no máximo 5% de adição de material pozolânico;
<b>- Cimento Portland Composto (CP II E):</b>	Usado quando há necessidade de que as estruturas tenham um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacados por sulfatos. O CP II-E é constituído de 94% à 66% de clínquer e gesso e de 6% à

---

	34% de escória granulada de alto forno.
<b>-Cimento Portland Composto (CP II F):</b>	Usado no preparo de argamassas de assentamento, argamassas de revestimento, estruturas de concreto armado, solo-cimento, pisos e pavimentos de concreto, etc. Este tipo de cimento é um composto constituído de 90% à 94% de clínquer e gesso e de 6% a 10% de material carbonático ou filer.
<b>-Cimento Portland Composto (CP II Z):</b>	Utilizado em obras marítimas, industriais e subterrâneas por conter de 6% a 14% de pozolana garantindo uma maior impermeabilidade e durabilidade ao concreto produzido com este tipo de cimento. Muito aplicado em argamassas de assentamento e revestimento e ainda em estruturas de concreto.
<b>-Cimento Portland de Alto Forno (CP III):</b>	Contém adição de 35% a 70% de escória em sua composição o que lhe confere maior impermeabilidade e durabilidade, resistência a sulfatos e à expansão além de baixo calor de hidratação. Utilizado em obras de grande porte e alta agressividade.
<b>- Cimento Portland Pozolânico (CP IV):</b>	É constituído de 15% a 50% de material pozolânico por isso é conhecido como Cimento Portland Pozolânico. O concreto produzido com este cimento, em relação ao concreto feito com Cimento Portland Comum, apresenta maior impermeabilidade, maior durabilidade e maior resistência mecânica à compressão à longo prazo. É geralmente utilizado para grandes volumes de concreto devido ao baixo calor de hidratação e em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos devido a sua baixa porosidade.

---

---

<b>- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP – ARI)</b>	Não contém adições em sua composição e difere do CP I, seu processo de dosagem e produção do clínquer e ter grãos mais finos e maior teor de silicato tricálcio, sua resistência é maior nas primeiras idades.
<b>- Cimento Portland Branco:</b>	É obtido por meio de matérias primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, além de condições especiais de fabricação na etapa de resfriamento e moagem. O Cimento branco estrutural aplicado em estruturas com fins arquitetônicos e o cimento não estrutural em rejuntamento de pisos e azulejos.

---

Fonte: Adaptado de Ambrozewics (2012)

De acordo com Dubaj (2000) no que diz respeito à finura dos cimentos, quando se deseja obter argamassas mais trabalháveis maiores devem ser os teores de finos, no entanto, essa escolha influencia na retenção de água das mesmas e que por sua vez, influencia na retração da argamassa. Por isso, muitos estudiosos recomendam que para idades superiores a 24 horas adiciona-se a cal hidratada para aumentar a retenção de água. A finura dos cimentos está intimamente ligada com a reatividade e com a velocidade das reações químicas que ocorrem durante o processo de endurecimento.

### 3.3.1.2 Agregados

A NBR 7211 (ABNT, 2009) classifica como agregado miúdo as areias de origem natural ou resultantes do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos 85% dos grãos passam na peneira 4,8 mm e 15% ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm. Os agregados constituintes das argamassas exercem influência direta nas propriedades do revestimento, tais como: retração, aderência, trabalhabilidade.

De acordo com Dubaj (2000), os agregados miúdos desempenham papel importante na redução do teor de aglomerantes, conseqüentemente na diminuição de custos, pois permitem preencher os vazios e oferecer benefícios as argamassas tanto no estado endurecido quanto no

estado fresco. Além disso, as adições de agregados miúdo às argamassas aumentam a resistência aos esforços de compressão e favorecem a diminuição da retração nas argamassas.

É importante que as granulometrias dos agregados constituintes da pasta sejam bastante controladas, pois essa característica influencia diretamente na retração, trabalhabilidade, resistência à compressão e até a resistência à aderência da mesma. Para os casos de argamassas com teores elevados de cimento e cal, o teor de areia de granulometria fina deve ser balanceado, pois, teores elevados de finos nos traços aumentam a trabalhabilidade e plasticidade e demandam mais água à pasta.

Segundo Bauer et., al (1997), afirmam no que diz respeito à aderência da pasta ao substrato, ao contrário da retração, que o módulo de finura da areia sendo o quanto menor, pior será a aderência. Por isso, quanto maior o módulo de finura das areias, maior será a resistência de aderência e à compressão obtida, no entanto, nesse aspecto a trabalhabilidade das argamassas são influenciadas de maneira negativa devido à dificuldade de rolamento dos grãos na mistura. Dessa maneira, as granulometrias mais grossas são ideais na aplicação de argamassas de assentamento.

Bauer et., al (1997) afirmam que a forma dos grãos tem efeito importante no que se refere à compacidade, trabalhabilidade das argamassas e o atrito interno. A trabalhabilidade é dificultada quando o teor dos grãos de areia angulosos que compõem as argamassas é alto, porém a resistência à aderência da pasta é maior e proporcionam superfícies ásperas, por isso são indicadas para aplicações de argamassas em chapisco e emboços. Ao contrário dos grãos angulosos, os grãos arredondados contribuem para melhor trabalhabilidade às argamassas e compacidade da mesma.

