



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

RENATO LUIZ RAMA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DO
PORCELANATO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO
DO GRUPO II (C55 A C90) INSERIDOS NA ATUALIZAÇÃO DA NBR
6118/2014**

Palmas

2016



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

RENATO LUIZ RAMA

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

2016

RENATO LUIZ RAMA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DO
PORCELANATO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO
DO GRUPO II (C55 A C90) 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

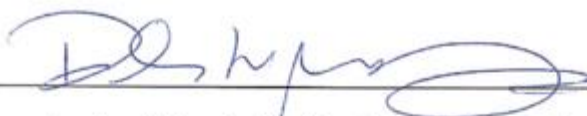
Aprovada em 24 de junho de 2016.

BANCA EXAMINADORA



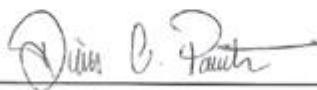
Prof. Orientador M.Sc. Roldão Pimentel de Araújo Junior

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Examinador M.Sc. Fabio Henrique de Melo Ribeiro

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Examinador Esp. Denis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2016

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Luiz Rama e Ivone Rama.
Minha nova família, Jessika Christina.
E todos os amigos de curso.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me confiado esta missão e me permitir está completando mais esta etapa da minha vida, sempre na sua graça, com saúde, paz, amor e proteção, também agradeço por estar recebendo mais um dom com a conclusão do curso, que é o de ser Engenheiro Civil.

Tenho muito a agradecer também aos meus pais, que sempre me apoiaram sempre me motivaram, ajudaram tanto moralmente quanto financeiramente. Obrigado pai (João Luiz Rama) por me ensinar juntamente com minha mãe (Ivone Rama) o verdadeiro sentido da vida, Tudo que sou hoje agradeço a vocês, pois me fizeram acreditar que sempre irei conseguir alcançar meus objetivos de forma honesta sempre com muita dedicação e esforço, vocês que em momento nenhum me disseram que seria fácil, más sempre estiveram lá para me apoiar e me ajudar no que fosse necessário.

Agradeço muito a minha irmã (Marilei Solange Rama Sousa) que me ajudou muito contribuindo com seu amplo conhecimento, financeiramente no qual tenho como inspiração para minha vida, ela que é exemplo de força, dedicação, inteligência, persistência, guerreira, fé, e muito amor, tenho certeza que terá um futuro brilhante, que será mais do que merecido.

Obrigado a todos que acreditaram no meu potencial e estão sempre me motivando assim minha esposa (Jessika Christina Rosa Vasconcelos Rama) que também sempre me apoiou e sempre entendeu minha ausência quando era preciso uma dedicação maior aos estudos, sua ajuda foi fundamental para a minha formação

Agradeço aos amigos e companheiros de estudo (Thainá Coelho Prudêncio, Erika Renata, Vinicius Fecundes, Davi Fonseca Borges, Marco Tulio, Raieno Silva Camargo, Eduardo Coelho) que sempre fizeram presente nas noites de estudos mais intensas podendo compartilhar nossos conhecimentos em busca dos resultados.

Por fim venho agradecer à todos os professores que contribuíram muito para a formação profissional, moral e segurança que tenho hoje, que os adquiri graças à convivência com excelentes profissionais com destaque aos professores (Roldão Pimentel de Araújo Junior, Fernando Moreno Suarte, Carlos Spartacus, Carolina, Edivaldo, Ângela)

RESUMO

Rama, R. L. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DO PORCELANATO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO DO GRUPO II (C55 A C90) INSERIDOS NA ATUALIZAÇÃO DA NBR 6118/2014.** 2016, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, Palmas – TO.

Todo material utilizado na construção após certo tempo de uso apresenta um desgaste que compromete a sua eficiência, fazendo com que a substituição e o descarte sejam imprescindíveis. Os revestimentos cerâmicos ‘porcelanatos’, após um dado período de uso, perdem suas características iniciais, tendo necessidade de serem substituídos, além dos desperdícios gerado na construção civil o material atinge dezenas de toneladas. Em muitos casos o depósito destes porcelanatos é executado de forma desordenada havendo o comprometimento das áreas de preservação ambientais e de mananciais. Durante o processo de fabricação do porcelanato também são gerados resíduos, chegando até a 15% do total produzido, cujo descarte é feito no lixo pelas indústrias ceramistas. Estes dois tipos de rejeitos causam na natureza um passivo de material que leva muitos anos para sua decomposição. Assim, a caracterização deste material cerâmico e o desenvolvimento de um estudo que viabilize seu emprego em substituição aos agregados comumente usados em concretos de alta resistência, é uma alternativa para a racionalização do descarte desse material e preservação da natureza. Para o uso do porcelanato na construção civil é necessária sua moagem em granulometrias similares ao agregado graúdo comum. Este trabalho estudou dosagens de concreto com alta resistência com substituições gradativas dos porcelanatos moídos, comparando algumas de suas propriedades com traços de referência feitos com agregados comuns. Para cada traço foram estudadas as propriedades mecânicas, a trabalhabilidade. Pelo fato dos porcelanatos terem características similares aos agregados comuns após a moagem, sua utilização em concretos, para os traços moldados e tipos de cura realizados, substituindo parcialmente o agregado, foi bastante satisfatório.

Palavras Chave: resíduo de porcelanato, materiais alternativos, reciclagem, concreto de alta resistência.

