



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"*  
*Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000*

**NELSON ANTONIO SANTOS DIAS**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DO  
PORCELANATO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO DO  
GRUPO I (C20 A C50) INSERIDOS NA ATUALIZAÇÃO DA NBR  
6118/2014**

**Palmas – TO**

**2016**



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000

**NELSON ANTONIO SANTOS DIAS**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DO  
PORCELANATO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO DO  
GRUPO I (C20 A C50) INSERIDOS NA ATUALIZAÇÃO DA NBR  
6118/2014**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA, orientado pelo professor *M.Sc. Roldão Pimentel de Araújo Junior*

**Palmas – TO**

**2016**

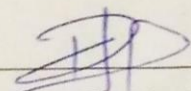
**NELSON ANTONIO SANTOS DIAS**

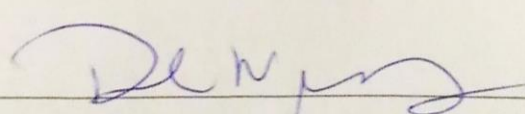
**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DO  
PORCELANATO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO DO GRUPO I  
(C20 A C50) INSERIDOS NA ATUALIZAÇÃO DA NBR 6118/2014**

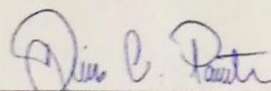
Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA, orientado pelo professor *M.Sc.* Roldão Pimentel de Araújo Junior

Aprovada em 24 de junho de 2016.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Orientador *M.Sc.* Roldão Pimentel de Araújo Junior  
Centro Universitário Luterano de Palmas

  
Prof. Examinador *M.Sc.* Fábio Henrique de Melo Ribeiro  
Centro Universitário Luterano de Palmas

  
Prof. Examinador Esp. Denis Cardoso Parente  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas – TO**

**2016**

## RESUMO

Atualmente, há uma grande preocupação por parte das indústrias, de todos os setores, com a disposição dos resíduos gerados ao longo do processo produtivo. No setor da construção civil não é diferente, pois este gera grandes volumes de resíduos, além de ser a atividade humana que mais consome energia e recursos naturais do planeta. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar as influências do aproveitamento dos rejeitos do porcelanato nas propriedades do concreto convencional, utilizando-o como agregado graúdo, através de dosagens substitutivas de 25, 50 e 100% do agregado natural (brita 1). Para a obtenção deste objetivo, foi calculado um traço referência para um concreto de 30 MPa, utilizando o método de dosagem Seven Steps Method ACI 211.1-91, que gerou a relação água/cimento de 0.45, sendo utilizada para produção de todos concretos nos diferentes percentuais de substituição. Os concretos foram analisados quanto as suas propriedades no estado fresco (abatimento e trabalhabilidade) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade). No desenvolvimento experimental verificou-se que à medida que aumentava o percentual do porcelanato na mistura do concreto, melhor a trabalhabilidade no estado fresco e conseqüentemente maior o abatimento, apresentando uma fluidez elevada em relação ao concreto que utilizou apenas brita 1 como agregado graúdo. No entanto, ao realizar os ensaios de resistência mecânica foi observado que as dosagens de 50 e 100% de porcelanato apresentaram resistências mecânicas inferiores à dosagem de 25%, sendo este, o único que atendeu a resistência solicitada. Conclui-se com o resumo dos resultados obtidos neste trabalho que evidenciam claramente a possibilidade do emprego de agregados oriundos dos resíduos de porcelanato na produção de concretos.

**Palavras-chave:** agregado graúdo, concreto, porcelanato, brita.

## **ABSTRACT**

Nowadays, there is a great concern of the industries, from all sectors, with the disposal of waste generated during the production process. The construction industry is no different, because it generates large amounts of waste, besides being the human activity that consumes more energy and natural resources of the planet. Thereby, this work aims to study the influence of the use of porcelain rejects the properties of conventional concrete, using it as coarse aggregate through substitute dosages of 25, 50 and 100% of usual aggregate (crushed stone 1). To obtain this goal, a trace reference for a concrete 30 MPa was calculated using the assay method Seven Steps Method ACI 211.1-91, which generates the water/cement ratio of 0.45, it is used for producing all concretes the different percentages of substitution. The concrete were analyzed by their properties in the fresh state (reduction and workability) and the hardened state (compressive strength, tensile strength by diametrical compression and modulus of elasticity). In experimental development it was found that by increasing the percentage of porcelain in the concrete mix, there was improvement in workability in a fresh and consequently higher rebate, with a high fluidity in relation to the concrete that used only crushed stone 1 as coarse aggregate. However, when performing mechanical resistance tests were observed that the doses of 50 and 100% of porcelain were presented mechanical strength lower than dosage of 25%, so the only resistant as was requested. It can be concluded from the above that the results of this study clearly demonstrate the possibility of aggregate employment arising from porcelain waste in the production of the concrete.

**Keywords:** coarse aggregate; concrete; porcelain residue; crushed stone

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 01-</b> Curva Granulométrica da Areia Fina .....	39
<b>FIGURA 02-</b> Curva Granulométrica da Brita 1 .....	40
<b>FIGURA 03-</b> Curva Granulométrica do Porcelanato Triturado .....	41
<b>FIGURA 04-</b> Porcelanato utilizado no experimento .....	43
<b>FIGURA 05 -</b> Moagem manual do porcelanato .....	44
<b>FIGURA 06 -</b> Porcelanato utilizado no experimento .....	45
<b>FIGURA 07 –</b> Moldagem dos corpos de prova .....	50
<b>FIGURA 08 –</b> Resultado dos Slump tests concreto referência e dosagem 25% .....	52
<b>FIGURA 09 –</b> Resultado dos Slump tests dosagem 50 e 100% .....	53
<b>FIGURA 10 –</b> Ensaio de resistência a compressão axial .....	54
<b>FIGURA 11 –</b> Evolução da resistência a compressão axial das dosagens nas idades de 7, 14 e 28 dias .....	55
<b>FIGURA 12 –</b> Amostra dos corpos de prova rompidos .....	56
<b>FIGURA 13 –</b> Realização do ensaio de resistência a tração na compressão diametral .....	57
<b>FIGURA 14 –</b> Resultados do ensaio de resistência a tração na compressão diametral .....	58
<b>FIGURA 15 –</b> Ensaio do módulo estático de elasticidade à compressão .....	59
<b>FIGURA 16 –</b> Resultado do módulo de elasticidade dos corpos de prova aos 28 dias .....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 01</b> – Características do Cimento CII-E-32.....	37
<b>TABELA 02</b> – Características da areia fina .....	38
<b>TABELA 03</b> – Composição granulométrica do agregado miúdo areia fina .....	38
<b>TABELA 04</b> – Características da Brita 1 .....	39
<b>TABELA 05</b> – Composição granulométrica do Agregado Graúdo Brita 1 .....	40
<b>TABELA 06</b> – Características do Porcelanato Triturado .....	41
<b>TABELA 07</b> – Composição granulométrica do Porcelanato Triturado .....	41
<b>TABELA 08</b> – Sequência das atividades do programa experimental .....	42
<b>TABELA 09</b> – Composição das informações para a elaboração da dosagem do traço referência .....	46
<b>TABELA 10</b> – Dosagem do traço referência em massa .....	46
<b>TABELA 11</b> – Dosagem do traço referência em volume .....	46
<b>TABELA 12</b> – Resumo dos materiais .....	46
<b>TABELA 13</b> – Relação de volume de concreto por ensaio .....	47
<b>TABELA 14</b> – Relação de Materiais .....	47
<b>TABELA 15</b> – Relação de Materiais para dosagem de 25% de porcelanato .....	48
<b>TABELA 16</b> – Relação de materiais para dosagem de 50% de porcelanato .....	48
<b>TABELA 17</b> – Relação de materiais para dosagem de 100% de porcelanato .....	48
<b>TABELA 18</b> - Procedimento para moldagem dos corpos de prova .....	50
<b>TABELA 19</b> – Abatimento dos Traços .....	52
<b>TABELA 20</b> – Resistência à compressão aos 7 dias .....	55
<b>TABELA 21</b> – Resistência à compressão aos 14 dias .....	55
<b>TABELA 22</b> – Resistência à compressão aos 28 dias .....	55
<b>TABELA 23</b> – Resultados da resistência à tração compressão diametral aos 28 dias .....	53
<b>TABELA 24</b> – Resultados da módulo estático de elasticidade à compressão aos 28 dias .....	59
<b>TABELA 25</b> – Resultados da Absorção de água por imersão (%) .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

<i>a/c</i>	Fator água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CEULP/ULBRA	Centro Universitário Luterano de Palmas - TO
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>Eci</i>	Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto
<i>fcj</i>	Resistência média do concreto
<i>fck</i>	Resistência característica do concreto
<i>Fcm</i>	Resistência média à compressão
<i>fc<sub>m</sub></i>	Resistência média à compressão
<i>fc<sub>t,sp</sub></i>	Resistência à tração por compressão diametral
<i>ftj</i>	Resistência à tração
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MF	Módulo de finura
RCD	Resíduo de Construção e Demolição



# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Objetivos .....	13
1.1.1 Objetivo Geral .....	13
1.1.2 Objetivo Específico .....	13
1.2 Justificativa .....	14
1.3 Problema .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Concreto de cimento Portland.....	17
2.2 Histórico do concreto.....	18
2.3 Componentes do Concreto.....	19
2.4 Microestrutura do Concreto .....	19
2.4.1 Matriz (Pasta de Cimento).....	20
2.4.2 Zona de Transição .....	20
2.4.3 Agregados.....	21
2.4.3.1 Agregado Graúdo .....	21
2.4.3.2 Agregado Miúdo .....	22
2.4.4 Água .....	23
2.5 Propriedades do Concreto no Estado Fresco .....	24
2.5.1 Trabalhabilidade e Consistência.....	25
2.6 Propriedades do concreto no estado endurecido.....	25
2.6.1 Resistência Mecânica .....	26
2.6.1.1 Resistência à compressão .....	26
2.6.1.2 Resistência à Tração .....	28
2.6.1.3 Módulo de Elasticidade .....	29
2.7 Porcelanato.....	30
2.7.1 Matérias primas para confecção do porcelanato.....	32
2.7.1.1 Argilas .....	32
2.7.1.2 Caulim .....	33
2.7.1.3 Feldspato .....	34
2.8 Sustentabilidade na Construção Civil .....	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	38

3.1.1	Cimento Portland CII-E-32 .....	38
3.1.2	Agregados .....	38
3.1.2.1	<i>Agregado Miúdo</i> .....	39
3.1.2.2	<i>Agregado Graúdo</i> .....	40
3.2	Programa experimental .....	43
3.2.1	Aquisição do Porcelanato .....	44
3.2.2	Processamento do Porcelanato .....	45
3.2.3	Definição do traço referência .....	46
3.2.4	Produção dos concretos .....	47
3.2.4.1	<i>Mistura dos materiais</i> .....	47
3.2.4.2	<i>Definição dos volumes de porcelanato por dosagem</i> .....	48
3.2.5	Abatimento .....	49
3.2.6	Moldagem .....	50
	.....	51
3.2.7	Cura .....	52
4.	RESULTADOS E DISCURSÕES .....	53
4.1	Abatimento .....	53
4.2	Resistência à compressão axial .....	55
4.3	Resistência à tração na compressão diametral .....	58
4.4	Módulo estático de elasticidade à compressão .....	60
4.5	Determinação da absorção de água por imersão .....	62
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	63
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65

# 1. INTRODUÇÃO

O setor de Construção Civil, apesar de sua importância dentro da economia no Brasil, sempre esteve muito ligado a questões relacionadas a perdas e desperdícios. Segundo Bourscheid e Souza (2010), as enormes quantidades de entulhos geradas pela construção civil são um problema cada vez maior às cidades, devido à dificuldade da aquisição de áreas para disposição, aos impactos ambientais causados por eles, tanto aos recursos hídricos quanto aos solos, e também à saúde da população.

Segundo pesquisa realizada pelo WBCSD, aponta o setor da construção civil como responsável, no mundo, por 40% da energia consumida e por 35% das emissões de carbono, por isso, investir em novas alternativas que promovam a ecoeficiência é fundamental para diminuir os impactos dessa atividade (CEDBS, 2010).

Nesse contexto, a reciclagem tem sido desenvolvida para melhorar a qualidade ambiental, diminuindo assim, os resíduos gerados pela atividade humana e poupar o uso dos recursos naturais não renováveis. Nas últimas décadas as considerações ambientais começaram a ter um papel prioritário na maioria dos países, havendo maior preocupação em tratar, reduzir ou reaproveitar os resíduos gerados.

A preocupação com o impacto gerado pela produção de resíduos provenientes da construção civil tem gerado estudos em vários países quanto às possibilidades de reaproveitamento desses resíduos como agregados. A substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados apresenta diversas vantagens, como economia na aquisição de matéria-prima, diminuição da poluição gerada pela produção dos agregados e melhora na preservação das reservas naturais de matéria-prima do planeta.

Em estudo experimental, Vieira e Molin (2004), concluíram que o uso do agregado reciclado em concretos, não afeta a resistência a compressão e nem a durabilidade, mostra também a importância dos tratamentos, desde o beneficiamento até o uso em concretos, para que suas propriedades sejam conhecidas e a limitação de seu uso diminua. A reciclagem, além de proporcionar melhorias significativas do ponto de vista ambiental, introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso, transformando o entulho, novamente, em matéria prima.

Para o emprego de agregados reciclados em concreto de cimento Portland, é necessário conhecê-los completamente e as implicações de seu emprego no estado fresco, no estado endurecido e na durabilidade do concreto. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo

verificar a viabilidade de utilização do resíduo de porcelanato na fabricação de concretos do grupo I (C20 a C50) conforme à atualização da NBR 6118/2014, como substituto do agregado graúdo convencional.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Analisar as propriedades do concreto convencional de 30 MPa, com a substituição do agregado graúdo natural por brita 1 obtida pelo processo de moagem dos rejeitos do porcelanato, nas dosagens: 25, 50 e 100% do agregado graúdo convencional pelo agregado substituto.

### **1.1.2 Objetivo Específico**

- Avaliar a influência na trabalhabilidade do concreto no estado fresco com a substituição do agregado graúdo por agregado de porcelanato, nas dosagens estabelecidas.
  
- Verificar as propriedades mecânicas do concreto nas diferentes dosagens do agregado substituto (porcelanato). Sendo elas:
  - ✓ Resistência à compressão simples;
  
  - ✓ Resistência à tração por compressão diametral;
  
  - ✓ Módulo de elasticidade;
  
- Avaliar a absorção de água por imersão conforme NBR 9778/09.

## 1.2 Justificativa

Um dos grandes problemas enfrentados pela construção civil nos tempos atuais é a falta de matéria-prima, tal como agregados para a produção de concretos. A areia extraída dos rios e brita provenientes de jazidas naturais, estão cada vez mais escassas, a extração destes materiais causam impactos nocivos ao meio ambiente.

Por outro lado, é crescente a quantidade de resíduos gerados pela construção civil, que em muitas vezes são descartados no meio ambiente sem o remanejamento necessário. Segundo Leite (2001), a quantidade de energia e recursos naturais consumidos e o volume de resíduos gerados são bastante significativos.

No Brasil, 72,44% dos municípios avaliados pela PNSB20 (Pesquisa nacional de saneamento básico - IBGE), possuem serviço de manejo de resíduos de construção civil (RCC), sendo que 55,26%, desses municípios exercem o controle sobre o manejo de RCC. Sendo assim, os resíduos da construção civil representam de 50% a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (BRASIL,2005).