Através do módulo de finura dos agregados é possível atribuir aplicações diferentes nas argamassas, os grãos de areias maiores podem ser aplicados quando se tem finalidade de argamassas de chapiscos e de assentamentos, e nos casos de grãos de areias médias nos emboços e os grãos finos em rebocos.

### **3.3.1.3 Aditivos**

Ambrozewicz (2012) afirma que os aditivos são substâncias químicas utilizadas nas argamassas como alternativas a fim de melhorar e alterar suas características em particular no estado fresco ou endurecido. No geral, os aditivos promovem: melhora da trabalhabilidade (ex: plastificantes redutores que diminuem a relação a/c para a mesma plasticidade) aceleração ou diminuição do tempo de pega (aceleradores ou retardadores de pega), controle do

desenvolvimento de resistência, e melhora da resistência à ação do ciclo gelo-degelo (incorporadores de ar), à fissuração térmica, entre outros.

Os aditivos incorporadores de ar são aditivos tensoativos que reduzem a tensão superficial da água e adicionam ar à pasta e podem tornar as argamassas mais coesivas, mais permeáveis e aumentam a trabalhabilidade, no entanto, a única desvantagem é que diminuem a resistência mecânica. Por isso, nas argamassas que desempenham função estrutural não são utilizados aditivos incorporadores de ar (DUBAJ, 2000).

Outra modalidade de aditivos que são muito comuns na aplicação das argamassas são os hidrofugantes, pois têm a função de reduzir a taxa de penetração de água por absorção capilar, porém não previnem a penetração de água. Segundo Ramachandran (1984, *apud* POSSER, 2004) o princípio de funcionamento ocorre com reações do aditivo com o hidróxido de cálcio que produz estearato de cálcio insolúvel que reveste a superfície do poro e tornam a superfície do revestimento hidrófobo.

#### **3.3.1.4 Água de amassamento**

A hipótese que afirma que se “a água é boa para beber também será boa para uso na fabricação do concreto” deve ser analisada, pois nem sempre esse fato é verdade. A presença de pequenas quantidades de açúcar e de citratos não tornam a água imprópria para o consumo, porém pode torná-la insatisfatório como água de amassamento. A NBR 6118:2014 e NBR 12655:2006 definem teores máximos de cloretos, matéria orgânica, sulfatos, açúcar e resíduos sólidos.

Vale ressaltar que a quantidade de água utilizada nas argamassas deve ser suficiente de maneira a hidratar o ligante, garantir a boa trabalhabilidade, plasticidade e aderência da mesma. Deve-se levar em conta, assim como no concreto, que quanto maior a quantidade de água utilizada nas argamassas, menor será a resistência mecânica devido ao aumento na retração e consequentemente aparecimento de fissura.

Se o teor de fino da areia utilizada na argamassa for elevado e o teor de ligante for alto a demanda por água aumentará, sendo de fundamental importância o controle da água utilizada. O excesso torna a argamassa mais porosa, diminui a resistência como também utilizar quantidade insuficiente torna a mistura imperfeita (DUBAJ, 2000).

Segundo Neville (1982), as argamassas assim como nos concretos necessitam da etapa de cura para promover a hidratação do cimento e controle da temperatura, e dessa forma controlar a retração e evitar problemas imediatos como o surgimento de fissuras.



Silva et al., (2009) ressalta a importância de cura úmida nas argamassas de revestimento, principalmente em locais de ação intensiva de ventilação e/ou insolação, pois nesses locais tem-se rápida evaporação de água durante o endurecimento. Nas camadas de chapisco, a cura úmida pode ainda melhorar a aderência entre a argamassa e o substrato

### **3.4 Software STATISTICA**

O software STATISTICA é definido como:

Programa integrado para gerenciar análise estatística e bases de dados, caracterizando uma ampla seleção do processo analítico, do básico ao avançado, para as mais diversas áreas – Ciências Biomédicas, Biológicas, Engenharias, Ciências Sociais, Agrárias - permitindo a realização de Data Mining. (PACHECO E OGLIARI, 2011, p.3)

A falta de planejamento muitas vezes é a causa do insucesso de muitas pesquisas, no entanto, raros são os pesquisadores que pensam em estatística antes de realizar seus experimentos. Para isto é preciso um conjunto de observações e o planejamento de experimentos é então essencial para indicar o esquema sob o qual as formulações possam ser verificadas. O programa STATISTICA é uma ferramenta poderosa quando se deseja planejar e avaliar experimentos diversos.

O software fornece um gráfico denominado por Diagrama de Pareto, que apresenta técnicas para auxiliar na tomada de decisões de um determinado problema e é bastante utilizado quando se deseja priorizar ações, determinar causas que atuam em um problema. O princípio do diagrama confirma que os itens significativos de um grupo representam pequena proporção do total de itens desse grupo.

Outra técnica estatística e matemática útil na avaliação e otimização dos processos é denominada por superfície de resposta e tem aplicações importantes em planejamentos, desenvolvimento e formulação de novos produtos, e ainda melhoria dos projetos e produtos existentes. Através do STATISTICA, é possível estabelecer matrizes de planejamentos fatoriais, metodologia de superfície de resposta e análise de variância.