ABSTRACT

Rama, R. L. **EVALUATING THE INFLUENCE OF PORCELAIN WASTE ADDITION ON PHYSICAL PROPERTIES OF CONCRETE GROUP II (C55 to C90) INSERTED IN THE UPDATE OF NBR 6118/2014. 2016.** Work for Completion of course (Diploma in Civil Engineering) - Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP / ULBRA, Palmas - TO.

All materials used in construction after a certain time of use show worn signs that compromises its efficiency, making the replacement and disposal essential. Ceramic coatings 'porcelain', after a certain period of use, lose their initial characteristics, and need to be replaced, in addition we have the waste generated in construction material that can reach tens of tons. In many cases the deposit of these porcelain runs unplanned and without commitment causing damages in the areas of environmental preservation and water sources. During the porcelain manufacturing process, waste is also generated, reaching 10% of total production, all trashed by the industry. These two types of waste cause in nature an accumulation of material that takes many years to decompose. Thus, the characterization of ceramic materials and the development of a study that enables its use in replacing the aggregates commonly used in high-strength concrete, is an alternative to the rationalization of the disposal of this material and preservation of nature. For the use of porcelain in construction is required grinding in grain sizes similar to common coarse aggregates. This work studied concrete strengths with gradual replacement of ground porcelain, comparing some of its properties with reference lines made with common aggregates. For each trace the workability and mechanical properties were studied. Because the porcelain has characteristics similar to ordinary aggregate after grinding, its use in concrete, for molded lines and healing types performed, partially replacing the aggregate, was quite satisfactory.

Keywords: waste porcelain, alternative materials, recycling, high strength concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre resistência média à tração e a resistência característica à compressão do concreto.....	22
Figura 2 - Influência da resistência e os diferentes tipos de agregados englobados na NBR 6118:2014 exercem no módulo de elasticidade do concreto.....	23
Figura 3 - Processo de captação de cálcio e da captação de sílica ativa.....	32
Figura 4 - Aquisição do Porcelanato	41
Figura 5 - Comparativo porcelanato.....	42
Figura 6 - Peças sendo preparadas para moagem.....	42
Figura 7- Moinho.....	42
Figura 8 - Separação do porcelanato Moído.....	43
Figura 9 - Brita de porcelanato e brita natural.....	47
Figura 10- Materiais e betoneira.....	54
Figura 11 - Tanque para cura húmida.....	56
Figura 12 - Abatimento traço referência.....	59
Figura 13 – Exsudação interna - zona de transição.....	62
Figura 14 – Tipos de ruptura: cônica (a) e cônica e cisalhada (b).....	64
Figura 15 - Desprendimento do porcelanato.....	65

Figura 16 – Efeito microfiller da sílica ativa no concreto.....	66
Figura 17 – Ensaio experimental - módulo de elasticidade.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definidas as formas de preparo, fornece os valores de sd.....	19
Tabela 2 – Dados Técnicos do Moinho de Martelo.....	42
Tabela 3 – Ensaaios físicos cimento CP V ARI.....	45
Tabela 4 – Ensaaios químicos cimento CP V ARI.....	45
Tabela 5 – Caracterização dos Agregados Miúdos.....	46
Tabela 6 - Característica do Agregado Graúdo.....	48
Tabela 7 – Características química da sílica ativa.....	49
Tabela 8 – Características físicas da sílica ativa.....	49

Tabela 9 – Características do aditivo Hiperplastificante.....	49
Tabela 10 – Resistência a compressão média e consumos máximos de água utilizados.....	50
Tabela 11 – Traço referência.....	52
Tabela 12 - Dosagem em Massa Para 1 m³ de Concreto.....	52
Tabela 13 - Dosagem em Massa Para 0,030 m³ de Concreto.....	53
Tabela 14 – Traço substituindo agregado graúdo.....	54
Tabela 15 – Resultados ensaios do concreto no estado endurecido.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{cj} = Resistência média do concreto a compressão, prevista por j dias, em Mpa

f_{ck} = Resistência característica a compressão do concreto em (MPa)

s_d = Desvio-padrão da amostra em MPa f_{cd} = Resistência de cálculo a compressão do concreto em (MPa) f_{ckj} = Resistência característica do concreto a compressão em j dias, em (MPa) γ_C = Coeficiente de ponderação da resistência do concreto

β_1 = Relação $\frac{f_{ckj}}{f_{ck}}$

$f_{ctk, inf}$ = 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

E_{ci} = Módulo de elasticidade do concreto no instante zero, em (MPa)

α_E = Coeficiente de ponderação devido ao agregado

LISTA DE SIGLAS

ACI – American Concrete Instituto

CAA- Concreto Auto Adensável

CAR – Concreto de Alta Resistência

CEULP - Centro Universitário Luterano de Palmas

NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

RCC – Resíduos Sólidos da Construção Civil

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

PNSB20 – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

3R's – Reduzir Reutilizar e Reciclar

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Estrutura da pesquisa.....	16
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 NBR 6118:2104 – Propriedades e Generalidades do Grupo II	17
2.1.1 Resistência à Compressão do Concreto.....	17
2.1.2 Resistência à Tração do Concreto.....	20
2.1.3 Módulo de elasticidade.....	22
2.2 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA	24
2.2.1 Microestrutura do CAR.....	25
2.2.2 Agregados	25
2.2.3 Pasta Matriz	26
2.1.4 Zona de transição	27
2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES	28
2.3.1 Cimento	28
2.3.2 Fator Água/ Cimento	29
2.3.3 Definição	29
2.3.4 Agregado Miúdo.....	29
2.3.5 Agregado Graúdo	30
2.4 Adições Minerais	31
2.5 Sílica Ativa	31
2.6 Aditivos Hiperplastificantes	32