Mesmo já existindo algumas ações isoladas por parte do Governo Federal e de algumas prefeituras, ainda temos que criar uma conscientização nacional em relação a importância que o tema merece.

Uma alternativa para esta problemática está na reciclagem dos resíduos provenientes das obras e demolições, promovendo uma construção mais econômica e principalmente sustentável, sendo que esta prática já vem sendo difundida em países da Europa, Ásia e América do Norte afim de minimizar o impacto causado pelas atividades humanas. A reutilização de resíduos surgiu a partir da conscientização a respeito da problemática do desperdício nas construções. Por outro lado, a necessidade premente de reconstrução de cidades destruídas, ou por guerras ou por catástrofes naturais, deu origem a técnicas bem-sucedidas de reaproveitamento dos resíduos e de aplicação dos mesmos na produção de artefatos e outros serviços para construção, conforme mostram os resultados de pesquisas desenvolvidas na Europa, nos Estados Unidos, na Rússia e no Japão (LEVY, 2001; HANSEN, 1992 e outros).

A utilização dos resíduos da construção para a obtenção de agregado para novas dosagens de concreto reduz os custos envolvidos com a exploração e transporte dos agregados naturais e, além disso, reduz substancialmente o volume de resíduos despejados no meio-ambiente. Alguns países já lucram com uma nova atividade econômica, o comércio de resíduos.

Assim sendo, o presente trabalho pretende ser mais um instrumento que venha contribuir para futuras ações que visem a utilização dos resíduos do porcelanato como recursos alternativos para a produção do concreto estrutural.

### **1.3 Problema**

É viável substituir percentuais do agregado graúdo natural por agregados graúdos obtidos de rejeitos do porcelanato para a fabricação de concreto do estrutural do grupo I (C20 a C50), conforme NBR 6118/14?



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Concreto de cimento Portland**

Neville (1997) define o concreto como um material da construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, pode-se ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições.

Já Petrucci (1998) afirma que o concreto ao ser misturado deve permitir o manuseio em fôrmas e com o passar do tempo e pelas reações que ocorrem entre a pasta e os agregados devem adquirir coesão e resistência.

O concreto de cimento Portland é o mais considerável material de construção civil e estrutural existente no mercado. Mesmo sendo o mais atual dos materiais de construção de estruturas, se destaca como um dos descobrimentos mais relevantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

O concreto ainda é o material mais empregado na construção civil em virtudes inerentes a ele, como a versatilidade, durabilidade e desempenho, que proporcionam vida útil adequada às construções a um valor competitivo em analogia a outros materiais estruturais.

De acordo Isaia (2011), as razões da empregabilidade do concreto em larga escala na construção civil estão elencadas nos requisitos de disponibilidade de matéria prima, versatilidade de moldagem, hiperestaticidade dos elementos construídos, durabilidade e custo, bem como boa resistência mecânica a compressão e tração, quando combinados concreto e aço.

As propriedades do concreto irão variar de acordo com as propriedades e quantidades dos materiais utilizados, a dosagem do concreto ou traço é o estabelecimento das proporções dos materiais para atender as características do concreto desejado, o traço obtido pode ser em massa ou volume, a sua forma irá depender das condições da obra. (ALVES, 2006).

Segundo Lodi (2006) a heterogeneidade dos materiais que compõem os concretos e a complexidade do seu comportamento, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, representa sempre um desafio aos técnicos responsáveis pela elaboração e emprego dos concretos.

Para a produção de um bom concreto deve-se atentar para os seguintes critérios: no estado fresco, a consistência da mistura deve ser tal que se possa adensar a uma energia desejada e ser suficientemente coesivo para que as atividades de transporte e lançamento não promovam

segregação; no estado endurecido, foi pontuado que o concreto deve ter resistência e durabilidade adequadas, como afirma NEVILLE (1997).

De acordo com Benetti (2007), um fator muito importante ao se elaborar um concreto é a quantidade e a qualidade da água utilizada, pois, se sua quantidade não for suficiente ou se a água não apresentar uma boa qualidade à reação que transforma o cimento em pasta aglomerante pode ser prejudicada afetando assim a resistência e a permeabilidade do concreto.

## **2.2 Histórico do concreto**

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

Na antigüidade foram os romanos os povos que mais se destacaram na aplicação dos concretos e argamassas, que lhes possibilitou criar espaços em forma de arco, abóbadas e cúpulas, de grandes dimensões. Por meio da combinação entre o concreto da época com pedra, entre outros materiais naturais, realizaram obras magníficas, inéditas até aquele período, promovendo um grande desenvolvimento das edificações e revolucionaram a arquitetura da época.

Para Isaia (2010), o surgimento do concreto está associado à descoberta de um agente aglomerante cimentício. Dessa forma, pode-se considerar que o uso do concreto iniciou a partir do século II a.c, quando surgiu o primeiro aglomerante conhecido. Tratava-se de um tipo especial de areia vulcânica chamada ‘pozolana’, encontrada apenas na região sul da Itália, na baía de Nápoles, próximo a Pozzuoli, de onde o nome se originou (ISAIA, 2010).

A pozolana é na verdade uma ‘areia’ especial, que reage quimicamente com cal e água, para endurecer formando uma pedra artificial, resistente mesmo quando submersa. Esse material era usado com pedras de diferentes tamanhos, mantendo as unidas e formando um tipo rudimentar de concreto (METHA e MONTEIRO, 1994).

Bastos (2006) considera que o concreto armado surgiu na França, no ano de 1849, com o primeiro objeto do material registrado pela História sendo um barco, do francês Lambot, o qual foi apresentado oficialmente em 1855. O barco foi construído com telas de fios finos de ferro preenchidas com argamassa. Embora os barcos funcionassem, não alcançaram sucesso comercial.

A partir de 1861, outro francês, Mounier, que era um paisagista, horticultor e comerciante de plantas ornamentais, fabricou uma enorme quantidade de vasos de flores de argamassa de cimento com armadura de arame, e depois reservatórios (25, 180 e 200 m<sup>3</sup>) e uma ponte com vão de 16,5 m (BASTOS, 2006).

O concreto teve um salto em seu desempenho e propriedades no início de século XX, com o aprimoramento dos equipamentos para concepção do Cimento Portland, tornando-o confiável e a um custo competitivo em razão do grande consumo pela indústria da construção civil (ISAIA, 2011).

### **2.3 Componentes do Concreto**

O concreto é constituído de proporções (traço) previamente definidas de acordo com a resistência desejada sendo composto por aglomerantes hidráulicos (Cimento Portland), agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita ou seixo) com massa específica entre  $25 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup> a  $28 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>.

### **2.4 Microestrutura do Concreto**

Para Mehta e Monteiro (2008) a microestrutura do concreto é obtida através do tipo, tamanho, quantidade, forma e distribuição das fases presentes em um sólido. O termo microestrutura refere-se a porção com grandeza microscópica da macroestrutura, tendo os aparelhos usados para essa análise capacidade de aumento da ordem de 10<sup>5</sup> vezes.

Em nível microscópico, é possível observar a não homogeneidade entre as fases, divididas em três partes: agregado, zona de transição interface e a matriz da pasta de cimento hidratado (SÁ, 2006).

Dal Molin (1995) apresentou micrografias obtidas em um microscópio eletrônico de varredura, mostrando a interferência da relação água/cimento na microestrutura do concreto. Nos casos em que existe maior relação água/cimento sem adição de microssilica, o concreto apresenta-se mais poroso, tendo uma pasta com coloração mais escura em contato com o agregado, refletindo um maior número de vazios.

Segundo os estudos do autor, mostra que quando utiliza fatores a/c inferiores a 0,43, nem todo o cimento anidro hidrata, permanecendo como material de enchimento na matriz, aumentando a compactidade.

#### **2.4.1 Matriz (Pasta de Cimento)**

Para Moranville-Regourd (1992), denomina-se de matriz a pasta de cimento que envolve os agregados no concreto. Ela é constituída por diferentes tipos de compostos hidratados do cimento, em especial os silicatos hidratados C-S-H que possuem aparência de estruturas fibrosas, carbonato de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que cristaliza em grandes placas hexagonais superpostas e a etringita, que cristaliza no início da pega na forma de agulhas. A pasta de cimento Portland com relação água/cimento de 0,5 possui uma porosidade em torno de 25 e 30% do volume. Esta porosidade é decomposta em dois tipos de cavidades, conhecidas como vazios: poros entre os cristais C-S-H, de alguns nanômetros de comprimento, poros capilares entre os compostos hidratados, bolhas e fissuras, com tamanho variando entre 100 nm e alguns mm. A matriz é composta pela zona de transição entre agregado e pasta e pela própria pasta de cimento.

#### **2.4.2 Zona de Transição**

A zona de transição é a porção da pasta de cimento em contato com o agregado graúdo, no entanto, ela apresenta características diferentes do restante da pasta. A espessura e as características desta zona variam conforme os componentes da pasta e do agregado graúdo.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994) a zona de transição é a região de interface entre o agregado graúdo e a pasta. Caracteriza-se por ser uma camada delgada, com 10 a 50  $\mu\text{m}$  de espessura ao redor dos agregados, geralmente mais fraca que os outros dois componentes principais do concreto, exercendo influência muito maior sobre o comportamento mecânico do concreto do que pode ser esperado pela espessura, estando sujeita a microfissuração com pequenos acréscimos de carregamento, variações de volume e umidade.

A zona de transição é caracterizada por ser uma região com maior porosidade e heterogeneidade do que o restante da pasta. Esta porosidade é decorrente da elevação da relação água/cimento na mistura em decorrência do filme de água que se forma em torno do agregado graúdo (KAEFER, 1998).

### 2.4.3 Agregados

Os agregados são materiais inertes incorporados à mistura do concreto, sendo classificados através de sua granulometria em agregado miúdo e graúdo.

Petrucci (1981) define “agregado” como o material granular sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia.

Considerando que os agregados correspondem por grande parte do volume de concreto (cerca de 75%), é de se considerar que tanto suas propriedades físicas quanto químicas interferem significativamente nas propriedades do concreto.

Os agregados em geral devem ser formados por partículas duras e resistentes, isentas de produtos deletérios, tais como: argila, mica, silte, sais, matéria orgânica e outros (ANDOLFATO, 2002).

Segundo Coutinho (1999, apud Freitas, 2007), a ligação entre o agregado e a pasta de cimento ocorre devido à rugosidade superficial do agregado, devido às propriedades químicas do cimento e do agregado e às propriedades eletrostáticas da superfície das partículas. A ligação entre a pasta de cimento e os agregados pode ser:

- Mecânica - ligação macroscópica. Ocorre devido à rugosidade superficial do agregado na qual os cristais oriundos da hidratação do cimento envolvem as protuberâncias;
- Absorção - o agregado absorve água contendo parte do cimento dissolvido, o qual se cristaliza dentro do agregado ao mesmo tempo em que o da pasta, ligando-os;
- Atração - entre a pasta de cimento e os agregados por forças de Van der Waals;
- Aderência - de origem química devida à reação entre os produtos de hidratação do cimento e a superfície do agregado.

#### 2.4.3.1 Agregado Graúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define agregado graúdo sendo como pedregulho ou brita obtidos de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

De acordo com Andolfato (2002) os agregados graúdos têm sua classificação relacionada ao tamanho das partículas dos seus componentes (diâmetros mínimos e máximos), a saber:

- a) Brita 0 → 4,8 a 9,5mm;
- b) Brita 1 → 9,5 a 19mm;
- c) Brita 2 → 19 a 25mm;
- d) Brita 3 → 25 a 50mm;
- e) Brita 4 → 50 a 76mm;
- f) Brita 5 → 76 a 100mm;

O agregados graúdos mais usuais na fabricação do concreto são os com diâmetro de 9,5 a 19mm, conhecidos como brita I, além de em alguns casos, podendo também a mistura com os agregados de diâmetro de 19 a 25mm, brita II.

Segundo Metha e Monteiro (1994), o agregado graúdo é o principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Sendo assim, as características físicas do agregado, tais como massa específica, textura, granulometria e resistência à abrasão, são extremamente importantes para definir a qualidade do concreto.

Nesse contexto, Kaefer (1998) afirma que a massa específica do agregado influencia a massa específica final do concreto, também estando proporcionalmente relacionada à resistência à compressão, pois quanto mais leve o agregado, geralmente é maior sua porosidade e conseqüentemente menor a sua resistência, tornando-se o elo mais fraco da mistura.

#### **2.4.3.2 Agregado Miúdo**

Os agregados miúdo, são, comumente, areias extraídas de leitos de rios ou areias artificiais oriundas de rochas.

Segundo Moraes, Oliveira e Ritt (2015) os agregados miúdos executam uma importante função nas argamassas e concretos, tanto economicamente quanto tecnicamente, e desempenham influência benéfica sobre algumas características importantes, como a retração, o aumento da resistência ao desgaste, entre outros, sem acometer a resistência aos esforços mecânicos. Tal influência se dá pelas características físico-mecânicas que os agregados miúdos apresentam, destacando-se entre elas a composição granulométrica, o índice de material pulverulento, a forma e a textura superficial.

A principal função dos agregados é a incorporação de volume à mistura de concreto de forma a minimizar o consumo de pasta de cimento, porém são tão importantes às dosagens de

concreto que merecem atenção exclusiva e estudos específicos de modo a serem proporcionados corretamente e permitirem misturas de concreto com as propriedades desejadas.

De acordo com Andolfato (2002) os agregados miúdos são conhecidos como areias, tendo sua classificação em relação ao módulo de finura em grossas, médias, finas e muito finas.

- a) Areia grossa – módulo de finura entre 3,35 e 4,05;
- b) Areia média – módulo de finura entre 2,40 e 3,35;
- c) Areia fina – módulo de finura entre 1,97 e 2,40;
- d) Areia muito fina – módulo de finura menor que 1,97.

A areia considerada ótima para o uso no concreto é aquela que apresenta módulo de finura entre 3,35 e 4,05, no entanto, aquelas com módulo de finura entre 2,4 e 3,35 é considerada utilizável.

O formato dos grãos também é relevante para a qualidade e o custo do concreto. Sendo assim, é necessário calcular o índice de forma do agregado, que é a relação entre a maior e a menor dimensão do grão, pois quanto menor o índice de forma, menor será o teor de vazios do agregado, de modo que a quantidade de argamassa para preenchê-los também será menor, exigindo menor quantidade de água.

#### **2.4.4 Água**

Para Metha e Monteiro (1994) a água presente na pasta de cimento hidratada pode ser classificada de acordo com o grau de dificuldade para ser removida. São elas, na ordem crescente de dificuldade de remoção:

- Água capilar ou água livre – água presente nos poros de grande dimensão (vazios maiores que  $50\text{Å}$ ) livre das forças de atração exercidas pela superfície sólida;
- Água adsorvida – refere-se àquela água que se encontra próxima à superfície do agregado, sob influência das forças de atração dos sólidos da pasta de cimento hidratada;
- Água Inter lamelar – associada a camada molecular de água presente ente as camadas de C-SH, sendo perdida somente por secagem com umidade inferior a 11%;
- Água quimicamente combinada – é aquela que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento, como C-S-H,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sulfoaluminatos de cálcio hidratados.

Segundo Neville (1997), na prática, a resistência de um concreto a uma determinada idade, com cura realizada em água e temperatura estabelecida, depende unicamente da relação água/cimento (a/c) e do grau de adensamento, sendo a relação a/c que determina a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio da hidratação.