Matriz de planejamento experimental é uma matriz indicada quando há necessidade de se definir os fatores mais importantes e estudar os efeitos sobre as variáveis de resposta escolhida. Para estudar o efeito do fator sobre a resposta é preciso fazê-lo variar e observar o resultado dessa variação. Isso obviamente implica na realização de ensaios em pelo menos

dois níveis desse fator. Um planejamento em que todas as variáveis são estudadas em apenas dois níveis é, portanto, o mais simples de todos eles. Havendo k fatores, isto é, k variáveis controladas pelo experimentador, o planejamento de dois níveis irá requerer a realização de  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  ensaios diferentes, sendo chamado por isso de planejamento fatorial  $2^k$ . (PACHECO E OGLIARI, 2011)

## **4.0 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para se obter uma avaliação completa do estudo foram realizados diversos ensaios no Laboratório de Materiais e Geotecnia da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) campus VIII Araruna – PB, entretanto, a etapa de moldagem, procedimentos de cura e ruptura dos corpos de prova foram realizados no Laboratório de Controle Tecnológico do canteiro de obras do Patos Shopping na cidade de Patos – PB.

### **4.1 Materiais**

Os materiais utilizados nesse trabalho foram:

- Areia proveniente do canteiro de obras do Patos Shopping;
- Vidro de espessura  $e = 3\text{mm}$  proveniente de vidraçarias na cidade Patos - PB;
- Cimento Portland Elizabeth CPII - Z adquirido do canteiro de obras do Patos Shopping;
- Balança analítica de precisão 0,01g;
- Peneiras da série normal nº 4, 8, 16, 30, 50, 100, tampas e fundo;
- Moldes cilíndricos confeccionados com PVC na dimensão 5x10;
- Betoneira de 400l;
- Haste metálica de diâmetro de 25mm;
- Prensa hidráulica do laboratório do canteiro de obras do Patos Shopping;
- Retífica pneumática do laboratório do canteiro de obras do Patos Shopping;

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Ensaios de Caracterização

#### 4.2.1.1 Ensaio de Análise Granulométrica da Areia

A caracterização granulométrica da areia em estudo foi realizada com embasamento teórico e fundamentada na NBR 7211:2009 no laboratório de materiais e geotecnia do campus VIII - UEPB, no qual foi possível obter a curva granulométrica, diâmetro máximo característico, módulo de finura e enfim classificar a areia. Antes da realização deste ensaio a amostra foi colocada em estufa a temperatura aproximada de 105°C até obter constância em massa, após esse procedimento foi realizado o quarteamento da mesma com objetivo de homogeneização da amostra.

Inicialmente foram selecionados aproximadamente 1000,00g de areia, nos quais foram peneiradas na série de peneira normal de abertura de malha # n° 4 com auxílio do agitador de peneiras da marca Lucadema conforme a Figura 2, até obter o máximo possível de material passante na peneira, em seguida pesou-se com aproximação em 0,01g a quantidade de material retida para a respectiva peneira. Procedeu-se assim por diante para as demais peneiras de # n° (4, 8, 16, 30, 50, 100 e fundo) conforme determina a NBR 7211:2009. A Figura 3 apresenta a areia sendo utilizada no peneiramento, em que o procedimento foi realizado com muito cuidado para evitar perdas de amostra durante peneiramento.



**Figura 2** – Série de peneiras normal



**Figura 3** - Peneiramento de areia

#### 4.2.1.2 Ensaio de Análise Granulométrica do Vidro

Inicialmente, o vidro colhido de vidraçarias comerciais foi triturado manualmente conforme Figura 4, com auxílio de haste metálica através de golpes no material até obter grãos de tamanhos menores e com formas semelhantes aos agregados miúdos, peneirados e pesados, em seguida armazenados. A quantidade necessária para realizar todos os ensaios e moldagens dos corpos de prova com o vidro triturado foi de aproximadamente 10,00 kg.

A caracterização granulométrica do vidro procedeu-se do mesmo modo da areia, regulamentada na NBR 7211:2009, na qual o material inicialmente foi submetido ao quarteamento, no entanto, devido o fato dos agregados de vidro moído serem artificiais e estarem no estado seco, não foi necessário levar o material à estufa.

Após o quarteamento da amostra, foram pesados na balança aproximadamente 1000,00g de vidro moído conforme Figura 5, em seguida, peneirados na série normal de peneiras e anotando-se as porcentagens retidas de cada peneira, de maneira cuidadosa para diminuir perdas de amostra durante o procedimento de ensaio.



**Figura 4** – Trituração do vidro



**Figura 5** – Quarteamento do vidro

#### 4.2.1.3 Preparação das argamassas e moldagens dos corpos de prova

Após a classificação granulométrica da areia e do vidro em estudo, procedeu-se a preparação das argamassas no traço estabelecido de 1:3 com relação a/c de 0,48 de acordo com a NBR 7215:2009, conforme Tabela 2 abaixo. Para o estudo foram realizados a moldagem de corpos de provas padrão, ou seja, com a utilização da areia como agregado miúdo e ainda corpos de prova com substituições parciais de teores de 25%, 37,5% e 50% de

vidro. Todas as análises foram feitas em triplicatas para garantir maior aproximação dos valores dos resultados no estudo, e em moldes de 50 mm x 100 mm de canos de PVC.