2.7	Propriedades da Cerâmica	34
2.7.1	Histórico da cerâmica	34
2.7.2	Matérias Primas	35
2.7.3	Caulim	35
2.7.4	Feldispato	35
2.7.5	Quartzo	36
2.7.6	Porcelanato	36
2.8	Sustentabilidade	38
3.0	METODOLOGIA	40
3.1	Obtenções dos agregados do porcelanato.....	41
3.2	Materiais Utilizados.....	44
3.2.1	Cimento	44
3.2.2	Areia Comum.....	46
3.2.3	Agregados Graúdos	47
3.2.4	Sílica Ativa... ..	48
3.2.5	Aditivo Hiperplastificante.....	49
3.2.6	Água e Amassamento.....	50
3.3	Aplicação do Método Mehta Aictin.....	50
3.4	Metodologia dos ensaios	52
3.4.1	Dosagem do traço.....	52
3.4.2	Descrição dos concretos com Porcelanato moído.....	53
3.5	Concretagem dos corpos de prova	54
3.6	Ensaio com concreto.....	56
3.6.1	Concreto no estado fresco.....	56
3.6.2	Resistência à tração por compressão diametral.....	56

3.6.3 Ensaio de absorção de água por imersão NBR9778/2009.....	
57	
3.6.4 Ensaio módulo de elasticidade experimental.....	
57	
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
4.1 Concreto no estado fresco.....	
58	
4.2 Concreto no estado endurecido.....	
60	
4.2.1 Resistência a compressão simples.....	
60	
4.3 Resistência a tração por compressão diametral.....	
66	
4.4 Ensaio de absorção de água por imersão NBR9778/2009.....	
67	
4.5 Módulo de elasticidade.....	
69	
5. CONCLUSÕES.	72
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	
73	
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
74	

1.0 INTRODUÇÃO

Este trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade de utilização do resíduo de porcelanato, gerado na construção civil como recortes, peças defeituosas ou troca de revestimentos antigos por peças mais modernas na composição de concretos de alta resistência (Grupo II de resistência (C55 a C90)) conforme à atualização da NBR 6118/2014, como substituto parcial dos agregados graúdos convencionais, podendo assim avaliar as vantagens e desvantagens decorrentes dessas aplicações e determinação de dosagens ideais para seu emprego no CAR (Concreto de Alta resistência). Com o crescente uso de concreto de alta resistência nas edificações Brasileiras, foi imprescindível para este trabalho citar a atualização da NBR 6118/2014, que define as estruturas de concretos normais, identificadas por massa específica seca maior do que 2.000 kg/m^3 , não excedendo 2.800 kg/m^3 do grupo I (C20 a C50) e grupo II de resistência (C55 a C90).

Segundo Mália, Brito e Bravo (2011), a construção civil é o setor que mais consome matérias-primas e energia quando comparado a qualquer outra atividade econômica, simultaneamente, é ele que produz a maioria dos resíduos gerados em todo o espaço urbano. Por este motivo, faz-se necessário encontrar novas alternativas para o reaproveitamento destes resíduos na própria construção civil, visando a obtenção de um desenvolvimento sustentável e auxiliando as gerações futuras para que também possam desfrutar de recursos disponíveis na natureza.

A indústria ceramista Brasileira teve grande evolução na década passada ocupando um lugar de destaque no cenário mundial na produção de placas cerâmicas. O Brasil produziu 866 milhões de metros quadrados (m^2) em 2012. Segundo ANFACER (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, Louça Cerâmicas e Congêneres).

Em grandes países produtores de cerâmica, foram realizados estudos quanto à utilização deste rejeito em adição ao cimento, onde aspectos físicos e químicos indicam que o rejeito tem um grande potencial como adição de produtos à base de cimento *Portland*, diminuindo assim o impacto ambiental com redução de deposição em aterros controlados. Assim, busca-se neste trabalho quantificar o benefício desse material na fabricação do CAR. (STEINER,2011).

Para a redução do impacto ambiental na construção civil e empreendimentos que se preocupam com a sustentabilidade, busca-se processos que minimizam o

choque do descarte inadequado dos resíduos. Considerando isso utiliza-se o processo de logística reversa que tem como objetivo desenvolver a sistematização de uma cadeia de abastecimento de produtos ou serviços descartados, que poderão novamente fazer parte do ciclo de negócios contribuindo para uma redução na extração de matéria – prima virgem. Agindo assim diretamente à fonte aquisitiva dos materiais até o ponto final (consumo), este fluxo reverso, é realizado do ponto de consumo até o ponto de origem, que precisa ser devidamente gerido (SANTOS, 2014).

Com o aumento do descarte, além dos problemas ambientais pertinentes existe a tendência de escassez de recursos naturais, tornando a gestão do lixo nas cidades caótica e aterros sanitários congestionados, assim a logística reversa se torna cada vez mais eficaz, e de grande valia (SANTOS, 2014).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar dosagens e propriedades de concretos com resistência próximas a 70 MPa classificados pela NBR 6118/2014, como grupo II (C55 a C 90), que viabilizem o aproveitamento de rejeitos vindos do porcelanato (revestimento cerâmico) passados por processo de moagem, obtendo-se a brita 1 e substituindo em partes proporcionais de: 25%, 50%, 100%, do agregado graúdo convencional.