Nesse contexto, Metha e Monteiro (2008) afirmam que a medida que a relação a/c aumenta no concreto, ocorre um enfraquecimento progressivo da matriz causado pelo aumento da porosidade devido a relação a/c.

A ideia de que a água própria para o consumo humano é ideal para a fabricação do concreto é errônea, uma vez que a presença de sais, e outros minerais podem prejudicar as reações de hidratação do cimento. A avaliação da qualidade da água é feita por métodos específicos estabelecidos na ABNT NBR 15900, que trata também dos requisitos de concentração dos sólidos, cloretos, sulfatos e demais substâncias químicas.

## **2.5 Propriedades do Concreto no Estado Fresco**

O concreto apresenta duas fases imprescindíveis para excelência do seu emprego e desempenho final, que são elas no estado fresco e estado endurecido.

A mistura dos materiais componentes do traço compreende a primeira etapa e fase inicial para o desenvolvimento microestrutural do material através do processo de hidratação dos grãos de cimento, tornando um sistema fragmentado e descontínuo em um sistema homogêneo.

Alves (1987) afirma que a segregação, homogeneidade e a trabalhabilidade são as principais propriedades do concreto fresco. No entanto, a segregação e a homogeneidade estão diretamente ligadas à trabalhabilidade, podendo-se considera-las como partes de uma mesma propriedade: Trabalhabilidade.

No estado fresco grande parte do processo de hidratação é delimitada pelo tempo de início e fim de pega do material aglomerante. No início o concreto apresenta trabalhabilidade e consistência de natureza fluída, esse julgamento nasce da necessidade que sejam citadas as características desejáveis durante as etapas de mistura, transporte, lançamento, adensamento, consolidação e acabamento. (CARDOSO, PILLEGI & ROMANO, 2011).



### **2.5.1 Trabalhabilidade e Consistência**

Para Petrucci (1998) a trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada finalidade, sem perda de sua homogeneidade.

Segundo Helene e Andrade (2010) a trabalhabilidade do concreto é influenciada por fatores internos, como a sua relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento, teor de argamassa e características dos agregados. No entanto, existem os fatores externos que também influenciam a trabalhabilidade, como as condições de transporte, lançamento, características da fôrma, esbelteza dos elementos estruturais, densidade e distribuição das armaduras, dentre outros fatores.

A consistência é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco e pode ser medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (METHA e MONTEIRO, 1994).

De acordo com Andolfato (2002), é através da consistência do concreto que é possível identificar a sua facilidade de manuseio, que, na tecnologia do concreto, pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação da sua própria massa.

O Slump Test ou abatimento de tronco de cone é o ensaio que afere a tensão de escoamento do material. Que consiste na verificação direta do deslocamento vertical do topo do cone de concreto depois de retirada o molde, de modo que, quanto maior o deslocamento, mais fluído é o material.

A consistência e a trabalhabilidade dependem da composição do concreto, e, em particular, da quantidade de água, da granulometria dos agregados, da presença de aditivos, etc.

### **2.6 Propriedades do concreto no estado endurecido**

O concreto no estado endurecido exibe características de uma rocha artificial, comparável a um aglomerado composto pela união de agregados graúdo e grãos de areia de tamanhos variados, vinculados pela pasta porosa de cimento com uma zona de transição entre essas duas fases (KIRCHHEIM & PAULON, 2011).

A interação entre essas três fases rege as propriedades do concreto no tocante a resistência mecânica, porosidade e durabilidade. De modo que concretos com alta porosidade torna a interação pasta-agregado frágil, sendo uma zona preferencial ao surgimento de fissuras

quando solicitado, tornando-o mais vulneráveis a ataques químicos levando a deterioração precoce da estrutura (ISAIA, 2011).

## **2.6.1 Resistência Mecânica**

Com o passar do tempo, a mistura que constitui o concreto endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição.

No estado endurecido aos 28 dias, o concreto atinge suas propriedades características essenciais, sendo confirmado por meio de ensaio mecânico de compressão axial. Para que seja possível a determinação e compreensão dos requisitos pré-estabelecidos que o concreto deve atender nessa idade, como, resistência mecânica e módulo de elasticidade, de modo a assegurar sua durabilidade e desempenho.

### ***2.6.1.1 Resistência à compressão***

A resistência à compressão simples, denominada  $f_c$ , é a característica mecânica mais importante. Segundo Neville (1997) a resistência é considerada a propriedade fundamental do concreto, pois indica a qualidade do concreto estando diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento endurecida. Desta forma, de forma geral, à medida que aumentam as resistências mecânicas melhoram-se as demais propriedades, daí a importância de se controlar a resistência à compressão, pois estarão sendo avaliadas, indiretamente, as demais propriedades do concreto endurecido

A resistência de um material é dada como a capacidade de resistir à tensão sem se romper. No concreto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, definida como tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar (METHA e MONTEIRO, 1994).

Para Petrucci (2005) a resistência mecânica à compressão é a principal propriedade do concreto no seu estado endurecido. Sendo que o concreto é excelente quando submetido a esforços de compressão, no entanto, deixa a desejar sob esforços de tração.

Segundo Neville (1997), apesar resistência à compressão ser uma das propriedades mais importantes, em casos particulares, existem outros fatores mais relevantes quando se trata de

prever a vida útil de uma estrutura em determinado meio, tais como: durabilidade e permeabilidade.

De acordo com Helene e Andrade (2007), o valor mínimo da resistência à compressão deve ser de 20 MPa para o concreto armado e 25 MPa para concreto pretendido. O valor de 15 MPa pode ser usado apenas em concreto magro e em obras provisórias.

Segundo Neville (1997) a resistência obtida através de uma mistura com trabalhabilidade e quantidade de materiais adequados é influenciada pela relação água/cimento, relação cimento/agregado, granulometria, textura superficial, forma, resistência e rigidez das partículas de agregado.

No entanto, a resistência do agregado não tem influência direta na resistência do concreto, de acordo com Nunes (2005), exceto em situações que estejam sendo trabalhados concretos leves e/ou de alta resistência, nos demais casos os agregados são bem mais resistentes que a matriz e a zona de transição do concreto, onde geralmente ocorre a ruptura.

Para estimar a resistência à compressão, são moldados e preparados corpos de prova segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados de acordo com a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Após a realização de ensaios com uma quantidade grande de corpos de prova, pode ser elaborado um gráfico com os valores de  $f_c$  em relação quantidade de corpos de prova relativos a determinado valor de  $f_c$ , também denominada densidade de frequência. A curva encontrada denomina-se Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão.

Na curva de Gauss encontram-se dois valores de fundamental importância: resistência média do concreto à compressão,  $f_{cm}$ , e resistência característica do concreto à compressão,  $f_{ck}$ .

O valor  $f_{cm}$  é a média aritmética dos valores de  $f_c$  para o conjunto de corpos de prova ensaiados, e é utilizado na determinação da resistência característica,  $f_{ck}$ , por meio da fórmula:

Equação 01

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s$$

Sendo que o desvio padrão  $s$  corresponde à distância entre a abscissa de  $f_{cm}$  e a do ponto de inflexão da curva (ponto em que ela muda de concavidade).

### 2.6.1.2 Resistência à Tração

Nas obras, geralmente não são realizados ensaios de resistência à tração do concreto. A sua determinação pode ser útil para procurar prevenir as fissuras no concreto, a partir do conhecimento das condições de carregamento e movimentações térmicas e higroscópicas. No Brasil, sua determinação deve obedecer às prescrições da norma NBR 7222 - Resistência à tração simples de argamassa e concreto por compressão diametral dos corpos-de-prova cilíndricos. Uma outra forma de determinar a resistência à tração é através da realização do ensaio de flexão simples.

Conforme Rodrigues (2011), a resistência a tração do concreto varia entre 8% e 15% da sua resistência à compressão. Esta resistência pode ser determinada em três ensaios diferentes: ensaio de tração direta, ensaio tração indireta ou ensaio de tração na flexão.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, item 8.2.5, a resistência à tração indireta  $f_{ct,sp}$  e a resistência à tração na flexão  $f_{ct,f}$  devem ser obtidas de ensaios realizados segundo a ABNT NBR 7222 e a ABNT NBR 12142, respectivamente.

Sendo que resistência à tração direta  $f_{ct}$  pode ser considerada igual a  $0,9 f_{ct,sp}$  ou  $0,7 f_{ct,f}$ , ou, na falta de ensaios para obtenção de  $f_{ct,sp}$  e  $f_{ct,f}$ , pode ser avaliado o seu valor médio ou característico por meio das seguintes equações:

Equação 02

$$f_{ctk, inf} = 0,7 f_{ct, m}$$

Equação 03

$$f_{ctk, sup} = 1,3 f_{ct, m}$$

A NBR 6118:2014 define a equação da resistência média para concretos de classes até C50:

Equação 04

$$f_{ct, m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

Sendo que:

$f_{ctk, inf}$  = Resistência característica inferior a tração do concreto em MPa;

$f_{ctk, sup}$  = Resistência característica superior a tração do concreto em MPa;

$f_{ct, m}$  = Resistência média a tração do concreto em MPa;

$f_{ck}$  = Resistência característica a compressão do concreto em MPa.

### 2.6.1.3 Módulo de Elasticidade

O comportamento do concreto submetido a tensões normais de compressão e tração podem ter sua representação próxima pela lei de Hooke,  $\sigma = E\varepsilon$ , sendo  $\sigma$  a tensão,  $\varepsilon$  a deformação específica e E o Módulo de Elasticidade ou Módulo de Deformação Longitudinal.

Para Cunha (2000), o módulo de elasticidade de um material sólido qualquer, está relacionado com a inclinação da tangente ao diagrama tensão deformação ( $\sigma - \varepsilon$ ), desse material em um ponto qualquer desse diagrama.

Assim as relações entre tensões normais e deformações específicas são definidas pelo módulo de elasticidade longitudinal e pelo coeficiente de Poisson do concreto (SHEHATA, 2011).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a importância do limite de elasticidade em um projeto estrutural é devido ao fato de ele representar a deformação máxima permitida antes do material adquirir deformação permanente. Portanto, o engenheiro deve conhecer o módulo de elasticidade do material uma vez que este influi no cálculo estrutural; conhecido o módulo, será possível calcular as flechas máximas admissíveis, ou seja, as flechas que não provocarão fissuras além de determinados limites

De acordo a ABNT NBR 6118, item 8.2.8, o módulo de elasticidade deve ser obtido segundo ensaio descrito na ABNT NBR 8522, sendo considerado nesta Norma o módulo de deformação tangente inicial cordal a 30% de  $f_c$ , ou outra tensão especificada em projeto. Quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto usado na idade de 28 dias, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade usando a expressão:

Equação 05

$$E_{ci} = \alpha E . 5600 \sqrt{f_{ck}}$$

Sendo que os valores de  $\alpha E$  são definidos por:

- Basalto e diabásico com  $\alpha E = 1,2$ ;
- Granito e gnaisse com  $\alpha E = 1,0$ ;

- Calcário com  $\alpha E = 0,9$ ;
- Arenito com  $\alpha E = 0,7$ ;

## 2.7 Porcelanato

A NBR 15463 (ABNT, 2007) define o porcelanato como placas cerâmicas compostas por argila, feldspato e outras matérias-primas inorgânicas, conformadas por extrusão, prensagem ou outros processos. Podem ser esmaltadas ou não esmaltadas, polida ou natural, retificada ou não retificada.

Segundo Cruz (2008) o porcelanato é a classe de revestimento cerâmico adequada a áreas de alto tráfego, encontradas com acabamento polido e fosco. Entre suas características, pode-se citar: uniformidade de coloração, alta resistência a abrasão física e química, absorção próxima a zero, massa homogênea e geralmente com ausência de esmaltação.

Também denominado “grés fino porcelanato”, “granito cerâmico” ou “grês porcelanato”, é um produto que precede o grés fino, branco ou colorido, originário da região norte europeia, produtos que possuem como elemento comum a característica de impermeabilidade e resistência ao gelo (STEINER, 2011).

A massa que constitui o porcelanato é formada por: argila, feldspato e caulim, além de corantes. Em seu processo de produção, é utilizada uma pressão de compactação superior a da cerâmica tradicional e uma temperatura de queima elevada, ultrapassando 1.200 °C (CRUZ, 2008).

Um dos diferenciais do porcelanato é o baixo grau de absorção de água, quando comparados aos outros tipos de placas cerâmicas, sendo da ordem de 0 a 0,5%. Essa característica implica diretamente no grau de porosidade do material, pois quanto menor o teor de absorção de água conseqüentemente será menor o seu índice de porosidade, dando maior compacidade ao produto. Logo, suas características mecânicas são superiores, garantindo maior resistência a flexão e carga de ruptura, dureza e resistência a abrasão, recomendável para áreas de altíssimo tráfego.

Conforme afirma Heck (1996) o porcelanato é bastante semelhante a pedra natural, no entanto, suas propriedades características superam o desempenho, por exemplo, do mármore, granito, pedra São Tomé, etc. Além de possui maior resistência química; devido ao fato de ser impermeável, o produto é resistente a manchas e de fácil limpeza, e em caso de infiltração de umidade, não há desenvolvimento de manchas de umidade. Outro diferencial é a uniformidade

de cores na peça e entre peças, promovendo um efeito estético agradável aos olhos; além de ser mais leve, com menor espessura e maior resistência mecânica, é mais fáceis de transportar e manusear, facilitando seu assentamento.

O processo de produção em geral é bastante automatizado, com equipamentos de última geração, limitando a ação humana nas atividades de controle do processo, inspeção da qualidade, armazenagem e expedição.

Segundo Pereira (2004) descreve a tecnologia do porcelanato e pautar todo processamento e como ocorre o encadeamento dos seguintes processos:

- **Moagem:** Tem por objetivo diminuir o tamanho das partículas das matérias primas envolvidas para garantir a homogeneização da massa cerâmica dentro de uma distribuição granulométrica definida. São utilizados moinhos do tipo bola, por onde a massa é introduzida em cilindros que contêm seixos de tamanhos variados. A movimentação desses seixos no interior do moinho ocorre por rotação, produzindo a moagem por choque e atrito com o material a ser moído. Nessa etapa deve-se ter controle sobre a velocidade de rotação, no intuito de garantir a granulometria desejada da barbotina, produto resultante desta etapa do processo que consiste das matérias-primas sólidas e água.

- **Atomização:** Processo que ocorre a evaporação parcial da água contida na barbotina, formando o pó atomizado. Nesta etapa a barbotina é bombeada para um sistema dispersor, localizado no interior de uma câmara de secagem ventilada com ar aquecido a uma temperatura média de 500 a 600°C. O pó fica com umidade e granulometria ideal para a prensagem.

- **Prensagem:** Consiste na conformação do pó atomizado, com vistas à formatação da peça cerâmica. Na prensa, o pó é submetido a uma pressão específica, e recebe sua forma definitiva, denominada de bolacha cerâmica. O revestimento verde, ou biscoito, é a principal saída do processo, possuindo um teor de umidade próximo ou igual ao do pó atomizado. A pressão média exercida sob o pó varia entre 20 e 50 MPa de 200 a 500kg/cm<sup>2</sup>). Tal pressão tem por objetivo deformar e realocar as partículas contidas na massa gerando um produto compactado e cru.

- **Secagem:** É um processo térmico que visa à redução da quantidade de água existente no revestimento verde. Ao final do processo o revestimento seco sai com conteúdo de água usualmente inferior a 1% do peso da massa.