**Tabela 2:** Quantidade de materiais

<b>Material</b>	<b>Quantidade (g)</b>
<b>Cimento</b>	624
<b>Areia normal fração grossa (1,2mm)</b>	468
<b>Areia normal fração média grossa (0,6 mm)</b>	468
<b>Areia normal fração média fina (0,30 mm)</b>	468
<b>Areia normal fina (0,15 mm)</b>	468
<b>Água</b>	300

Fonte: ABNT 7215 (2009)

Na preparação da mistura, inicialmente, foram colocados água e cimento na betoneira de eixo inclinado e em seguida as frações de areia normal, em seguida procedeu-se as rotações do material na betoneira por aproximadamente 1 min e 30 s até obter uma boa mistura.

Após a preparação das argamassas, procedeu-se a moldagem dos corpos de prova padrão e de teores de vidro variados para as respectivas idades de 3 dias, 12 dias e 21 dias. Na qual em cada molde foram aplicadas quantidades de argamassas em 4 camadas uniformes, adensando-as em 30 golpes cada camada conforme regulamenta a NBR 13279:2005. Nos moldes de PVC conforme mostra Figura 6 foram aplicadas finas camadas de óleo mineral utilizado como desmoldantes para facilitar a retirada dos corpos de prova dos moldes.



**Figura 6** – Molde cilíndrico de PVC



**Figura 7** – Corpos de prova de argamassa

Após o procedimento de moldagem, os corpos de prova foram nomeados, e desmoldados após o período de 24 horas, em seguida os mesmos foram postos em cura

submersa com água saturada de cal, conforme Figura 8, sendo retirados no período de cura estimado, para assim fossem passados pelo processo de ruptura.



**Figura 8** – Cura úmida dos corpos de prova

Para o estudo das propriedades mecânicas dos corpos de prova foi realizado um planejamento fatorial do tipo  $2^2$  com 3 repetições no ponto central totalizando 7 ensaios, conforme Tabela 3.

**Tabela 3:** Matriz do planejamento experimental do tipo  $2^2 + 3$  repetições no ponto central

<b>Experimentos</b>	<b>Percentual de Vidro (P)</b>	<b>Cura (C)</b>
<b>1</b>	(-1) 25%	(-1) 3
<b>2</b>	(+1) 50%	(-1) 3
<b>3</b>	(-1) 25%	(+1) 21
<b>4</b>	(+1) 50%	(+1) 21
<b>5</b>	(0) 37,5%	(0) 12
<b>6</b>	(0) 37,5%	(0) 12
<b>7</b>	(0) 37,5 %	(0) 12

#### 4.2.1.4. Ensaio de resistência à compressão

Para os estudos foram realizados planejamentos experimentais fatoriais. Foram realizadas variações nos percentuais de vidro e tempo de cura mantendo o traço de 1:3 para a análise da resistência à compressão. Os dados experimentais foram analisados a partir de regressão linear utilizando o programa STATISTICA™ 7.0.

Os corpos de prova de argamassa foram rompidos nas idades de 3, 12 e 21 dias de cura, na prensa hidráulica do Laboratório de Materiais do canteiro de obras do Patos Shopping apresentada na Figura 9, baseados na NBR 7215:1996. Antes da realização do rompimento, os corpos de prova foram capeados nos topos e bases com a retífica pneumática para regularizar a superfície evitando resultados incoerentes conforme Figura 10.



**Figura 9** – Corpos de prova na prensa hidráulica



**Figura 10** – Retífica

## **5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Caracterização Granulométrica**

Através dos ensaios granulométricos realizados baseados na NBR 7211:2009 tanto para as areias quanto para os vidros foram possíveis determinar o módulo de finura, diâmetro máximo característico, a curva granulométrica, além disso, compreender e enquadrar tais características dentro das exigências das argamassas.

Inicialmente, a classificação granulométrica da areia foi obtida por meio dos dados expressos na Tabela 4. Foi determinado o módulo de finura da areia, que foi calculado a partir da soma da percentagem retida acumulada nas peneiras da série normal dividida por 100, no qual o valor obtido para a areia foi de 3,57. A partir dos dados da Tabela 4 já é possível prever qual característica granulométrica é o agregado.

**Tabela 4:** Resultados do ensaio granulométrico da areia

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Acumulada</b>
4,75	23,00	2,337	2,337
2,36	40,80	4,146	6,483
1,18	119,93	12,187	18,670
0,6	179,82	18,273	36,943
0,3	565,37	57,451	94,394
0,15	38,53	3,915	98,309
0,075	15,64	1,589	99,898
Fundo	1,00	0,102	100,000

O agregado é classificado quanto ao módulo de finura (MF) e é determinada conforme Tabela 5.