1.1.2 Objetivo Específico

- Verificar a influência das substituições dos agregados graúdos por agregados de porcelanato, na trabalhabilidade do concreto no estado fresco.
- Determinar as propriedades mecânicas para as três proporções de agregados
 - Resistência à compressão simples;
 - Resistência à tração por compressão diametral;
 - O módulo de elasticidade experimental e comparar com a equação recomendada pela NBR 6118/2014
- Analisar a absorção de água por imersão conforme NBR 9778/2009.

1.2 JUSTIFICATIVA

O objetivo do desenvolvimento sustentável, está pautado na preservação do meio ambiente que por sua vez está à mercê de uma evolução construtiva acelerada. Para que a construção civil traga uma política de renovação e reutilização de materiais pensando no desenvolvimento sustentável, será necessário a utilização de resíduos de porcelanato em concretos, apresentando um possível aumento da resistência do mesmo, além da economia que este feito proporcionará.

No Brasil, 72,44% dos municípios avaliados pela PNSB20 (Pesquisa nacional de saneamento básico - IBGE), possuem o 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% à 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (BRASIL,2005).

Segundo a ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2010), o Brasil produz em média 99.354 t/dia de resíduos da construção civil (RCC).

Entretanto este trabalho mostra a relação que há entre o crescimento econômico, com o desenvolvimento sustentável e o meio ambiente, dentro da economia sustentável, com foco no processo de reciclagem dos resíduos de porcelanato (revestimento cerâmico), e seu reaproveitamento na fabricação de concretos de alta resistência. Contudo, para se obter um bom resultado deve se discutir o conceito de aproveitamento de materiais descartados, a política dos 3R's - reduzir, reutilizar e reciclar, sendo que este material citado vem sendo muito utilizado no mercado brasileiro.

Esses fatores motivaram a idealização e desenvolvimento deste trabalho acadêmico, considerando a grande demanda desse material e o descarte de uma parte considerável do mesmo, evitando assim o acúmulo desses resíduos na natureza e a diminuição da extração de matéria prima, que também ocasiona impactos negativos à natureza e à sociedade.

1.3 Estrutura da pesquisa

Este projeto de pesquisa está dividido em 5 capítulos. No capítulo 1 foi feita uma introdução à pesquisa, destacando-se a sua justificativa, objetivo e estrutura da pesquisa.

No capítulo 2 foi apresentado a revisão bibliográfica sobre o CAR, materiais utilizados, porcelanato e suas propriedades, destacando-se: histórico, propriedades, definição, aplicação, viabilidade técnica, assim como alguns trabalhos relacionados.

O capítulo 3 foi feita uma discussão sobre a metodologia utilizada, com sequência para o desenvolvimento do método de dosagem e ensaios sobre os concretos.

No capítulo 4 contém os resultados e discursões dos ensaios preparatórios, as dosagens confeccionadas com seus resultados, assim como, uma análise destes.

E, no capítulo 5, as conclusões finais sobre os resultados e sugestões para novas pesquisas.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 NBR 6118:2014 – Propriedades e Generalidades do Grupo II

Neste tópico serão abordados as características mecânicas do concreto definido pela NBR 6118:2014, relacionados ao grupo II (C55 a C 90).

2.1.1 Resistência à Compressão do Concreto

A resistência à compressão do concreto é muito importante, pois significa que sua capacidade de resistir às solicitações previstas em projeto está diretamente relacionada com a durabilidade do material frente a vários processos de degradação que pode estar submetido. No Brasil, a resistência à compressão dos concretos é avaliada por meio dos corpos de prova cilíndricos moldados conforme a NBR 5738/03 (BASTOS, 2006). Demonstrando assim, a qualidade do concreto que está diretamente relacionada com a porosidade da estrutura da pasta de cimento hidratada, e associada (utilizada para estimar) as demais propriedades mecânicas do concreto, como módulo de elasticidade (TEIXEIRA; PELISSER, 2010).

A principal propriedade do concreto é a sua resistência à compressão, que é medida pela tensão, ou seja, medida que fornece uma determinada força por unidade de área expressa em Megapascal (MPa), conforme descrito por Adão e Hemerly (2010). Entre os diversos fatores que influenciam na resistência de um concreto, podemos citar a relação água/cimento, hidratação do cimento decorrentes do tempo de cura, temperatura e umidade, porosidade da matriz, características dos agregados, interação química entre os agregados e pasta de cimento. Ligada a isso, o processo de cura do concreto consiste na manutenção de um ambiente favorável ao desenvolvimento de sua resistência, em termos de umidade e temperatura, sem prejuízos ao produto final (ISERHARD, 2000)

A NBR 6118:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) aplica-se para concretos normais, com massa específica de 2000 a 2800 Kg/m³ e pertencentes ao grupo I (C20 a C50 MPa) e grupo II (C55 a C90 MPa) de resistência à compressão. A norma se limita a concretos simples, armados e protendidos.

A resistência média é obtida através de ensaios de corpos de provas cilíndricos que devem satisfazer a resistência características a compressão adotada pelo projetista. Esses ensaios quando não específicos, indicam idades de 28 dias da

amostra. Segundo a NBR 12655 (ABNT,2006, p.14) a resistência é medida e calculada a partir da equação.