- **Acabamento:** O acabamento superficial do porcelanato é realizado na etapa de esmaltação, a partir de fritas cerâmicas de natureza vítrea que recobrem a superfície da peça

suporte. O esmalte é composto de matérias-primas como caulim, areia, óxidos diversos, pigmentos, fritas, entre outros materiais que podem ser adicionados secos ou ainda com teor de água na ordem de 40%.

- Sinterização ou Queima: compreende a etapa final do processo de produção do porcelanato. Nela, o revestimento esmaltado adquire características mecânicas e estabilidade química para usos específicos.

### **2.7.1 Matérias primas para confecção do porcelanato**

Segundo Moraes (2007), a massa que constitui o porcelanato é composta basicamente por uma mistura de argilas, feldspatos, areias feldspáticas, caulins e, às vezes, filitos e aditivos, quando necessários. Cabe aos feldspatos o papel de desempenhar, nas massas de porcelanato, uma função de fundentes, pois proporcionam as primeiras fases líquidas que aparecem durante a queima, sendo responsáveis iniciais do processo de densificação, o qual contribui majoritariamente para a densificação das peças e, conseqüentemente, para as propriedades desejadas do porcelanato. Como os caulins são ricos em alumina, durante a queima, pode fazer parte da reação de vitrificação formando vidros sílico-aluminosos, ou formar mulita secundária ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) com formato de agulhas, as quais atuam como esqueleto do corpo contribuindo para o aumento da resistência mecânica. As argilas, por sua vez, têm a função de proporcionar plasticidade, ou seja, a capacidade de conformação das peças (MENEGAZZO, 2000).

#### **2.7.1.1 Argilas**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), classifica-se como argila todo argilomineral com tamanho igual ou inferior a 0,005 mm.

Segundo Barba et al (1997) “o termo argila é utilizado para materiais de granulometria fina que apresenta comportamento plástico quando misturadas com uma quantidade limitada de água”.

Dentre as matérias-primas que constituem o porcelanato, a que possui a granulometria mais fina é a argila, sendo responsável pela plasticidade final da massa cerâmica.

Para Salvador (2007) a argila é o coração da massa cerâmica, é a principal matéria-prima de sua composição. Responsável pela plasticidade, mobilidade, resistência mecânica e



variação de cores na massa. Pode promover refratariedade ou fundência dependendo do tipo de argila, além de definir as características físicas do produto. É ela quem define as principais características da massa cerâmica.

Segundo Maruchin (2007), os principais elementos encontrados nas argilas são:

- $\text{SiO}_2$ : provêm de fontes mineralógicas totalmente diferentes do mineral argiloso ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e do quartzo livre. Quanto menor sua porcentagem, menor será a quantidade de quartzo livre na argila e, portanto, maior plasticidade.
- $\text{Al}_2\text{O}_3$ : quanto maior sua porcentagem, maior será a plasticidade da argila associada ao incremento da caulinita como constituinte do mineral argiloso e, portanto, poderá diminuir a porcentagem de argila na formulação da massa. Quanto maior sua porcentagem, maior será a pureza da argila.
- $\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ : ambos elementos são considerados como impurezas colorantes, já que mudam a coloração da massa até tons mais escuros como marrons e amarelados. Ao mesmo tempo, estes tipos de impurezas dificultam posteriormente a coloração de grês porcelanato. Deve-se reduzir a porcentagem desses elementos o máximo possível.
- $\text{MgO} \cdot \text{CaO}$ : normalmente provêm de carbonatos ou de argilas dolomíticas. Estes elementos atuam como modificadores de fusão, mas os óxidos alcalinos terrosos prejudicam a cor desenvolvida, já que tendem a formar estruturas espinélias. Os tons negros mudam para marrons e os azuis do cobalto para violeta.
- $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O}$ : ambos atuam como fundentes e são desejáveis porque permitem uma redução na porcentagem final de feldspato da composição.

### **2.7.1.2 Caulim**

Salvador (2007) define o caulim como argila derivada das alterações de rochas feldspáticas por intemperismo provocado pela água da chuva ou em movimento em temperatura ambiente, ou pela ação hidrotermal onde as rochas são alteradas ainda 21 com a presença de fase líquida, geralmente aquosa, que se apresenta com temperaturas entre  $50^\circ\text{C}$  e  $500^\circ\text{C}$ .

Segundo Barba (1997) o caulim é uma argila formado por aluminossilicatos hidratados, como a caulinita e a haloisita. É de coloração branca e funde a  $1800^\circ\text{C}$ . Seu principal constituinte é a caulinita que é um filossilicato, do sub-grupo dos argilo-minerais. Embora o mineral caulinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) seja o principal constituinte do caulim, outros elementos acham-se geralmente presentes.

O caulim confere plasticidade, sendo fundamental do ponto de vista composicional para aumentar o teor de alumina e auxiliar na brancura do produto (RODRIGUES, 2004).

### **2.7.1.3 Feldspato**

Segundo Salvador (2007) o feldspato pertence ao grupo de minerais mais abundantes na crosta terrestre constituindo cerca de 60% da mesma. Compõe um grupo de minerais formados por silicatos de alumínio com K, Na, Ca e Ba. Foram gerados durante a cristalização das rochas ígneas e pelas atividades hidrotermais. São os principais constituintes dos pegmatitos (GEREMIAS, 2003).

Para Moraes (2007) os álcalis encontrados nas argilas são quase totalmente devido aos feldspatos, micas ou cátions trocáveis. São agentes fundentes e, portanto, indesejáveis para materiais refratários, porém são fundamentais para a vitrificação de porcelanas e outros produtos de cerâmica branca.

De acordo com Maruchin (2007), os feldspatos mais usados na indústria cerâmica são os sódicos e os potássicos, sendo que na produção do porcelanato é preferível a utilização de feldspato sódico ao invés do feldspato potássico, pois o primeiro apresenta um maior caráter fundente do que o segundo. Normalmente, na fabricação do porcelanato, esta matéria-prima é a que possui maior custo, sendo que a porcentagem usada nas dosagens variam de 35 a 50%.

## **2.8 Sustentabilidade na Construção Civil**

A palavra sustentabilidade tem várias definições, mas a maioria das pessoas concordam que implica em produzir bens com a menor carga ambiental, de forma a preservar o ambiente de degenerações futuras. A definição da Conferência do Rio de 1992 inclui outras dimensões ao conceito, além da puramente ambiental: a dimensão social, que implica em distribuição mais equitativa do desenvolvimento interno do país e entre países e a dimensão democrática que procura aumentar a participação nas decisões públicas (John, 2001). Todas estas dimensões são igualmente importantes.

A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado. Sua adoção é “um caminho sem volta”, pois diferentes agentes – tais como governos, consumidores, investidores e associações – alertam, estimulam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas em suas atividades.

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos. No entanto, comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000), dos 5.475 municípios brasileiros, 489 têm entre 50 e 70% dos seus resíduos coletados, 728 entre 70 e 80%, 771 entre 80 e 90%, 525 entre 90 e 99% e 1.814 têm 100% coletados. Também, foi identificado que 194 municípios não tinham a informação ou não declararam qual a porcentagem coletada.

De acordo com Monteiro et al (2001), no Brasil, a geração de resíduos da construção e demolição (RDC) é de, aproximadamente, 300 kg/m<sup>2</sup> a partir de novas edificações, enquanto países desenvolvidos geram 100 kg/m<sup>2</sup>. Em cidades com 500 mil ou mais habitantes os RCD representam, aproximadamente, 50% do peso dos resíduos sólidos urbanos coletados.

Segundo pesquisadores como Hendriks (2000) e Pinto (1999), estudos demonstram que 40% a 70% da massa dos resíduos urbanos são gerados em canteiros de obras. Infelizmente, cerca de 50% do entulho gerado são dispostos irregularmente na maioria dos centros urbanos brasileiros de médio e grande porte.

Com a aprovação da Resolução 307 do Conama de 05/07/2002 que dispõe sobre o gerenciamento de resíduos de construção e demolição, aos poucos se percebe um avanço na busca da minimização dos impactos causados pelos resíduos sólidos gerados em canteiros de obras. De acordo com a Resolução 307, os geradores de resíduos são responsáveis pela gestão dos resíduos, certificando-se de que sejam quantificados, armazenados, transportados e encaminhados para locais onde possam ser aproveitados ou depositados corretamente.

Considerando que a maior parte do conteúdo de uma caçamba é totalmente reciclável e é matéria prima para processos produtivos, destaca-se a responsabilidade dos geradores no fortalecimento do processo de reciclagem desses resíduos, o que significa assegurar a qualidade da segregação, ou seja, que os resíduos sejam separados seletivamente de acordo com a classificação da Resolução 307 do CONAMA.

Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço. Este atraso tem vários componentes. Em primeiro lugar, os repetidos problemas econômicos e os prementes problemas sociais ocupam

a agenda de discussões políticas. Mesmo a discussão mais sistemática sobre resíduos sólidos é recente. No Estado de São Paulo só recentemente iniciou-se a discussão de uma Política Estadual de Resíduos Sólidos, na forma de um texto de lei aprovado pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente. Este projeto de Lei estabelece uma política sistemática de resíduos, incluindo ferramentas para minimização e reciclagem de resíduos. Atualmente está em discussão no CONAMA um texto que consolida os 6 projetos de lei em tramitação no Congresso Nacional<sup>1</sup>.

Assim, em larga medida a questão ambiental no Brasil, ainda é tratada como sendo um problema de preservação da natureza, particularmente florestas e animais em extinção, deposição em aterros adequadamente controlados e controle da poluição do ar, com o estado exercendo o papel de polícia. A recente lei federal de crimes ambientais (nº9.605, 13 Fev 1998) revela um estado ainda mais voltado a punição das transgressões a legislação ambiental vigente do que em articular os diferentes agentes sociais na redução do impacto ambiental das atividades, mesmo que legais, do desenvolvimento econômico.

Um contraponto a esta ação predominantemente policial foi a iniciativa pelo Governo do Estado de São Paulo, através da CETESB, de implantação de 17 Câmaras Ambientais setoriais, inclusive construção civil. Recentemente o governo federal através da portaria antigo Ministério da Indústria, Comércio e Turismo nº92 (06 Agosto 1998) criou um grupo de trabalho inter-ministerial com o objetivo de elaborar proposta de Programa Brasileiro de Reciclagem que estabeleça diretrizes que permitam incrementar e valorizar a utilização, como matérias-primas, de resíduos industriais, minerais e agropecuários, bem como o desenvolvimento do parque industrial nacional reciclador (MCT, 1999). Embora a portaria tenha estabelecido um prazo de 90 dias para o encerramento dos trabalhos, até o momento não se tem nenhum desdobramento prático e teme-se que a iniciativa tenha sido afetada no processo de transição do governo federal. Uma medida positiva foi a promulgação no dia 12 de Maio de 1999 da Lei do Estado de São Paulo nº10.311, do Selo Verde, um certificado de qualidade ambiental, a ser conferido pela CETESB, a estabelecimentos sediados no Estado de São Paulo que executem programas de proteção e preservação do meio ambiente, com efetivo cumprimento das normas ambientais (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999).

Apesar de não ser voltada para a identificação de produtos, trata-se de um avanço significativo. A inexistência destas marcas de qualidade ambiental de produtos demonstra que, diferente de outros países, as empresas brasileiras que eventualmente reciclem não utilizam

sua contribuição ambiental como ferramenta de marketing, apesar do consumidor, mantido o preço e a qualidade, preferir produtos com menor impacto ambiental (MORENO, 1998).. Um das causas possíveis para este aparente desinteresse é um eventual receio de que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade. Esta dúvida somente pode ser resolvida através de pesquisa de mercado.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização dos materiais utilizados

Para a produção do experimento foi realizado a caracterização dos materiais, com objetivo de conhecer as principais propriedades dos materiais constituintes do concreto.

##### 3.1.1 Cimento Portland CII-E-32

Com base na resistência admitida para o cálculo do traço referência (30 MPa) e no grupo à qual pertence o concreto em estudo, segundo a ABNT NBR 6118:2014, optou-se por usar o Cimento Portland CII-E-32, da marca Cimento Tocantins. Cujas as características fornecidas pelo fabricante encontram-se na tabela 01.

**TABELA 01** – Características do Cimento CII-E-32

Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Finura		Tempo de Pega		Expansividade		Resistência a Compressão (MPa)		
	Resíduo na peneira 75mm (%)	Área específica (m <sup>2</sup> /Kg)	Início (h)	Término (h)	A Frio (mm)	A Quente (mm)	1 dia	7 dias	28 dias
3,20	≤ 12,00	≥ 260,00	1,00	≤ 10,00	≤ 5,00	≤ 5,00	-	20	32

Fonte: Votorantim Cimentos, 2016.

##### 3.1.2 Agregados

No laboratório de Engenharia Civil CEULP/ULBRA foram realizados os seguintes ensaios, com o objetivo de conhecer melhor suas propriedades e características dos agregados graúdos e miúdos utilizados no experimento:

- Determinação da massa específica (NBR NM 9779/87);
- Determinação da massa unitária (NBR NM 45/2006);
- Determinação da composição granulométrica (NBR NM 248/03);
- Determinação do índice de forma (NBR NM 7809:06);
- Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente e absorção (NBR NM 53/2009);

### 3.1.2.1 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado no experimento encontrava-se disponível no CEULP/ULBRA, possui granulometria denominada de fina, onde a mesma foi previamente seca e sua caracterização encontra-se na tabela 02 e análise granulométrica na tabela 03. A figura 01 ilustra sua curva granulométrica.