**Tabela 5:** Classificação do módulo de finura

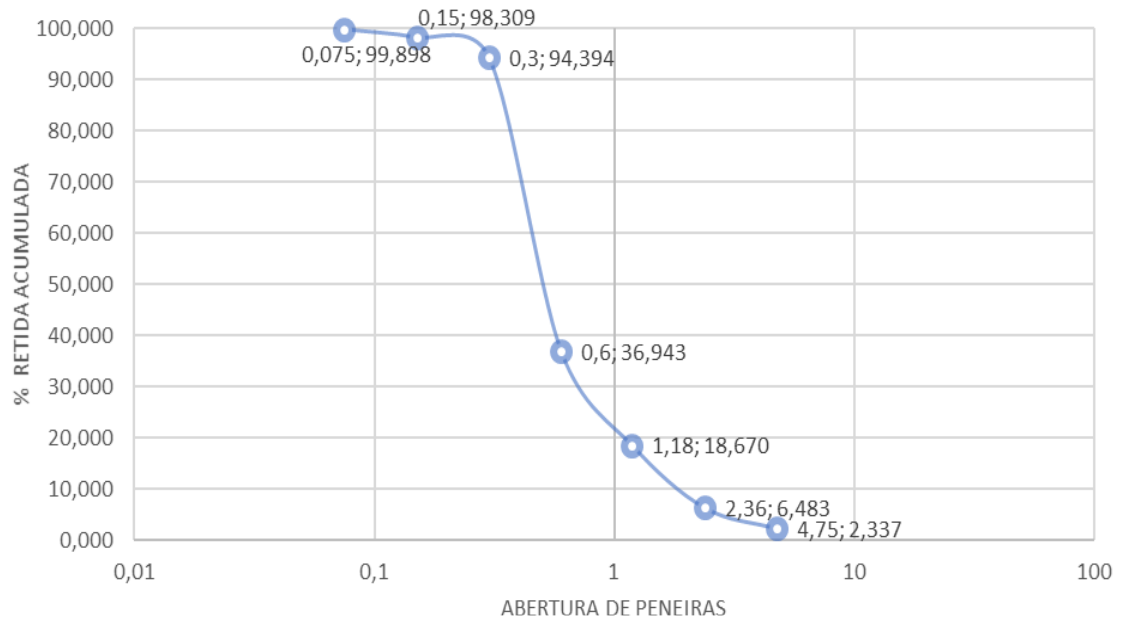
<b>Granulometria</b>	<b>Módulo de Finura</b>
Muito Grossa	$MF > 3,90$
Grossa	$3,30 < MF < 3,90$
Média	$2,40 < MF < 3,30$
Finas	$MF < 2,40$

Fonte: Ambrozewics (2012)

Portanto, de acordo com a classe de definição do módulo de finura da Tabela 5, a areia do estudo caracterizou-se como agregado miúdo de granulometria grossa. Foi determinado também o diâmetro máximo característico que está definido como a malha da peneira na qual fica retido o percentual acumulado igual o imediatamente inferior a 5%. A partir da Tabela 4, verifica-se que o diâmetro máximo característico da areia é 4,75 mm.

A curva granulométrica do agregado miúdo foi determinada levando em consideração os dados das porcentagens retidas acumuladas e a abertura das peneiras mostradas na Tabela 4, conforme mostrado no gráfico 1.



**Gráfico 1:** Curva de distribuição granulométrica da areia

A curva granulométrica observada no Gráfico 1 mostrou uma curva não tanto favorável em que a granulometria da areia apresentou-se não muito contínua. De maneira geral, as curvas mais favoráveis para concretos e argamassas são aquelas que não apresentam faltas ou excessos de grãos de alguns tamanhos.

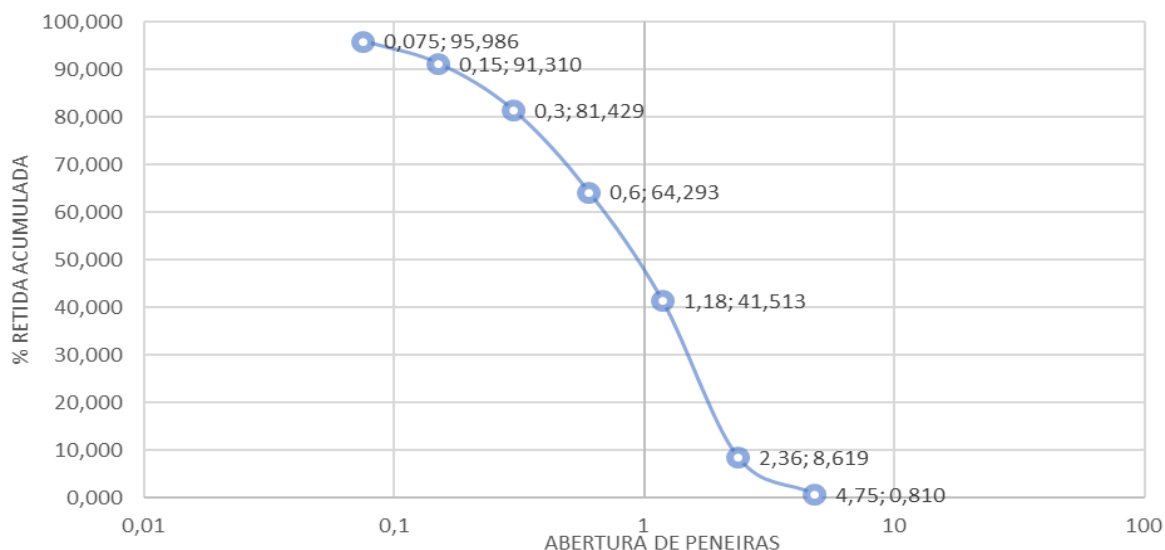
Na análise granulométrica do vidro triturado foram realizadas as mesmas verificações como no caso das areias. A Tabela 6 apresentou os parâmetros para desenvolver o módulo de finura, curva granulométrica e dimensão máxima característica. O módulo de finura do vidro triturado corresponde a 3,84, como de acordo com a Tabela 6 classificando-se em um agregado miúdo de granulometria grossa.