Equação 1

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65sd$$

Onde:

f_{cj} = Símbolos 1 - Resistência média do concreto à compressão, prevista por j dias,

em Mpa f_{ck} = Símbolos 2 - Resistência característica a compressão do concreto em MPa;

sd = Símbolos 3 – Desvio padrão da amostra em MPa;

A equação demonstrada tem uma distribuição formada de probabilidades na qual o valor do f_{ck} tem apenas 5 % de chances de estar a baixo de esperado. A norma ainda prevê duas formas de cálculo: quando o desvio de cálculo é conhecido e quando não o é.

Para o caso em que o valor é conhecido, a NBR 12655 nos afirma que o sd de ser obtido através de ensaios anteriores. A norma ainda exige que essa amostra tenha no mínimo 20 resultados consecutivos não anteriores a 30 dias. Entretanto limita-se em 2 MPa o valor mínimo para sd .

Nos casos onde não temos os valores de sd . A NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,2006, p.14-15) estabelece valores fixos para o modo de preparo e produção dos concretos.

- Condição A: é aplicado na classe C10 a C80 onde os agregados e cimento são medidos em massa. A água de amassamento é medida em massa ou volume.
- Condição B: onde será aplicada para duas faixas de resistência.
 - Aplicável a classe C10 a C25 onde o cimento é medido em massa e a massa de amassamento é medida em volume e os agregados medidos em massa combinados com volume.
 - Aplicável a classe C10 até C20 onde o cimento é medido em massa e os agregados e massa de amassamento é medida em volume. Durante o tempo de concretagem é medido no mínimo

3 vezes a umidade do agregado miúdo, que tem seu volume corrigido de acordo com a cura de inchamento do material.

Tabela 1 - Definidas as formas de preparo, fornece os valores de sd

Condição de preparo do concreto	Desvio padrão MPa
A	4,0
B	5,5
C ¹	7,0
¹ Para a condição de C, e enquanto não se conhece o desvio padrão, exigi-se o consumo mínimo de 350 kg por metro cúbico de concreto.	

(Fonte, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p.15)

A partir da resistência característica à compressão a NBR 6118:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p.74-75) estipula a resistência de cálculo pela equação 2:

Equação 2

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

f_{cd} = Símbolos 4 - Resistência de cálculo a compressão do concreto em MPa; f_{ck} = Resistência característica do concreto a compressão, em MPa; γ_c = Símbolos 5 - Coeficiente de ponderação da resistência do concreto. A equação 2 é correspondente a resistência característica obtida aos 28 dias, ou mais, valor que se recomenda na norma. Nestes casos onde a resistência se observa aos j dias, inferiores a 28. A NBR 6118:2014 adota a equação 3

Equação 3

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} = \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Onde:

f_{cd} = Símbolos 5 - Resistência de cálculo a compressão do concreto em MPa;

f_{ckj} = Símbolos 6 - Resistência característica do concreto a compressão em j dias, em MPa; γ_c = Símbolos 7 - Coeficiente de ponderação da resistência do concreto.

f_{ck} = Símbolos 8 - Resistência característica do concreto a compressão aos 28 dias, em MPa;

β_1 = Símbolos 9 - Relação $\frac{f_{ckj}}{f_{ck}}$

O valor de β_1 pode ser calculado pela equação 4:

Equação 4

$$\beta_1 = \exp\left\{s \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$$

Onde:

$S = 0,38$ para concreto de cimento CP III e CP IV;

$S = 0,25$ para concreto de cimento CPI e CPII;

$S = 0,20$ para concretos de cimento CP V- ARI

t = idade efetiva do concreto, em dias

NBR 6118:2014 estabelece os seguintes valores para γ_c ;

- Normais: $\gamma_c = 1,4$;
- Especial ou de construção: $\gamma_c = 1,2$;
- Excepcionais: $\gamma_c = 1,2$;

2.1.2 Resistência a Tração do Concreto

A resistência à tração dos concretos geralmente se apresenta com uma característica mecânica secundária, tendo em vista que o concreto não se apresenta como bom material para resistir aos esforços de tração das estruturas.

Segundo, MACHADO Jr. et al (1998) e BAZUCO (1999), afirmam que não há influência de agregados graúdos reciclados na resistência à tração do concreto, porém ainda obedecem às mesmas relações teóricas entre a tração e a resistência à compressão em relação aos concretos convencionais da mesma classe. Os valores de resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão de concretos com agregados reciclados variam de acordo com o tempo de cada mistura,

juntamente com a relação a/c e a dimensão máxima do concreto. Desta forma concretos produzidos com agregados reciclados, possui resistência em torno de 37 MPa, apresentam resultados de resistência à tração 11% superiores aos concretos de referência.

Segundo a NBR 6118:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p.27) indica que o valor da resistência à tração indireta $f_{ct, sp}$ e da resistência a tração na flexão devem ser obtidos por ensaios padronizados.

Na falta de resultados à tração, é possível calcular a resistência média e suas características por meio de equações. A NBR 6118:2014 define a equação da resistência média para concretos da classe C50 até C90.

Equação 5

$$f_{ct, m} = 2,12 \ln(1 + 0,11f_{ck})$$

Já para o cálculo da resistência característica à tração, as equações 6 e 7 estão definidas para todas as classes de resistência.