**TABELA 02 – Características da areia fina**

Agregado Miúdo Areia Fina		
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,64	NBR NM 9779/87
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	1,52	NBR NM 45/2006
Diâmetro máximo (mm)	4.8	NBR NM 248/03

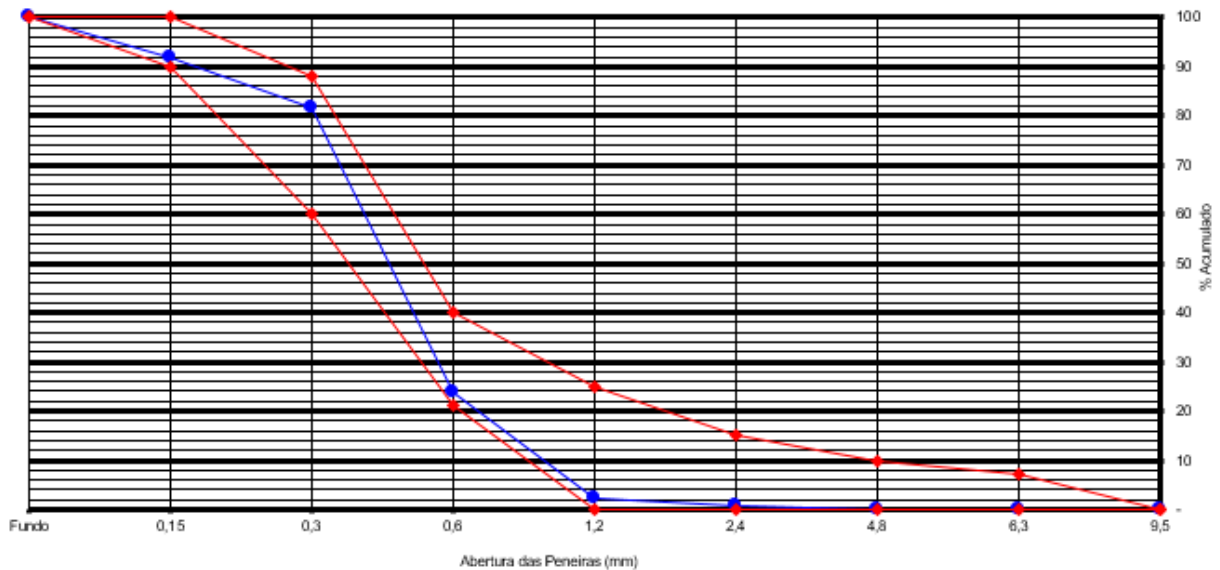
Fonte: Próprio Autor, 2016

**TABELA 03 – Composição granulométrica do agregado miúdo areia fina**

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO			
		MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA				ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
Pol / N°	(mm)	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA
4	4,8	0,40	0,08	0,08	0,20	0,04	0,04	0,06	0,06	0 – 5	0 – 10	0 – 11	0 – 12
8	2,4	2,90	0,58	0,66	2,10	0,42	0,46	0,50	0,56	0 – 5	0 – 15	0 – 25	5 – 40
16	1,2	9,30	1,86	2,52	8,40	1,68	2,14	1,77	2,33	0 – 10	0 – 25	10 – 45	30 – 70
30	0,6	110,00	22,00	24,52	105,60	21,12	23,26	21,56	23,89	0 – 20	21 – 40	41 – 65	66 – 85
50	0,3	283,00	56,60	81,12	294,80	58,96	82,22	57,78	81,67	50 – 85	60 – 88	70 – 92	80 – 95
100	0,15	50,00	10,00	91,12	50,60	10,12	92,34	10,06	91,73	85–100	90–100	90–100	90 – 100
FUNDO		44,40	8,88	100,00	38,30	7,66	100,00	8,27	100,00	100	100	100	100
TOTAL		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00					
DIF. DA AMOSTRA		-	-		-	-		-		DETERMINE A ZONA:			2,00
MÓDULO DE FINURA		2,00			2,00			2,00					Areia Fina
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA		4,8											

Fonte: Próprio Autor, 2016

**FIGURA 01-** Curva Granulométrica da Areia Fina



Fonte: Próprio autor, 2016.

### 3.1.2.2 Agregado Graúdo

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dois tipos de agregado graúdo: Brita 1 e Porcelanato Brita 1.

- **Brita 1**

Na dosagem do traço referência, e na dosagem com 25% e 50% de porcelanato triturado, foi utilizado o agregado graúdo brita I, de origem basáltica e proveniente da região de Palmas/TO. De acordo com os parâmetros da NBR 248/2003, estabelece que a delimitação deste agregado dar-se através da abertura das peneiras quadradas com tamanho mínimo de 9,5 mm e tamanho máximo de 19 mm. A caracterização encontra-se na tabela 04 e análise granulométrica na tabela 05. A figura 02 ilustra sua curva granulométrica.

**TABELA 04** – Características da Brita 1

Agregado Graúdo Brita 1		
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,70	NBR NM 9779/87
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	1,50	NBR NM 45/2006
Diâmetro máximo (mm)	19,00	NBR NM 248/03

Fonte: Próprio autor, 2016.

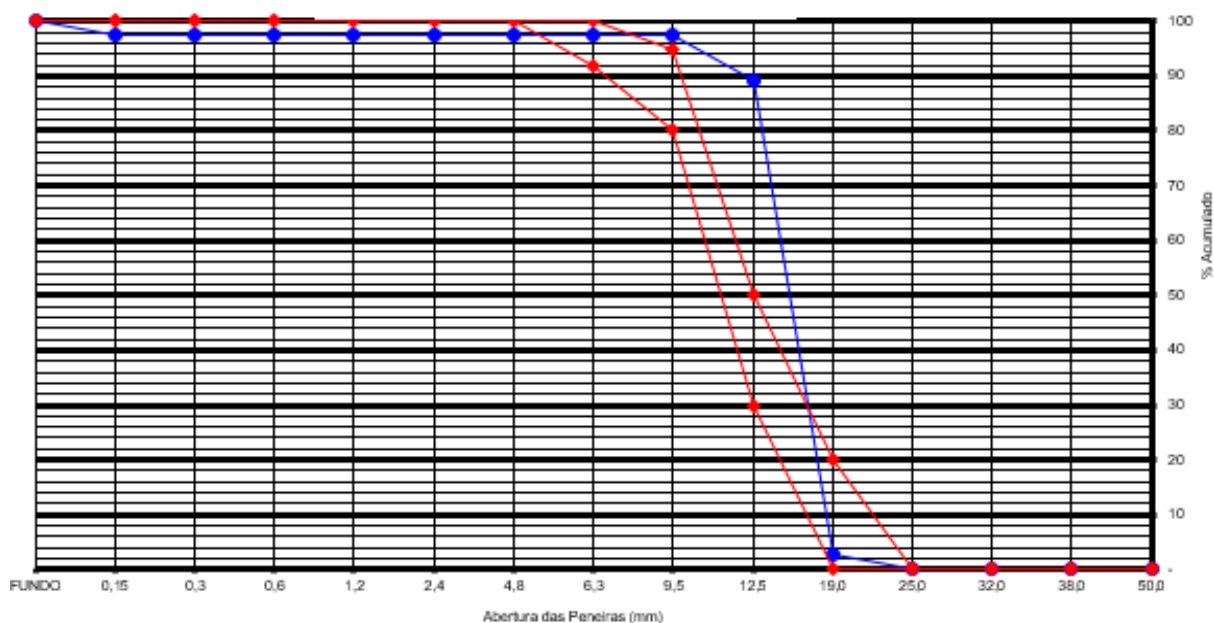


**TABELA 05 – Composição granulométrica do Agregado Graúdo Brita 1**

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO							
		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		Simples	Acumul.	GRADUAÇÃO							
Pol / Nº	(mm)		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.			0	1	2	3				
	19,00	90,00	1,80	1,80	200,00	4,00	4,00	2,90	2,90	0 - 15	0 - 20	65 - 95	95 - 100				
	12,50	4.350,00	87,00	87,00	4.300,00	86,00	90,00	86,50	89,40	5 - 25	30 - 50	92 - 100	100 - 100				
	9,50	400,00	8,00	95,00	405,00	8,10	98,10	8,05	97,45	10 - 30	80 - 95	95 - 100	100 - 100				
	FUNDO	160,00	3,20	98,20	95,00	1,90	100,00	2,55	100,00	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100				
	TOTAL	5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00		FAIXA GRANULOMÉTRICA							
	TOTAL DA AMOSTRA	5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00		DETERMINE GRADUAÇÃO:							
	DIF. DA AMOSTRA	-	-		-	-		-						1			
	MÓDULO DE FINURA	6,67		6,91		6,79			Brita								
	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:	19,0															

Fonte: Próprio autor, 2016.

**FIGURA 02- Curva Granulométrica da Brita 1**



Fonte: Próprio autor, 2016.

- **Porcelanato brita 1**

Na dosagem do traço do experimento, com porcentagens de 25%, 50% e 100% do agregado graúdo substituinte, foi utilizado porcelanato triturado, adquirido do descarte de lojas de material de construção, devido às avarias que impossibilitam sua comercialização, na cidade de Paraíso do Tocantins/TO. Após a realização dos ensaios granulométricos, constatou que sua granulometria é equivalente ao da brita I, de acordo com os parâmetros da NBR 248/2003.

Nas tabelas 06 e 07, é possível conferir as características do material e sua composição granulométrica. Na figura 03 apresenta sua curva granulométrica.

**TABELA 06 – Características do Porcelanato Triturado**

Agregado Graúdo Brita 1 (Porcelanato)		
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,30	NBR NM 9779/87
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	1,10	NBR NM 45/2006
Diâmetro máximo (mm)	19,00	NBR NM 248/03

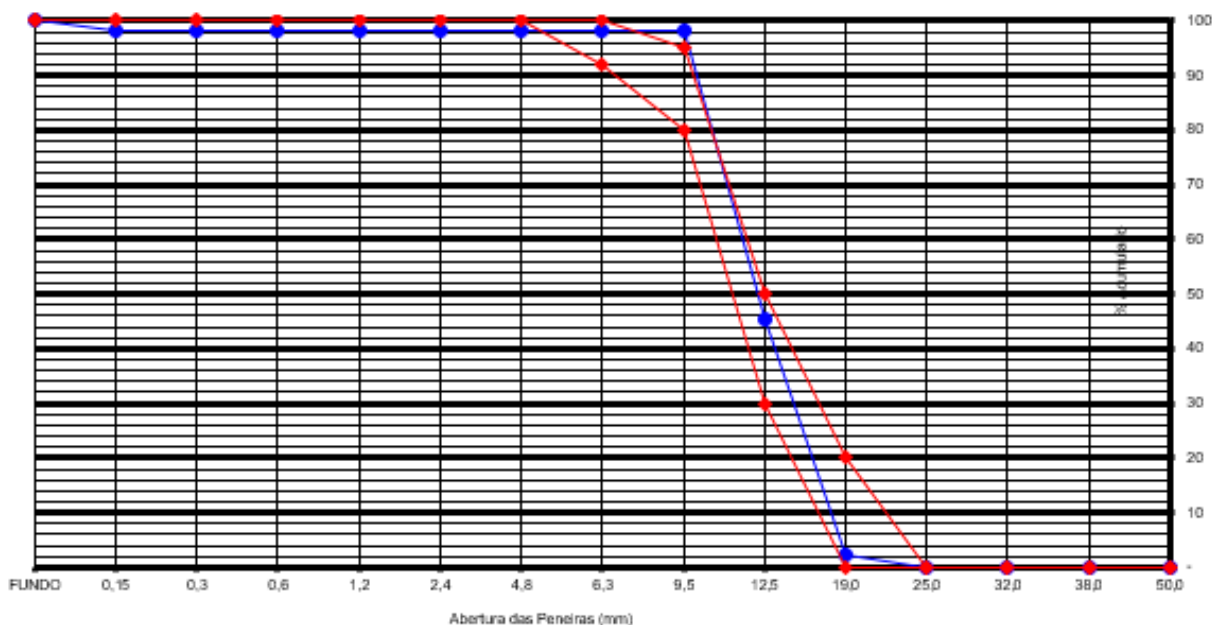
Fonte: Próprio autor, 2016.

**TABELA 07 – Composição granulométrica do Porcelanato Triturado**

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO				
		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA	Simples	Acumul.	GRADUAÇÃO				
Pol / N°	(mm)	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	0	1	2	3
	19,00	120,00	2,40	2,40	110,00	2,20	2,20	2,30	2,30	0 - 15	0 - 20	65 - 95	95 - 100
	12,50	2.120,00	42,40	42,40	2.200,00	44,00	46,20	43,20	45,50	5 - 25	30 - 50	92 - 100	100 - 100
	9,50	2.660,00	53,20	95,60	2.600,00	52,00	98,20	52,60	98,10	10 - 30	80 - 95	95 - 100	100 - 100
	6,30		-	95,60		-	98,20	-	98,10	40 - 80	92 - 100	100 - 100	100 - 100
	FUNDO	100,00	2,00	97,60	90,00	1,80	100,00	1,90	100,00	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
	TOTAL	5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
	TOTAL DA AMOSTRA	5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00					
	DIF. DA AMOSTRA	-	-		-	-		-		DETERMINE GRADUAÇÃO:		1	
	MÓDULO DE FINURA	6,72		6,90			6,81						
	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:			19,0								Brita	

Fonte: Próprio autor, 2016.

**FIGURA 03- Curva Granulométrica do Porcelanato Triturado**



Fonte: Próprio autor, 2016.

### 3.2 Programa experimental

O programa experimental é composto por duas etapas, à caracterização dos materiais componentes do concreto e sua produção. Com o objetivo de avaliar e compreender o comportamento dos concretos do grupo I (C20 a C50) com substituição parcial e total dos agregados graúdos comuns por agregados obtidos do porcelanato. A tabela 08 apresenta a sequência da realização de todas as etapas do programa experimental.

**TABELA 08** – Sequência das atividades do programa experimental

1º	<b>OBTENÇÃO DO PORCELANATO</b>	Realizar limpeza e separação das peças.
2º	<b>MOAGEM DO PORCELANATO</b>	Realizar moagem com uso de marreta e moinho, obter brita 1.
3º	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS</b>	Caracterização dos materiais componentes do concreto.
4º	<b>DEFINIÇÃO DO TRAÇO REFERÊNCIA</b>	Método de Dosagem Seven Steps Method ACI 211.1-91.
5º	<b>CONCRETAGEM DOS CORPOS DE PROVA</b>	Concreto no estado fresco: Trabalhabilidade, slump test.
6º	<b>ENSAIOS</b>	Concreto no estado endurecido: Resistência a compressão axial, resistência a tração na compressão diametral, Módulo estático de elasticidade na compressão, absorção de água por imersão.
7º	<b>RESULTADOS</b>	Análise e discussão dos resultados.

Fonte: Próprio autor, 2016.

Para os ensaios do experimento foram concretados 15 corpos de prova para cada dosagem, sendo:

- 02 unidades com dimensões de 15 cm por 30 cm, para o ensaio de resistência à tração na compressão diametral aos 28 dias;
- 13 unidades com dimensões de 10 cm por 20 cm, distribuídos:
  - 03 corpos de prova para cada idade (7, 14 e 28 dias) no ensaio de resistência a compressão axial;

02 corpos de prova para a idade de 28 dias no ensaio de módulo estático de elasticidade à compressão;

02 corpos de prova para a idade de 28 dias no ensaio de absorção de água por imersão;

### 3.2.1 Aquisição do Porcelanato

Todo o porcelanato utilizado no experimento, foi cedido por lojas de materiais de construção, na cidade de Paraíso do Tocantins/TO, onde estes seriam descartados devido às avarias que os tornam impossíveis de serem comercializados. Ao todo foram obtidos 150 kg do material necessário, sem nenhum critério de escolha quanto a sua composição ou textura. A figura 04 mostram todo o material obtido.

**FIGURA 04-** Porcelanato utilizado no experimento



**Fonte:** Próprio autor, 2016.

Todo o material recolhido foi devidamente analisado afim de evitar qualquer tipo de sujeira ou material que prejudicasse as propriedades físicas e químicas dos concretos experimentais. Após a obtenção das peças de porcelanato, todo o material foi encaminhado ao laboratório de Engenharia de Minas CEULP/ULBRA, onde local encontra-se um moinho de martelo, utilizado para a moagem do porcelanato.

### 3.2.2 Processamento do Porcelanato

Para a obtenção do agregado graúdo a partir do porcelanato foi necessário primeiramente realizar a quebra das placas, afim de reduzir o tamanho do material, tornando-o compatível com a largura da abertura máxima do moinho de martelo GME, modelo 257 HX, que é de 150mm. Para isso, as placas foram colocadas em cima de uma bancada emborrachada e com o auxílio de uma marreta, foram deferidos vários golpes sobre o porcelanato, preparando-o para o processo de moagem, conforme mostra a figura 05.

**FIGURA 05** - Moagem manual do porcelanato



**Fonte:** Próprio autor, 2016.

Em seguida, com as placas quebradas, estas foram lançadas no moinho de martelo, realizando o processamento do porcelanato. Afim de obter um melhor resultado, foi necessário repetir esta operação de 04 a 06 vezes, tornando as dimensões do material processado próximas do tamanho ideal, ou seja, ao do agregado graúdo brita 1.