**Tabela 6:** Resultados do ensaio granulométrico do vidro triturado

Peneira (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,75	8,08	0,810	0,810
2,36	77,93	7,810	8,619
1,18	328,24	32,894	41,513
0,6	227,32	22,780	64,293
0,3	170,99	17,135	81,429
0,15	98,6	9,881	91,310
0,075	46,67	4,677	95,986
Fundo	40,05	4,014	100,000

O diâmetro máximo característico do agregado proposto também foi de 4,75 mm. A partir dos resultados plotamos a curva granulométrica do vidro conforme mostra o Gráfico 2.

**Gráfico 2:** Curva de distribuição granulométrica do vidro



Conforme analisado nos dados do Gráfico 2 e Tabela 6, a curva granulométrica do vidro triturado apresentou-se contínua quando comparada com a das areias. Foi verificado que as areias e vidros apresentaram granulometria grossas e módulo de finura com valores aproximados, no entanto, no que diz respeito a curva granulométrica dos grãos do vidro mostrou que o mesmo está bem mais graduado. Esse fato pode favorecer sua aplicação às argamassas conferindo-lhes maior trabalhabilidade.

Os grãos do vidro com essa granulometria contribuem para o aumento da resistência à aderência, à compressão, impermeabilidade e constituir as argamassas de assentamento.

Uma proposta prática que busca melhorar a composição granulométrica e possivelmente reduzir o custo final das argamassas é a combinação de duas ou até mais granulometrias de agregados, essa técnica pode ser colocada em prática e otimizada com os grãos de vidro triturado e areias naturais.

## 5.2 Resistência à compressão

A partir dos ensaios de resistência à compressão conforme NBR 7215:1996 nas idades de cura estabelecidas na matriz de planejamento experimental citado na Tabela 7, foi possível

determinar as resistências dos corpos de prova de argamassas padrão com nenhum teor de vidro como agregado miúdo adicionado à mistura.

**Tabela 7:** Resultados do ensaio de resistência à compressão

<b>Experimentos</b>	<b>Percentual de Vidro (P)</b>	<b>Cura (C)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<b>1</b>	0%	3	8,69 ± 0,96
<b>2</b>	0%	12	12,86 ± 1,18
<b>3</b>	0%	21	15,32 ± 1,23

Em seguida, para obter o estudo comparativo e fazer a verificação se as propriedades do vidro como agregado miúdo na análise da resistência à compressão, foram rompidos os corpos de prova de argamassa nos teores e idades de cura conforme estabelecido na Tabela 8.

**Tabela 8:** Resultados do ensaio de resistência à compressão de corpos de prova com vidro

<b>Experimentos</b>	<b>Percentual de Vidro (P)</b>	<b>Cura (C)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<b>1</b>	(-1) 25%	(-1) 3	5,34 ± 0,58
<b>2</b>	(+1) 50%	(-1) 3	9,64 ± 0,74
<b>3</b>	(-1) 25%	(+1) 21	5,59 ± 0,62
<b>4</b>	(+1) 50%	(+1) 21	13,24 ± 1,12
<b>5</b>	(0) 37,5%	(0) 12	16,88 ± 1,54
<b>6</b>	(0) 37,5%	(0) 12	17,73 ± 1,69
<b>7</b>	(0) 37,5 %	(0) 12	18,23 ± 1,72

Conforme os resultados presentes na Tabela 8, a maior resistência à compressão verificada foi no experimento 7, em que atingiu 18,23 MPa para idade de cura de 12 dias e com percentual de vidro de 37,5% incorporado na argamassa caracterizando-se, portanto, o melhor teor para o estudo.

Além da resistência a compressão, pode-se observar também que o corpo de prova com teor de argamassa de 37,5% apresentou um aspecto estético e textura bastante aceitável sem poros e pequenas fissuras na peça, e ainda no estado fresco a argamassa apresentou

melhor trabalhabilidade e homogeneidade. Nessas condições, os resultados comprovam a mistura com tais características favorece a aplicação.

Os corpos de prova para os teores de 25% mesmo com idade de cura de até 21 dias não obtiveram resistência elevada conforme verificado na Tabela 8, mostrando que a variável tempo de cura praticamente não influenciou no processo.

Segundo Sassi *et al.*, (2011) deve-se realizar a análise de variância para o processo de resistência à compressão a fim de obter comparação entre os modelos e avaliar a significância da regressão, a Tabela 9 apresenta a análise de variância para o modelo completo.

**Tabela 9:** Análise de variância para o processo de resistência a compressão

<b>Fonte de variação</b>	<b>G.L</b>	<b>Soma quadrática</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>F<sub>cal</sub></b>	<b>F<sub>tab</sub></b>	<b>F</b>
Regressão	3,0000	42,2119	14,07063	0,291527	9,27	0,03144
Resíduo	3,0000	144,7960	48,26534			
Falta de ajuste	1,0000	143,8643	143,8643			
Erro puro	2,0000	0,9317	0,465833			
Total	3,0000	187,0079	14,07063			