Equação 6

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

Equação 7

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

Onde:

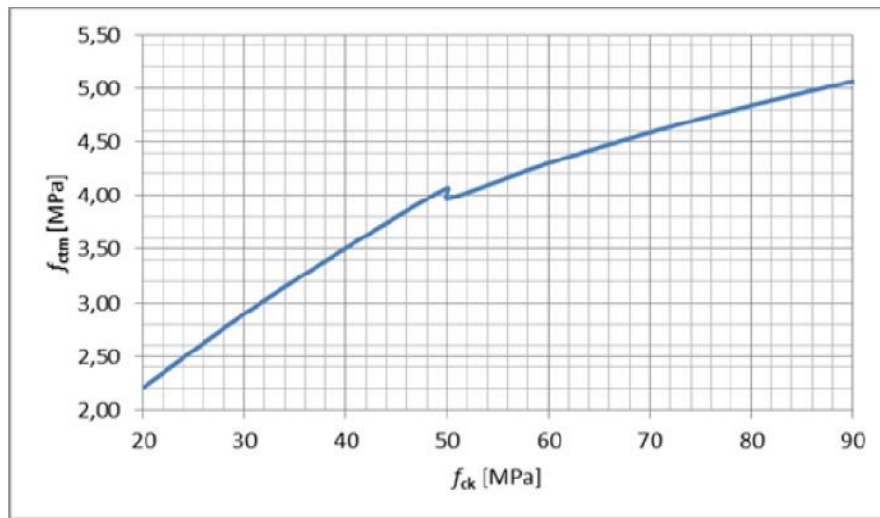
$f_{ctk, inf}$ = Símbolos 10 - Resistência característica inferior a tração do concreto em MPa;

$f_{ctk, sup}$ = Símbolos 11 - Resistência característica superior a tração do concreto em MPa;

$f_{ct, m}$ = Símbolos 12 - Resistência média a tração do concreto em MPa;

f_{ck} = Símbolos 13 - Resistência característica a compressão do concreto em MPa.

Figura 1 - Relação entre resistência média à tração e a resistência característica à compressão do concreto.



(Fonte: adaptada da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, P.27)

2.1.3 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é um parâmetro numérico relativo à medida da deformação que o concreto sofre sob a ação de tensões, geralmente tensões de compressão. Os concretos com maiores resistências à compressão normalmente deformam-se menos que os concretos de baixa resistência, e por isso têm módulos de elasticidade maiores. Isso depende muito das características e dos materiais componentes dos concretos, como o tipo de agregado, da pasta de cimento e a zona de transição entre a argamassa e os agregados (BASTOS, 2006).

Para avaliar o módulo de elasticidade, a resistência do material e à deformação elástica que é conhecido também como módulo de Young, por referência ao cientista inglês Thomas Young (1773-1829), que estudou o comportamento elástico das barras. A equação que modela o comportamento elástico é conhecida como Lei de Hooke pelos trabalhos de outro cientista inglês, Robert Hooke (1635-1703), que foi o primeiro a estabelecer experimentalmente a relação linear existente entre tensões e deformações (BENETTI, 2012).

Conforme é indicado na NBR 6118:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p.28-29) quando não houver ensaios com resultados relacionados ao módulo de elasticidade, o mesmo poderá ser obtido através das equações que estimam o resultado referente a 28 dias do concreto.

Assim para concretos com resistência de 55 até 90 MPa, obtida pela equação 8:

Equação 8

$$21,5 * 10^3 \alpha_E \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{\frac{1}{3}}$$

Onde:

E_{ci} = Módulo de elasticidade do concreto no instante zero, em MPa;

α_E = Coeficiente de ponderação devido ao agregado;

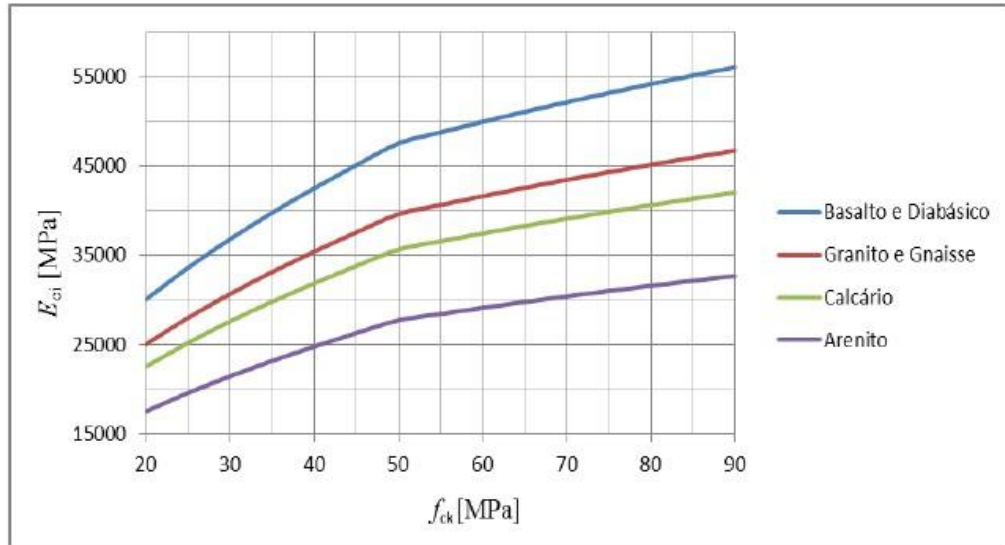
f_{ck} = Resistência característica a compressão do concreto em MPa.

Sendo que os valores de α_E são definidos por:

- Basalto e diabásico com $\alpha_E = 1,2$;
- Granito e gnaiss com $\alpha_E = 1,0$;
- Calcário com $\alpha_E = 0,9$;
- Arenito com $\alpha_E = 0,7$;

A inclusão do α_E na atualização da NBR 6118:2014 nos mostra que o agregado utilizado tem influência direta no módulo de elasticidade do concreto, sendo um avanço pois a NBR 6118:2007 não levava esse valor explicitamente em consideração. Conforme visualizado na figura 2.