Realizado todo o processamento do porcelanato no moinho de martelo, o material resultante foi encaminhado para a classificação granulométrica manual, com auxílio das peneiras de aberturas quadradas com diâmetro mínimo de 9,5mm e máximo de 19mm, referente a brita 1.

Todo o material passante na peneira 19mm e retido na peneira de 9,5mm foi armazenado e o passante na peneira de 9,5mm foi encaminhado para o descarte. A figura 06 mostra o material retido e passante nas peneiras de 9,5mm e 19mm respectivamente.

**FIGURA 06** - Porcelanato utilizado no experimento



Fonte: Próprio autor, 2016.

Após a separação granulométrica do porcelanato processado, obteve-se 120kg do agregado graúdo para as dosagens do traço com uso de 25%, 50% e 100% do material substituto (porcelanato) no experimento.

### **3.2.3 Definição do traço referência**

Após a realização os ensaios com os agregados no laboratório de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA foi elaborado o traço referência de 30 MPa, seguindo os passos do método de dosagem Seven Steps Method ACI 211.1-91, sendo este método só pode ser utilizado para concretos com resistência inferior ou igual a 50 MPa. Outro ponto importante do método de dosagem é que deve-se adotar o abatimento de acordo com o tipo de componente estrutural que o concreto será empregado, afim de efeito de cálculo, admitimos o uso em vigas e pilares com abatimento que garantisse uma pasta com melhor trabalhabilidade, sendo de  $100 \pm 20$  mm. Os dados da tomada de decisões do traço encontram-se na tabela 09, já as tabelas 10 e 11, apresentam os traços em massa e volume, respectivamente.

**TABELA 09** – Composição das informações para a elaboração da dosagem do traço referência

DOSAGEM CONCRETO BASE													
Abatimento	Ø Ag. Graúdo (mm)	Água (m³)	Ar (m³)	A/C		Teor Cim (Kg/m³)	Teor Ag. Graúdo (kg/m³)	Teor Ag. Miúdo					
				Fcj	A/C			Vol. Abs. Água (m³)	Vol. Abs. Cim (m³)	Vol. Abs. Ag. G (m³)	Vol. Abs. Ar (m³)	Vol. Abs. A. M (m³)	Massa A. M (Kg/m³)
10 ± 2	19,00	0,20	0,02	36,6	0,45	451,54	1.017,14	0,205	0,141	0,38	0,02	0,25	676,52

Fonte: Próprio autor, 2016.

**TABELA 10** – Dosagem do traço referência em massa

TRAÇO EM MASSA (Kg)			
Cimento	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	A/C
1,00	1,49	2,25	0,45

Fonte: Próprio autor, 2016.

**TABELA 11** – Dosagem do traço referência em volume

TRAÇO EM VOLUME (m³)			
Cimento	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	A/C
1,00	0,99	1,55	0,45

Fonte: Próprio autor, 2016.

Com o referido traço foi possível apresentar a massa específica do concreto referência, conforme mostra a tabela 12.

**TABELA 12** – Resumo dos materiais

Resumo dos Materiais				
Água (l)	Cimento (Kg)	Ag. Graúdo (Kg)	Ag. Miúdo (Kg)	Massa Esp. Concreto (kg/m³)
205,00	451,54	1.017,14	676,52	2.350,21

Fonte: Próprio autor, 2016.

### 3.2.4 Produção dos concretos

A seguir estão descritas as etapas de produção dos concretos, utilizado para as análises desse trabalho.

#### 3.2.4.1 Mistura dos materiais

A mistura dos materiais aconteceu no Laboratório de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA, foi feita em betoneira de eixo vertical, com capacidade de 400 litros,

previamente umedecida. Após isso os materiais que compõe traço referência, foram lançados em seu interior, adotando a seguinte ordem, para concreto convencional: Agregado Graúdo, 50% de Água, Cimento, Agregado Miúdo, 50% da Água.

### 3.2.4.2 Definição dos volumes de porcelanato por dosagem

Para os traços com substituição da brita I pelo porcelanato foi necessário realizar equivalência de volumes entre os dois. Por se tratar de matérias com massa específica e forma dos grãos diferente, a substituição foi feita em relação ao volume, pois 1kg de brita I possui um volume menor em relação a 1kg de porcelanato.

Sendo assim, foi preciso levantar o volume total de concreto utilizado para a concretagem de todos os corpos de prova. A tabela 13 apresenta quantidade de corpos de prova para cada ensaio e seus respectivos volumes.

**TABELA 13** – Relação de volume de concreto por ensaio

Ensaio	Qtd. de corpos de prova	Diâmetro (m)	Altura (m)	Volume (m³)	Volume total (m³)
Resistência a Compressão Simples	9,00	0,10	0,20	0,002	0,014
Resistência a Tração por Compressão Diametral	2,00	0,15	0,30	0,005	0,011
Ensaio de Absorção de Água	2,00	0,10	0,20	0,002	0,003
Módulo de Elasticidade	2,00	0,10	0,20	0,002	0,003
				Σ Total	0,031
				Σ Total + 10%	0,034

Fonte: Próprio Autor, 2016.

Após o levantamento de todo o concreto necessário para cada dosagem, multiplicou o volume pelo teor de cimento e descobriu a quantidade de quilogramas de aglomerante que será consumido.

Em seguida, multiplicou a quantidade de cimento pelos coeficientes do traço em massa, definindo quantos quilogramas de cada um dos outros constituintes do concreto por traço. Na tabela 14 consta os quilogramas de cada material.

**TABELA 14** – Relação de Materiais

MATERIAL	Kg
Cimento	16,00
Agregado Miúdo	23,97
Agregado Graúdo	36,04
Água	7,26

Fonte: Próprio Autor, 2016.



Com base no quilograma de agregado graúdo necessário para a dosagem do traço referência, divide-se esse valor pela massa específica da brita I ( $\text{kg/m}^3$ ), multiplicando o resultado pela massa específica do porcelanato, obtendo o quilograma para a dosagem com 100% de agregado graúdo substituinte.

Para a obtenção dos valores das dosagens de 25% e 50% de porcelanato, multiplicou-se o quilograma total do agregado graúdo substituinte pelo o percentual a ser substituído, dividindo esse valor por 100. Para a brita I que completa os traços de 25% e 50%, o raciocínio foi o mesmo, só que com o quilograma total da brita I. As tabelas 15, 16 e 17 apresentam estes quantitativos.

**TABELA 15** – Relação de Materiais para dosagem de 25% de porcelanato

<b>MATERIAL 25%</b>	<b>Kg</b>
Cimento	16,00
Agregado Miúdo	23,97
Agregado Graúdo Brita I	25,94
Agregado Graúdo Porcelanato	7,42
Água	7,26

Fonte: Próprio Autor, 2016.

**TABELA 16** – Relação de materiais para dosagem de 50% de porcelanato

<b>MATERIAL 50%</b>	<b>Kg</b>
Cimento	16,00
Agregado Miúdo	23,97
Agregado Graúdo Brita I	17,29
Agregado Graúdo Porcelanato	14,84
Água	7,26

Fonte: Próprio Autor, 2016.

**TABELA 17** – Relação de materiais para dosagem de 100% de porcelanato

<b>MATERIAL 100%</b>	<b>Kg</b>
Cimento	16,00
Agregado Miúdo	23,97
Agregado Graúdo Brita I	-
Agregado Graúdo Porcelanato	29,68
Água	7,26

Fonte: Próprio Autor, 2016.

### 3.2.5 Abatimento

O abatimento determinado para a pesquisa foi fixado em  $100 \pm 20$  mm com resistência de 30 MPa aos 28 dias a serem determinados experimentalmente. Após a preparação do

concreto, foi realizado o slump test e o resultado obtido na dosagem referência foi satisfatório, sendo 110mm, tornando a trabalhabilidade bastante eficiente.

### **3.2.6 Moldagem**

De acordo com a ABNT NBR 5738/03, para cada dosagem foram moldados 15 corpos de prova, sendo que 13 unidades com dimensões de 10 cm por 20 cm para os ensaios de Resistência a Compressão Simples, Ensaio de Absorção de Água, módulo estático de elasticidade à compressão e 02 unidades com dimensões de 15cm por 30 cm para o ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral.

O processo de adensamento utilizado para o experimento foi manual conforme exposto na tabela 18, com o uso de uma haste metálica de 1,6 cm de diâmetro por 60 cm de comprimento. No molde 10 cm por 20 cm foram colocadas apenas duas camadas de concreto e executados 12 golpes por camada. Já nos moldes de 15 cm por 30 cm foram colocadas três camadas de concreto e executados 25 golpes por camada, medida tomada para que não houvesse segregação do concreto.

Para o concreto convencional foi utilizado o adensamento mecânico de vibração por imersão, sendo uma camada de concreto para os moldes de 10 cm por 20 cm e duas camadas de concreto para os moldes de 15 cm por 30 cm. Como desmoldante, foi utilizado óleo queimado, o qual foi aplicada com uma esponja. A figura 07 mostra o processo de moldagem e desmontagem dos corpos de prova.

**TABELA 18 - Procedimento para moldagem dos corpos de prova**

TIPO DE CORPO DE PROVA	DIMENSÃO BÁSICA (D) mm	NÚMERO DE CAMADAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE ADENSAMENTO		NÚMERO DE GOLPES PARA ADENSAMENTO MANUAL
		MECÂNICO	MANUAL	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	1	9	225
Prismático	150	2	2	75
	250	3	3	200
	450	-	-	-

<sup>1</sup>Para concretos com abatimento superior a 160 mm a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nessa tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Fonte: NBR 5738/03.

**FIGURA 07 – Moldagem dos corpos de prova**



Fonte: Próprio Autor, 2016.

Durante o procedimento de desmoldagem dos corpos de prova, nas diferentes dosagens, notou-se que o teor de argamassa em função ao teor de agregados, foi satisfatório. Pois nenhum dos corpos de prova apresentou notáveis problemas quanto a distribuição de argamassa e agregado, como também nenhuma “bicheira” que comprometesse no desempenho dos outros ensaios. Sendo assim, o processo de moldagem atendeu os requisitos desejáveis da norma NBR 5738/03.

### **3.2.7 Cura**

Conforme ABNT NBR 5738/03, após a concretagem os corpos de prova foram cobertos com material não absorvente, permanecendo assim por 24 horas. Em seguida foram desmoldados e colocados imersos em água até a idade dos ensaios mecânicos.

## 4. RESULTADOS E DISCURSÕES

### 4.1 Abatimento

Após a realização a mistura de materiais de cada dosagem, foi realizado o Slump test afim de verificar a trabalhabilidade do concreto experimental. Constatou-se que apenas a dosagem de 25% atendeu ao abatimento desejado dentro dos valores estipulados na elaboração do traço referência (100mm±20mm). Quanto maior a quantidade de porcelanato na mistura, maior a fluidez no concreto no estado fresco. Desta forma, pôde-se verificar que as características físicas do agregado substituto, como a forma do grão influenciou os resultados deste ensaio, uma vez que o teor de argamassa foi constante para todos os concretos. Um dos fatores que podem ter contribuído nesse resultado é a rugosidade do porcelanato, em função da sua menor resistência ao deslocamento da argamassa, ou seja, menor aderência da argamassa à superfície dos grãos do agregado.

Os resultados dos testes de abatimento encontram-se na tabela 19.

**TABELA 19** – Abatimento dos Traços

ABATIMENTO (mm)			
DOSAGEM REFERÊNCIA	DOSAGEM 25%	DOSAGEM 50%	DOSAGEM 100%
110	120	140	150

Fonte: Próprio Autor, 2016.

As figuras 08 e 09 apresentam o resultado dos slump tests das dosagens.

**FIGURA 08** – Resultado dos Slump tests concreto referência e dosagem 25%



(a) Abatimento concreto referência, (b) Abatimento dosagem 25% - **Fonte:** Próprio Autor, 2016.

**FIGURA 09** – Resultado dos Slump tests dosagem 50 e 100%

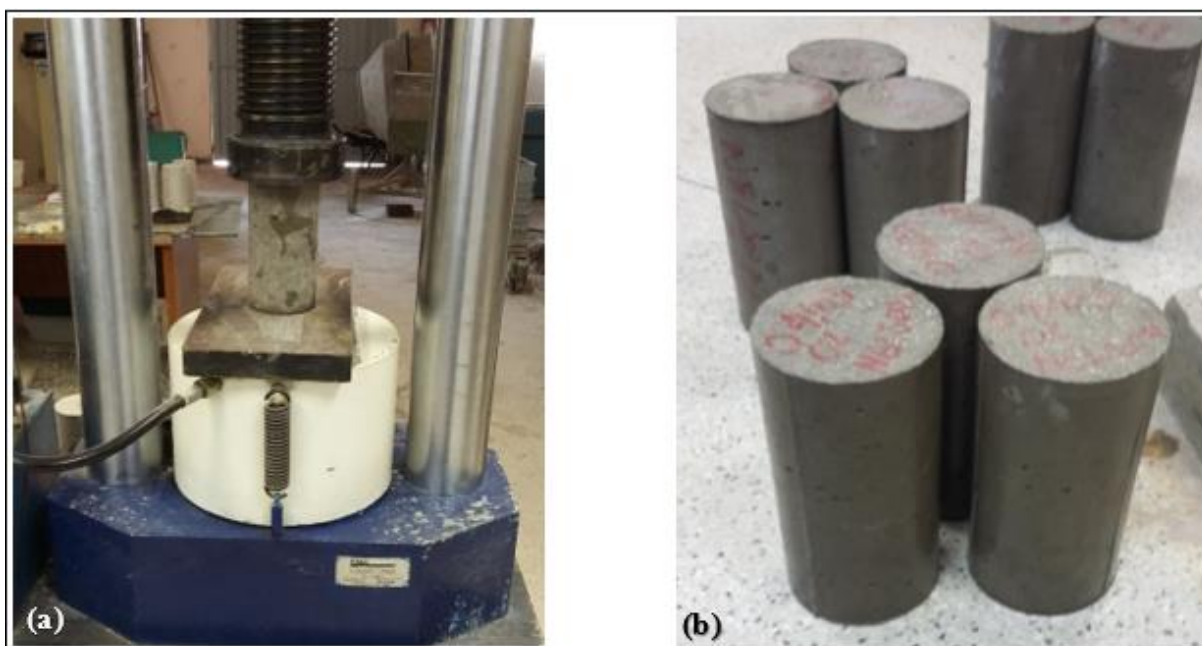


(a) Abatimento dosagem 50%, (b) Abatimento dosagem 100% - **Fonte:** Próprio Autor, 2016.

## 4.2 Resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial seguiu as recomendações estabelecidas na NBR 5739/ 07. Para a realização do ensaio foram moldados 3 corpos de prova ao invés de 02, como estabelece a norma, para cada umas das idades (7,14 e 28 dias), afim de obter a curva de Gauss. Os rompimentos deram-se na prensa hidráulica do laboratório de engenharia civil do CEULP/ULBRA, conforme figura 10.

**FIGURA 10** – Ensaio de resistência a compressão axial



(a) Rompimento do corpo de prova na prensa hidráulica, (b) Corpos de prova dos ensaios - **Fonte:** Próprio Autor, 2016.

Os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão axial podem ser observados na tabela 20, 21 e 22. Nas Tabelas constam os valores dos diâmetros e das alturas dos corpos de prova.