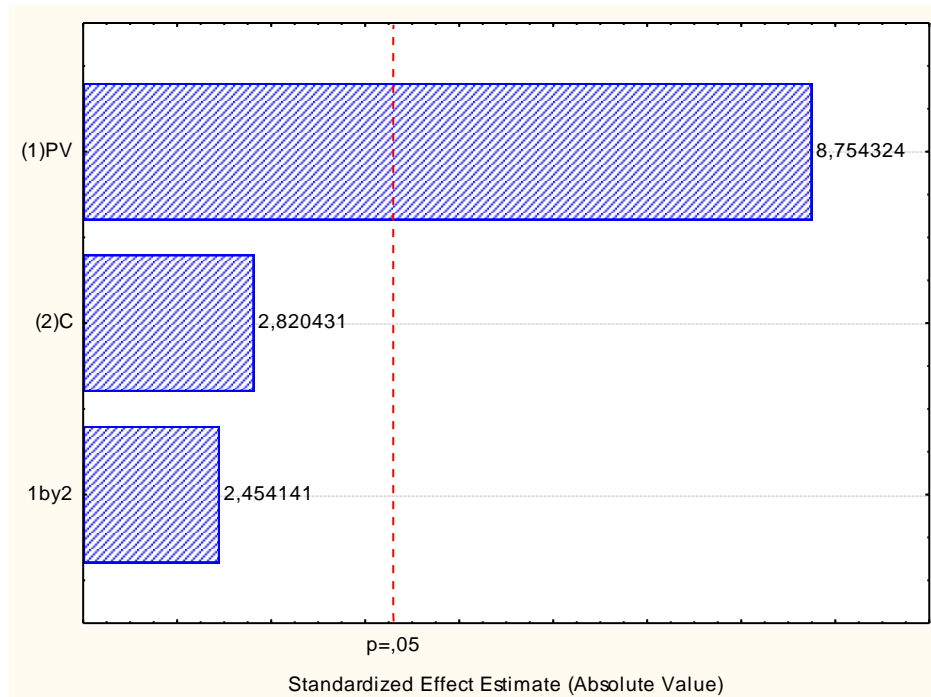
O teste F apresenta a razão entre o F calculado e o F tabelado, sempre que esta relação for maior que um a regressão é estatisticamente significativa, havendo relação entre as variáveis independentes e dependentes. Para que uma regressão seja não apenas estatisticamente significativa, mas também útil para fins preditivos, o valor da razão deve ser no mínimo maior que quatro (Barros Neto et al., 1996).

O coeficiente de determinação ou explicação  $R^2$  quantifica a qualidade do ajustamento, pois fornece uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em relação à variação total das respostas. Varia de 0 a 100% (Rodrigues & Iemma, 2005).

Neste caso, o modelo dos dados apresentados na Tabela 9 tem 22,57% das variações obtidas explicadas pelo modelo e com um valor da razão  $F_{\text{calculado}}$  e  $F_{\text{tabelado}}$  de 0,031448, indicando que o modelo não é estatisticamente significativo, ou seja, caso o modelo fosse gerado apresentaria baixa explicação do comportamento de dados por equação matemática.

As análises estatísticas a um nível de significância de 5% mostraram que o traço, tempo de cura e a porcentagem de vidro adicionado ao traço, assim como a interação entre ambos são significativos, conforme apresenta o Diagrama de Pareto, presente na Figura 11.

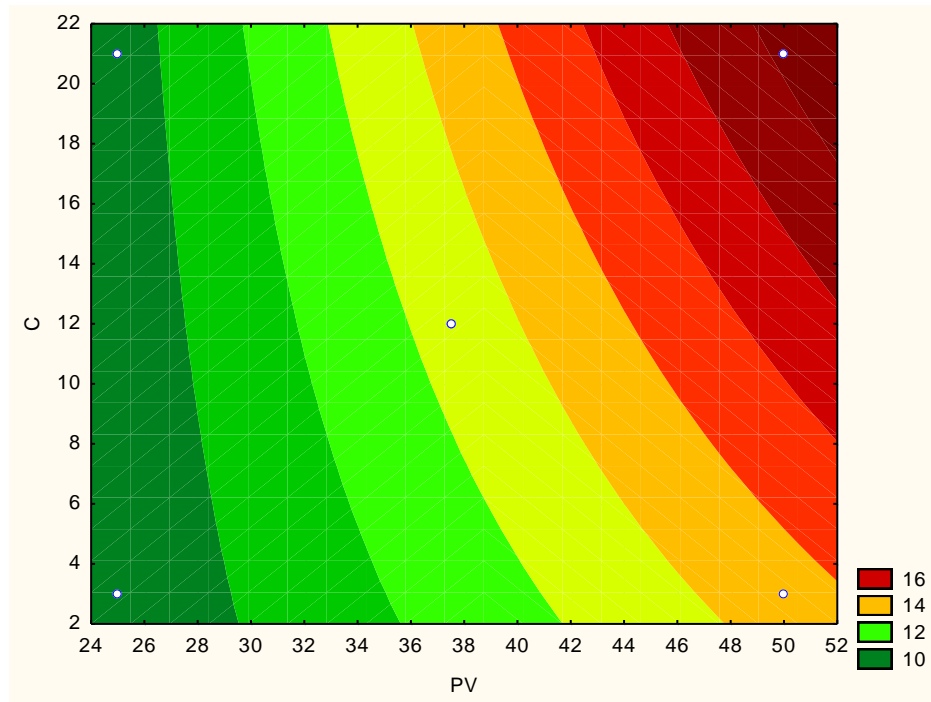
**Figura 11:** Diagrama de Pareto para interação percentual de vidro, tempo de cura na análise de resistência à compressão.