Figura 2 - Influência da resistência e os diferentes tipos de agregados englobados na NBR6118:2014 exercem no módulo de elasticidade do concreto.



(Fonte: adaptada da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, P.28)
 Para concretos com idade inferior a 28 dias a norma recomenda a equação 9:

Equação 9

$$E_{ci(t)} = \left(\frac{f_{c(t)}}{f_c} \right)^{0,3} E_{ci}$$

$E_{ci(t)}$ = Estimativa do módulo de elasticidade do concreto em uma idade entre 7 e 28 dias, em MPa;

$f_{c(t)}$ = Resistência característica a compressão do concreto em que se pretende estimar o módulo de elasticidade do concreto, em MPa;

f_c = Resistência a compressão do concreto em MPa.

2.2 Concreto de Alta Resistência

Segundo Araújo (2010), a resistência do concreto está diretamente ligada ao consumo de cimento e a quantidade de água utilizada, ou seja, a relação água/aglomerante. Também há outros fatores que implicam na sua resistência, como tipo de agregados, o grau de adensamento e aditivos. A questão de água aglomerante, explicita que quanto mais aglomerante (cimento) e menor a quantidade de água, maior será a resistência do concreto. A relação água-aglomerante também determina a porosidade do concreto assim como as propriedades mecânicas.

Além disso, conforme a ABESC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM DO BRASIL, 2007, P.18), os

aditivos superplastificantes foram os responsáveis pelos avanços tecnológicos do concreto. Surgindo assim os concretos de alto desempenho (CAD) que incluem os concretos de alta resistência (CAR). Com a incorporação dos aditivos superplastificantes é possível a fabricação de concretos com relação água/aglomerante muito inferiores aos concretos convencionais, chegando a diminuir em 30% o consumo de água, assim obtendo concretos com maior resistência à compressão.

Quanto às características mecânicas do CAR, podemos observarmos claramente sua fragilidade pois é, quando o f_{ck} está acima de 80 MPa, são considerados extremamente frágeis. Isso foi constatado por ensaios que a compressão que provoca sua ruptura de forma explosiva, e não através de microfissuras (rompimento da matriz de argamassa) como nos concretos de baixa e média resistência (até 40 Mpa). Essa ruptura explosiva é o efeito da maior matriz da argamassa, do que do agregado graúdo, que rompe por tração transversal. No caso dos concretos com f_{ck} acima de 80 MPa, foi verificado também o rompimento por tração também no agregado miúdo (FUSCO,2008 apud BRUSCO,2014)

Em relação aos concretos convencionais, o concreto de alta resistência tem algumas vantagens destacados por Hervé Neto (2002) no decorrer do texto:

- Maior durabilidade da estrutura
- Menor taxa de aço nos elementos estruturais
- Redução das patologias decorrentes da fissuração do concreto
- Menos consumo de área de formas
- Elevado modulo de elasticidade
- Menor gastos com manutenções devido ao aumento da durabilidade
- Maiores vãos das vigas
- Menor custo global da obra
- Menores cargas transmitidas ao solo

2.2.1 Microestrutura do CAR

O tipo, a qualidade, o tamanho, a forma e a distribuição das fases presentes em um sólido constituem a sua microestrutura. Ainda que o concreto seja composto por água e cimento, que em conjunto com os agregados formam uma pasta, em sua microestrutura interna, ele apresenta três partes, a pasta matriz (ou pasta de cimento hidratado), os agregados (ou o esqueleto granular), e a camada de interface entre os agregados (ou zona de transição) (MEHTA E MONTEIRO,2014).

A microestrutura dos CAR, devido às baixas relações água/aglomerante adequadas e ao uso de adições como a sílica ativa e aditivos superplastificantes, há algumas particularidades a saber em relação aos concretos convencionais, tais como uma pasta de cimento com menor quantidade de vazios em especial uma zona de transição entre os agregados e a pasta mais compacta (LIBÓRIO, 2004). A seguir, apresenta-se cada uma das fases que compõem a microestrutura do concreto.

2.2.2 Agregados

A escolha dos agregados tem grande influência na produção de CAR. À medida que se aumenta a resistência à compressão, estes se tornam a fase de menor resistência. A resistência do agregado é crítica quando se produz CAR, entretanto quando é necessária uma alta resistência inicial, como por exemplo 40 MPa aos 2 dias de idade, a resistência do agregado não é um fator preponderante (BIANCHINI, 2010).

As propriedades do concreto dependem das propriedades de seus componentes (matriz da pasta e agregados e das interações entre eles), a diferença de dureza entre os agregados e a matriz da pasta produz concentração de tensões nas interfaces que podem diferir das tensões do material, com a possibilidade de ocorrer formações de fissuras no concreto, nas argamassas e nas partículas dos agregados (NETO; OLIVEIRA; RAMOS, 2011).

Para os agregados é imprescindível a observação de alguns fatores que são extremamente relevantes na escolha, pois suas propriedades mecânicas influenciam diretamente as propriedades do CAR. Ao contrário do que ocorre em concretos comuns, em concretos de alta resistência que tem uma baixa relação água/aglomerante e resistência à compressão elevada, a fase das pastas matriz e zona de transição se tornam tão resistentes que a fase dos agregados pode se tornar a mais fraca. (AÏTCIN, 2000).