**TABELA 20** – Resistência à compressão aos 7 dias

TENSÕES DE RUPTURA AOS 7 DIAS (MPa)					
AMOSTRAS	DIMENSÕES (mm)	DOSAGEM REFERÊNCIA	DOSAGEM 25%	DOSAGEM 50%	DOSAGEM 100%
I	100x200	26,80	24,40	20,70	13,00
II	100x200	24,70	23,20	19,70	12,50
III	100x200	22,70	22,80	19,60	10,30
<b>MÉDIA</b>		<b>24,73</b>	<b>23,47</b>	<b>20,00</b>	<b>11,93</b>

**Fonte:** Próprio Autor, 2016.

**TABELA 21** – Resistência à compressão aos 14 dias

TENSÕES DE RUPTURA AOS 14 DIAS (MPa)					
AMOSTRAS	DIMENSÕES (mm)	DOSAGEM REFERÊNCIA	DOSAGEM 25%	DOSAGEM 50%	DOSAGEM 100%
I	100x200	31,20	31,20	24,80	18,90
II	100x200	31,10	29,00	24,30	19,90
III	100x200	31,22	29,90	24,50	21,90
<b>MÉDIA</b>		<b>31,15</b>	<b>30,03</b>	<b>24,55</b>	<b>20,23</b>

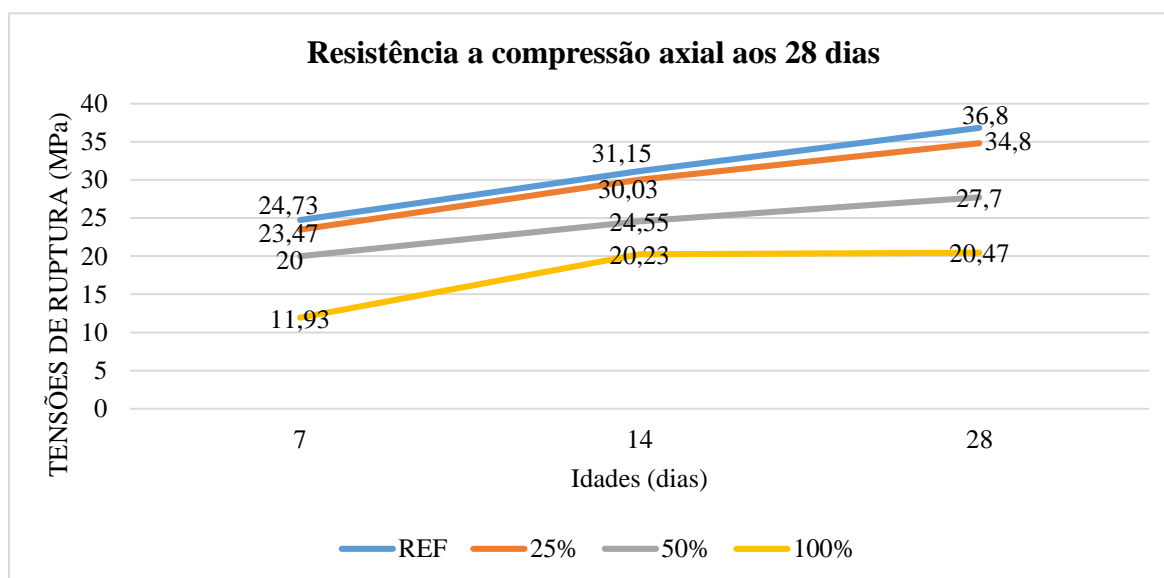
Fonte: Próprio Autor, 2016.

**TABELA 22** – Resistência à compressão aos 28 dias

TENSÕES DE RUPTURA AOS 28 DIAS (MPa)					
AMOSTRAS	DIMENSÕES (mm)	DOSAGEM REFERÊNCIA	DOSAGEM 25%	DOSAGEM 50%	DOSAGEM 100%
I	100x200	37,70	33,10	27,30	20,00
II	100x200	36,30	30,90	28,10	21,50
III	100x200	36,40	40,40	27,60	19,90
<b>MÉDIA</b>		<b>36,80</b>	<b>32,00</b>	<b>27,70</b>	<b>20,47</b>

Fonte: Próprio Autor, 2016.

Após a realização dos ensaios de compressão, com base nos resultados obtidos, constatou-se que quanto maior a proporção de agregados de porcelanato no traço, menor a capacidade de resistência a compressão simples, que pode ser observado na figura 11.

**FIGURA 11** – Evolução da resistência a compressão axial das dosagens nas idades de 7, 14 e 28 dias

Fonte: Próprio Autor, 2016.

Notou-se também que a ruptura ocorreu na matriz e na zona de transição, sendo uma das possíveis causas está associado as características físicas do porcelanato, sendo que este é



menos rugoso e possui uma camada vitrificada em uma das faces, o que dificulta a aderência entre a argamassa e o agregado.

RAO e PRASAD (2002) afirmaram que a rugosidade do agregado graúdo pode afetar diretamente a resistência final do concreto, pois é diretamente proporcional à tensão de aderência na interface entre o agregado e a argamassa. Esta interface chamada de zona de transição tem suas propriedades ligadas diretamente à resistência do concreto. Um agregado mais rugoso ou poroso tende a formar um concreto com uma zona de transição mais aderente. Tal comportamento pode ser observado na figura 12.

**FIGURA 12** – Amostra dos corpos de prova rompidos



**Fonte:** Próprio Autor, 2016.

Outro fator que pode ter influência na perda de resistência nas dosagens com maior teor de porcelanato é a relação água/cimento (A/C). Segundo os estudos realizados por ARNDT et al (2007), onde foram realizados testes com concretos similares variando o agregado graúdo entre uma brita com forma lamelar e outra tendendo a ser mais cúbica, os resultados obtidos em relação ao consumo de água foi uma redução de 10% nos traços com agregado de forma lamelar.

Como a relação água/cimento foi mantida para todas as dosagens, o porcelanato apresentou características desfavoráveis em comparação com o agregado graúdo convencional, principalmente em relação a sua baixa capacidade de absorção de água, que influencia diretamente a zona de transição, fazendo com que aconteça exsudação pela água de

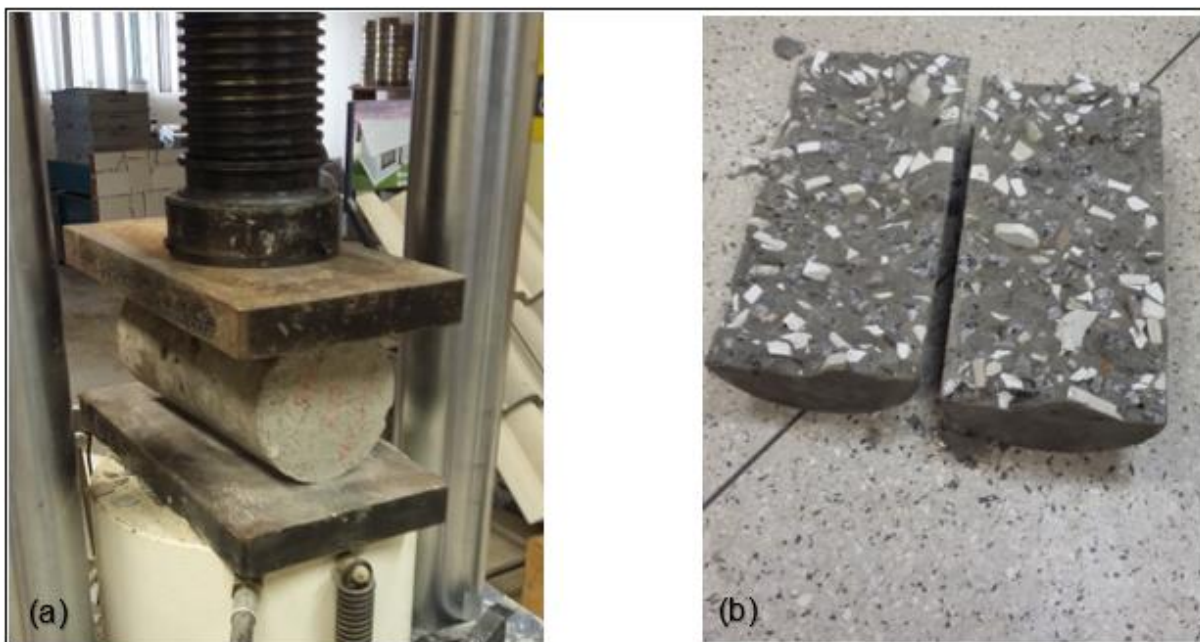
amassamento que deveria ser absorvida pelo agregado, podendo afetar na perda de resistência na região pasta agregado.

Outro fator que pode ter comprometido o desempenho das dosagens, está associado com a densidade do agregado substituto ser menor do que o agregado convencional. Segundo Carrijo (2005) observou que a resistência à compressão dos concretos reciclados foi sempre menor que a do concreto convencional e reduzia-se à medida que a massa específica dos agregados diminuía.

#### 4.3 Resistência à tração na compressão diametral

Para fazermos a resistência à tração na compressão diametral moldamos todos os CP's aos 28 dias, cada um com 2 CP's para cada dosagem, conforme figura 13. Os resultados são ilustrados na tabela 23.

**FIGURA 13** – Realização do ensaio de resistência a tração na compressão diametral



(a) Corpo de prova pronto para realização do ensaio, (b) Corpo de prova rompido - **Fonte:** Próprio Autor, 2016.

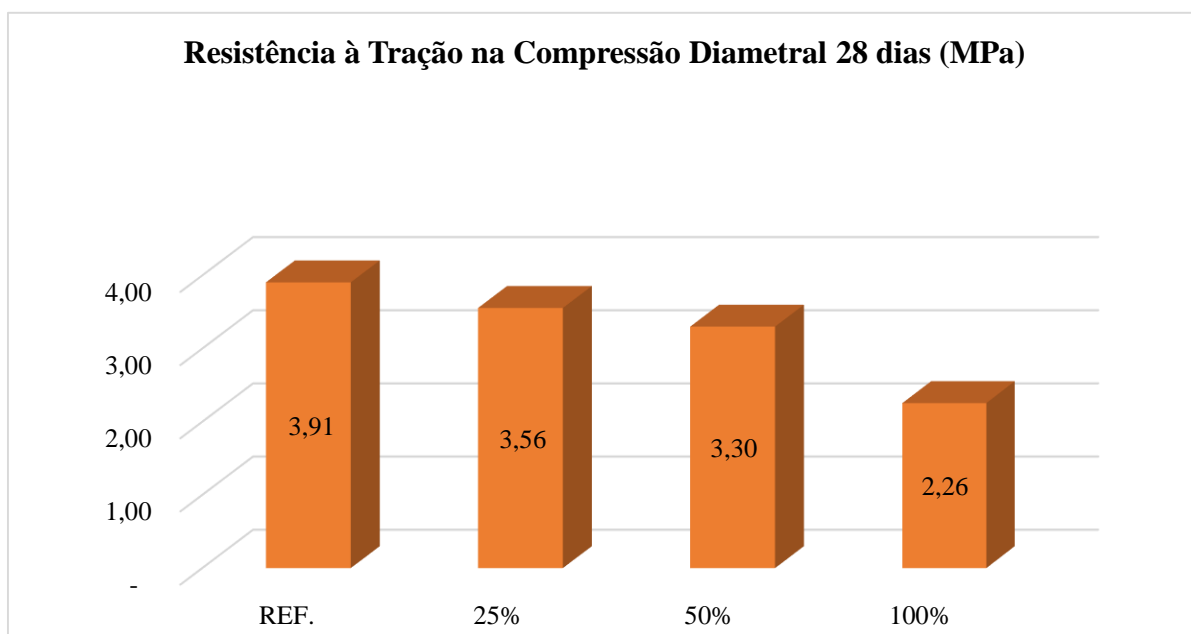
**TABELA 23** – Resultados da resistência à tração compressão diametral aos 28 dias

RESISTENCIA A TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL 28 DIAS (MPa)			
REF.	25%	50%	100%
3,91	3,56	3,30	2,26

**Fonte:** Próprio Autor, 2016.

Os valores para a resistência à tração na compressão diametral aos 28 dias obtidos no ensaio para as dosagens é 10% da resistência à compressão axial, confirmando a afirmação de Maia (2015), de que a resistência a tração está diretamente ligada a resistência a compressão axial, sendo proporcionais na ordem de 11% e 6,5% respectivamente. O que pode ser observado neste trabalho, onde em todas as dosagens são proporcionalmente iguais na ordem de 10%, quando comparadas a resistência a tração na compressão diametral em relação a resistência a compressão axial. A figura 14 apresenta o gráfico das resistências aos 28 dias.

**FIGURA 14** – Resultados do ensaio de resistência a tração na compressão diametral



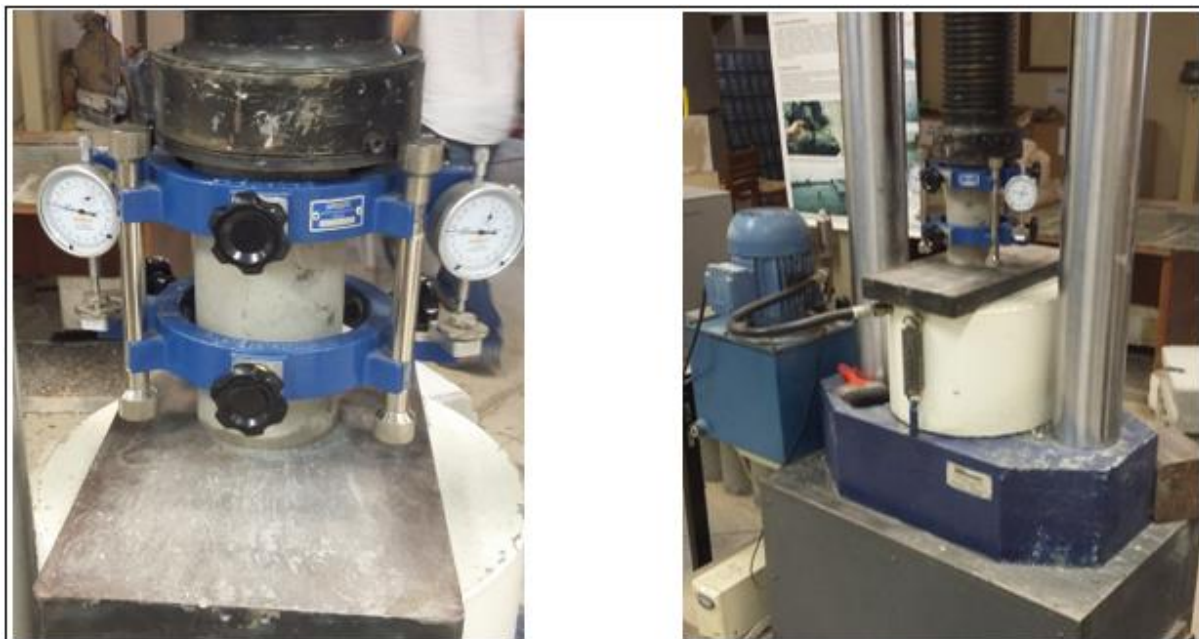
**Fonte:** Próprio Autor, 2016.

A forma e a textura superficial do agregado têm considerável influência sobre a resistência do concreto, sendo a resistência à tração mais afetada que a resistência à compressão. Esse comportamento pode ser observado neste trabalho, pois quando submetido os corpos de prova nos ensaios de resistência, observou-se um “desprendimento” do porcelanato da pasta matriz, principalmente nas faces do agregado que continham uma camada vitrificada, sendo que a medida que aumentaram as porcentagens do agregado substituto nas dosagens, menor a resistência em relação ao traço referência.