De acordo com o diagrama de Pareto mostrado na Figura 11, verifica-se que a variável de maior influência é o percentual de vidro. A variável tempo de cura não apresentou influência estatística, assim como a interação percentual de vidro e tempo de cura, ou seja, a partir do diagrama de Pareto verifica-se que quando aumentamos o percentual de vidro a resistência compressão aumenta.

Avaliamos uma curva de nível para a variável dependente resistência à compressão conforme Figura 12.

**Figura 12:** Curva de nível com as variáveis independentes, tempo de cura e percentual de vidro



Através da curva de nível apresentada na Figura 12, pode-se analisar e assim gerar uma nova matriz experimental para trabalhos futuros, verificando que a região em vermelho apresentou uma maior resistência a compressão, concluindo que para trabalhos futuros deve-se trabalhar com percentuais de vidro variando entre 42% e 52% de vidro e tempo de cura variando entre 12 e 22 dias.

## 6.0 CONCLUSÕES

Concluimos que a destinação de resíduos de vidro na aplicação como agregados nas argamassas tem potencial para garantir a redução da exploração dos recursos naturais, no caso, das areias que são muito utilizadas na construção civil. Recomenda-se avaliar em estudos futuros, a viabilidade econômica do processo implantação.

Verificou-se a partir dos resultados, que o vidro triturado obteve boa distribuição granulométrica e apresentou granulometria grossa nos quais esse tamanho de grãos, são comumente aplicados nas argamassas de assentamento conferindo-lhes benefícios na resistência à compressão conforme verificado.

Analisando os resultados dos corpos de prova verifica-se que o aumento nos teores de vidro triturado nas argamassas proporcionou resultados satisfatórios com aumento na resistência à compressão, dentre eles, o que forneceu maior resistência à compressão foi o teor de 37,5% e até maior que os corpos de prova padrão com teor de 0%. Além disso, durante o procedimento de moldagem verificou-se melhor textura e boa mistura.

A avaliação dos resultados, levando em consideração o diagrama de Pareto, mostrou que os teores de vidro são as variáveis de maior influência e que a variável tempo de cura não apresentou influência estatística no processo.

O teor de 25% de vidro apresentou resistência inferior em relação aos teores de 37,5% e 50%, o que indica que quanto menor o teor menor a resistência à compressão, para os teores em estudo.

As avaliações feitas a partir do software STATISTICA foram bastante vantajosas para o planejamento dos estudos, mesmo o modelo não apresentando dados estatisticamente significativos, no entanto, observou-se que a aplicação do vidro aumentou a resistência à compressão das argamassas e pode propor futuros experimentos com teores de vidro entre 42% e 52% e em idades de cura de 12 e 22 dias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211/2009: **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13279/2005: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655/2006: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro. ABNT, 2006.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118/2014: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215/1996: **Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

AMBROZEWICZ, Paulo H. L. **Materiais de Construção: Normas, Especificações, Aplicações e Ensaio de Laboratório**. 1ª Edição. São Paulo: PINI, 2012. 460 p.

BARROS, C. **Apostila de vidros**. Rio Grande do Sul, 2010.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.; BRUNS, R. **Planejamento e otimização de experimentos**. UNICAMP, Campinas, 1996. p.66.

BAUER, E. et. al. **Geração de parâmetros de referência para controle de recebimento de agregados para argamassas de revestimento**. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.

CARASEK, H. **Argamassas, Materiais de construção civil e princípio de ciência e engenharia de materiais**, Editor Geraldo C. Isaia, v.2, São Paulo, Brasil, 2007, pp. 863 -904.

CRENTSIL et al. 2001. **Recycled glass as sand replacement in premix concrete**, Ed. Eco-Recycled Australia and CSIRO, p 45-46.

COELHO, RICARDO M. P. **Reciclagem e Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 1ª Edição. São Paulo: Recóleo, 2009. 340 p.

DUBAJ, E. 2000. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Porto Alegre. Brasil.

GUIA DO VIDRO. Portal Guia do Vidro. Disponível em <http://www.guiadovidro.com.br/>, acesso em 02 de abril de 2016.



GOMES, A. **Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas**, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, Novembro de 2008, 17 p.

MARTINS, J. PINTO. E; **O vidro**, Série Materiais, Materiais de Construção I, 3ª edição, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2004, 121p.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 574p.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do concreto**. São Paulo, Ed. PINI, 1982.

PACHECO, J.A; OGLIARI, P. J. **Análise estatística usando o STATISTICA**. Florianópolis, 2011.

PINHEIRO, F. C. **Evolução do uso do vidro como material de construção civil**. 2007. 63 p. Monografia. Engenharia Civil, Universidade de São Francisco, Itatiba.

POSSER, N. D, 2004. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós Graduação em Engenharia. Porto Alegre. Brasil.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos**, Campinas, SP, Casa do Pão Editora, 2005.

SASSI, C. P. et al. **Modelos de regressão linear múltipla utilizando os softwares r e statistica: uma aplicação a dados de conservação de frutas**. São Carlos, SP: USP, 2011.

SILVA, V. S. et. al.; **Influência dos resíduos vítreos na resistência à compressão axial do concreto de cimento portland**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Curitiba, 2009.