#### 4.4 Módulo estático de elasticidade à compressão

O ensaio do módulo de elasticidade foi realizado de acordo com os parâmetros da NBR 8522/08, ilustrado na figura 15, obtendo os seguintes resultados de acordo com a tabela 24:

**FIGURA 15** – Ensaio do módulo estático de elasticidade à compressão



Fonte: Próprio Autor, 2016.

**TABELA 24** – Resultados do módulo estático de elasticidade à compressão aos 28 dias

IDADE	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)			
	DOSAGENS			
	REF.	25%	50%	100%
28 dias	33,74	33,23	30,28	29,01
	32,81	31,66	29,78	28,45
Média	<b>33,28</b>	<b>32,45</b>	<b>30,03</b>	<b>28,73</b>

Fonte: Próprio Autor, 2016.

Assim como nos ensaios de resistência a compressão axial e tração na compressão diametral, pode-se observar que quanto maior o percentual do agregado de porcelanato na mistura, menor também o módulo estático de elasticidade à compressão.

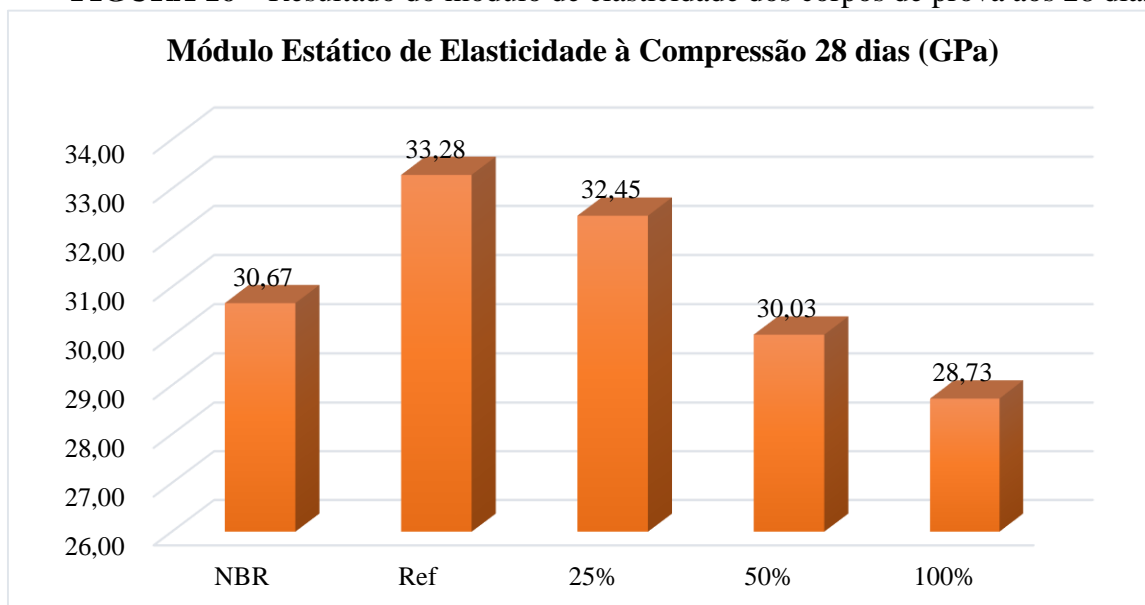
Nesse contexto, segundo Metha (1998), o módulo de elasticidade do concreto depende da porosidade de suas fases (pasta, agregado e zona de transição). Dessa forma, muitos comportamentos observados na resistência repetem-se no módulo de elasticidade. No caso do agregado, sua dimensão máxima, forma, textura superficial, granulometria e composição

mineralógica também podem influir no módulo de elasticidade por influenciar a microfissuração da zona de transição. Todavia, a porosidade é mais importante em virtude de estar ligada à sua rigidez, resistência.

Vários fatores podem interferir no resultado do módulo de elasticidade do concreto, segundo Helene e Andrade (2010), dentre eles, podemos destacar a consistência do concreto fresco e resistência à compressão do concreto. No experimento realizado pode-se observar que a medida que o percentual do porcelanato aumentou na mistura, o concreto no estado fresco ganhou uma consistência mais fluída, e quando realizada a cura, apresentou uma baixa resistência a compressão.

Ao comparar os valores obtidos nos resultados do ensaio com o calculado através da expressão fornecida pela NBR 6118/14, podemos observar que as características do agregado influenciam diretamente o nas propriedades do concreto. Enquanto o agregado graúdo convencional obteve uma resistência 8,5% superior ao valor calculado pela equação da norma, as dosagens com o agregado de porcelanato apresentaram resistência inferior a partir dos percentuais de 50%, no entanto, a dosagem de 25% mostrou-se eficiente, com resistência 5% superior a majorada pela norma. Tal comportamento pode ser observado na figura 16.

**FIGURA 16** – Resultado do módulo de elasticidade dos corpos de prova aos 28 dias



Fonte: Próprio Autor, 2016.

#### 4.5 Determinação da absorção de água por imersão

Após os ensaios de absorção de água, normatizado pela NBR 9778/09 temos os seguintes resultados apresentados na tabela 25. O traço referência apresentou uma média de absorção de 4,95% e o traço com 25, 50 e 100% de resíduo apresentou uma média de 5,53, 5,97 e 6,42%, respectivamente. Porém, com relação ao traço padrão, o traço com 100% de resíduo apresentou um aumento de cerca de 30%. Desta forma, o ensaio demonstrou o alto índice de absorção do concreto com porcelanato.

**TABELA 25** – Resultados da Absorção de água por imersão (%)

<b>DOSAGEM</b>	<b>CPI</b>	<b>CPII</b>	<b>MÉDIA</b>
REF.	4,75	5,14	<b>4,95</b>
25%	5,62	5,43	<b>5,53</b>
50%	5,79	6,14	<b>5,97</b>
100%	5,99	6,85	<b>6,42</b>

**Fonte:** Próprio Autor, 2016.

Seguindo o comportamento dos ensaios anteriores, os corpos de prova com maior teor porcelanato na sua mistura foram os que mais absorveram água. Este resultado evidencia que os concretos com agregado substituto tiveram uma matriz mais porosa.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalização do trabalho pode-se constatar que o mesmo atingiu o seu objetivo principal, visto que foram analisadas as propriedades dos concretos produzidos com a substituição de 25, 50 e 100% do agregado graúdo convencional (brita 1) por agregado graúdo obtido através da moagem dos resíduos de porcelanato.

Com relação aos objetivos secundários, os resultados também foram alcançados, pois foi possível realizar as verificações das propriedades mecânicas dos concretos quanto à resistência à compressão, resistência à tração (tração por compressão diametral) e módulo de elasticidade dos concretos nas diferentes dosagens, além de analisar a capacidade de absorção de água por imersão dos mesmos.

Com isso, a execução dos objetivos possibilitou a retirada de algumas considerações acerca do concreto desenvolvido e dos ensaios realizados, principalmente no que se diz respeito aos materiais que compõe a mistura, em especial as características do porcelanato. Tais observações seguem abaixo:

No estado fresco observou-se que nas dosagens estabelecidas, ocorreram mudanças significativas na trabalhabilidade do concreto. Aqueles com maior teor de porcelanato, como agregado substituto, apresentaram fluidez superior, não atendendo ao abatimento adotado para o traço (100±20). Logo, esse excesso de fluidez apontou que os concretos com 50 e 100 % de porcelanato como agregado graúdo brita I, obtiveram uma menor resistência ao deslocamento da argamassa, ou seja, menor aderência da argamassa à superfície dos grãos do agregado, devido as características físicas do porcelanato, em especial a textura e forma dos grãos.

Em consequência, os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples apontaram melhor desempenho para o concreto com 25% de agregado graúdo de porcelanato, obtendo 32 MPa aos 28 dias, sendo este a única dosagem que atingiu resistência superior aos 30 MPa adotados para a elaboração do traço. Já as dosagens com 50 e 100% do agregado substituto (porcelanato) tiveram uma perda de resistência significativa em relação traço referência (30 MPa) aos 28 dias, atingindo 27,70 e 20,47 MPa respectivamente. Tal perda provavelmente está associada a uma pasta fraca e mais porosa, pois os rompimentos aconteceram principalmente na zona de transição e na matriz. A porosidade destes concretos pode ser confirmada mediante os resultados do ensaio de absorção de água por imersão, onde apontou as maiores retenções de água às dosagens com 50 e 100% de porcelanato.

O mesmo comportamento pode ser observado nos ensaios de tração na compressão diametral e módulo estático de elasticidade à compressão. Em ambos os ensaios, os concretos com maior concentração de porcelanato foram os que tiveram os piores resultados, enquanto a dosagem com 25% de substituição, atendeu ao esforço solicitante de 30 MPa.

Em suma, ao término deste trabalho, conseguimos dosar o concreto utilizando um percentual de material reciclado como agregado graúdo, garantindo o cumprimento das normas técnicas vigentes e obtendo resultados satisfatórios. Sendo assim, o agregado graúdo obtido do aproveitamento dos resíduos de porcelanato mostre-se utilizável, podendo ser uma alternativa sustentável para a fabricação de concretos estruturais, dentro do grupo I (C20 a C50) da NBR 6118/14. São apresentadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Estudo das características físicas do agregado de porcelanato para a produção de concreto estrutural.
- Análise da influência nas propriedades do concreto com adição de agregado miúdo de porcelanato em blocos estruturais.
- Estudo da corrosão a médio e longo prazo em concretos produzidos com agregados obtidos dos rejeitos de porcelanato.
- Estudo da utilização de aditivos em concretos produzidos com agregados reciclados.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738: 2003 Concreto – procedimento para moldagem de corpos de prova.**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739:1994 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2014 projeto de estruturas de concreto: procedimentos.**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8522:2008 – Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão de formação.**

ABNT. Associação Brasileira de normas Técnicas. **NBR 9778:2009 Argamassa e concretos endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248: 2003 agregados: determinação da composição granulométrica.**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 45:2006 agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios.**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 53:2009 agregado graúdo: determinação da massa específica aparente e absorção de água.**

ALVES, J.D. **Materiais de construção.** 2º ed. Goiânia: Editora Universidade Federal de Goiás, 1987.

ALVES, José Dáfico; **Materiais de construção.** 8 ed. Goiânia: Ed. Da UFG/Ed da UEG, 2006.  
ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **CONTROLE TECNOLÓGICO BÁSICO DO CONCRETO.** Ilha Solteira: Unesp, 2002. 33 p.

BARBA, Antonio et al. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. 1ª edição Castellon: Grafica Castañ, 1997.

BENETTI, R. K.; **Traços de concreto convencional com incorporação de aditivo de pega: análise da resistência nas primeiras idades**. Ijuí: UNIJUÍ, 2007.

BOURSCHEID, J. A.; Souza, R. L. **Resíduos de Construção e Demolição como material alternativo**. 1 ed. Florianópolis: Publicações do IFSC, 2010.

CARDOSO, F. A.; ROMANO, R. C. O.; PELEGGI, R.G. **Propriedades do Concreto no Estado Fresco**. In: ISAIA, G. C. (Org.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, p. 453-500.CINEXPAN. <http://www.cinexpan.com.br/> Acesso em: abr. de 2016.

CARDOSO, F. A.; ROMANO, R. C. O.; PELEGGI, R.G. **Propriedades do Concreto no Estado Fresco**. In: ISAIA, G. C. (Org.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, p. 453-500.CINEXPAN. <http://www.cinexpan.com.br/> Acesso em: 5 abr. de 2016.

CRUZ, Vitor Fonseca da. **Desenvolvimento de um método de caracterização de matérias-primas para revestimentos cerâmicos utilizando composições de massa padrão**. 2008. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2008.

CUNHA, J.C.da, **Módulo de Elasticidade do Concreto** – Informador das Construções, Ed.1424, Belo Horizonte - MG, julho 2000.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adição de microssílicas**. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coutinho; KULAKOWSKI, Marlova Piva; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Contribuições ao planejamento de experimentos em projetos de pesquisa de engenharia civil**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 37-49, 2007. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido>> Acesso em: 04 abr. 2016.

Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/87886> >. Acesso em: 24 abr. 2016.

HECK, C. – Grês Porcelanato, **Revista Cerâmica Industrial**, vol. 01, pág. 04-05, Agosto/Dezembro, 1996.

HELENE, P. R. L. **Controle de qualidade do concreto: boletim técnico 03/86**. São Paulo: [s.n.], 1986.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Brasília: PINI, 1992.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2007. Cap. 27, p. 905-944.

HELENE, P.; TUTIKIAN, B. F. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. (Org.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, p. 415-452.

ISAIA, G. C. **Evolução do Concreto Estrutural**. In: ISAIA, G. C. (Org.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, p. 01-56.

ISAIA, Geraldo Cechella. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. V. 01, São Paulo: IBRACON, 2010, 792 p.

KAEFER, Luís Fernando. **Considerações sobre a microestrutura do concreto**. 1998. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

KIRCHEHEIM, A. P.; PAULON, V. **Nanoestrutura e Microestrutura do Concreto Endurecido**. In: ISAIA, G. C. (Org.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, p. 585-652

LEITE, M.B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Tese (Doutorado) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LODI, Victor Hugo. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento portland na região de Chapecó – SC.** Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina convênio Unochapecó, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2006. Disponível em: <[http://www.basalto.eng.br/dissertacao\\_vhl\\_vs\\_final.pdf](http://www.basalto.eng.br/dissertacao_vhl_vs_final.pdf)>. Acesso em 02 abr. 2016.

MARUCHIN, Simone. **Influência do talco nas propriedades de composições tipo porcelanato.** 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa - Pr, 2007. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp043124.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2008). **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 3.ed., 674p.

MORAES, Marcio Luiz Varela Nogueira de. **Aproveitamento de resíduo de beneficiamento do caulim na produção de porcelanato cerâmico.** 2007. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Ciências Exatas e da Terra, Natal - Rn, 2007.

MORAIS, Guilherme César Martins de; OLIVEIRA, Douglas Ribeiro; RITT, Humberto. **Caracterização e aplicação de agregado miúdo britado em concreto de cimento Portland.** Revista Perquirere, Pato de Minas - Mg, p.226-238, jul. 2015. Semestral.

MORANVILLE-REGOURD, M. **Microstructure of high performance concrete.** In: MALIER, Y. **High performance concrete - from material to structure.** London, E & FN Spon, 1992. p.3-13.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, Fábio Wendell da Graça. **Resistência e módulo de elasticidade de concretos usados no Rio de Janeiro**. 2005. 126 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PEREIRA, S. W. Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. **Aplicação de avaliação do ciclo de vida**. 2004. f.122.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

RODRIGUES, M. ADRIANA. et al.; **Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grês porcelanato**. Tese de Mestrado; Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2004.

RODRIGUES, Paulo Cesar. **Notas de Aula da disciplina de Estruturas de Concreto Armado I. Curso de graduação em Engenharia Civil**. 2. Ed. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2011.

SALVADOR, Luciana Zanivam Fontana. **Estudo da piroplasticidade em porcelanato**. 2009. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Cerâmica, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma - Sc, 2009. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000040/000040D7.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

STEINER, Luiz Renato. **Efeito do rejeito de polimento do porcelanato na fabricação de blocos de concreto de cimento portland**. 2011. 43 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação – Especialização em Coordenação de Projetos e Novas Tecnologias em Edificações, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma - Sc, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/911/1/Luiz\\_Renato\\_Steiner.pdf](http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/911/1/Luiz_Renato_Steiner.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2016.