Os agregados representam cerca de 60 a 70% do volume do concreto. Portanto, influenciam nas propriedades do mesmo como a resistência à compressão, devido à resistência mecânica da rocha e a aderência dos grãos com a pasta, que pode variar de acordo com as características geométrica dos grãos, como seu formato, lamelar ou cúbicos, rugosidade superficial e a porosidade. A dimensão máxima dos grãos também pode ser um fator limite a resistência à compressão (BIANCHINI, 2010).

Ao contrário do que ocorre em concretos comuns, os concretos de alta resistência possui uma baixa relação entre água/aglomerante e resistência à compressão elevada, as fases da pasta matriz e zona de transição se tornam tão resistentes que a fase dos agregados pode se tornar a mais fraca. (AİTCIN, 2000).

2.2.3 Pasta Matriz

O cimento Portland é formado por partículas sólidas compostas, principalmente, por silicatos e aluminatos anidros. Com a hidratação estes compostos formam cristais em torno dos grãos de cimento, que com o passar do tempo crescem em tamanho, aumentando a densidade, solidificando e dando resistência mecânica à pasta. (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Segundo (MEHTA & MONTEIRO, 2014), as principais microestruturas que se formam na pasta matriz são:

- Estruturas fibrilares ou estruturas C-S-H: compostos químicos formados por cristais de silicatos de cálcio hidratados que representam 50% a 60% do volume total de sólidos da pasta e são os responsáveis pela resistência mecânica da pasta após os dias iniciais;
- Prismáticas: cristais de grande tamanho, formadas por hidróxido de cálcio, que representam 20 a 25% do volume total de sólidos da pasta. São responsáveis pelo pH elevado da pasta ($\text{pH} \cong 13$), mas são bastante solúveis em água. Tem baixa resistência mecânica;
- Etringita: cristais grandes e volumosos, formados pela hidratação dos aluminatos combinados com sulfato de cálcio, quimicamente instáveis e muito porosos, gerando estruturas com baixa resistência mecânica que com o tempo se transformam em monossulfato. São os primeiros cristais da pasta a se formar e produzem a primeira resistência mecânica do endurecimento, pequena se comparada a das estruturas C-S-H.

Representam 15 a 20% do volume total de sólidos.

Para os concretos de alta resistência, com a adição de sílica ativa ao cimento obtém-se sobre a pasta matriz efeitos químicos e físicos. Essa ação química é decorrente da reação pozolânica entre a sílica ativa e o hidróxido de cálcio, produzindo silicato de cálcio hidratado (C-S-H), diminuindo os poros. A ação física é o efeito filer, que preenche os vazios criados pela água livre na pasta matriz, melhorando suas características, assim tornando a pasta matriz mais densa e

diminuindo a sua permeabilidade. Aumenta assim, a resistência dos concretos. Entretanto, como a sílica ativa é mais fina que o cimento, ocorre um aumento do consumo de água do concreto, sendo assim necessário maiores quantidades de aditivos superplastificantes. (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

2.2.4 Zona de Transição

A microestrutura da pasta de cimento hidratada próxima às partículas de agregado gráúdo difere do restante da pasta de cimento hidratado. O principal causador desta situação é o fato de que as partículas de cimento não se arranjam densamente junto às partículas relativamente grandes do agregado gráúdo, ocorrendo algo semelhante ao efeito parede observado no concreto em contato com as formas. Existe nesta região menos cimento para se hidratar e para preencher os vazios iniciais, provocando o surgimento de uma região mais porosa se comparada com pasta de cimento hidratada situada em regiões mais distantes do agregado gráúdo. O fenômeno da exsudação interna também eleva a relação a/a na região da interface pasta agregado (NEVILLE, 1997).

A zona de transição se torna a interface da pasta com o agregado gráúdo. Geralmente é uma parcela mais fraca do concreto se comparando com as outras duas fases, e, conseqüentemente, exerce influência muito maior sobre as características mecânicas do concreto. As principais características da zona de transição são a exsudação interna e a concentração de cristais de etringita e de hidróxido de cálcio. A exsudação interna é causada pela migração no sentido vertical do excesso da água de amassamento, formando uma fina película de água sob a superfície inferior dos grãos dos agregados devido ao efeito-parede, principalmente nos gráúdos, aumentando a relação água/aglomerante e reduzindo a resistência mecânica, é nesta região que em geral se inicia a ruptura de um concreto. (MEHTA & MONTEIRO, 2014)

2.3 Materiais Constituintes

A escolha dos materiais para CAR, são vistos como uma arte, e não como uma ciência, pela dificuldade de obter o mesmo e inter-relaciona-los. De qualquer forma a melhor maneira para se adquirir materiais é, dentre as disponibilidades locais e a sua experimentação por meio de estudos preliminares. (AİTCIN ,2000)

2.3.1 Cimento

Segundo AİTCIN (2000), a composição química do cimento Portland e constituída basicamente por quatro componentes principais:

- Silicato tricálcio (C_3S)
- Silicato dicálcio (C_2S)
- Alumínio tricálcio (C_3A)
- Ferroaluminato tetracálcio (C_4AF)

Quando o cimento Portland entra em contato com a água, as reações químicas dão início a uma cristalização de sulfoaluminato de cálcio hidratado denominados de etringita. Em seguida ocorre a formação de cristais prismáticos de cálcio e pequenos cristais fibrilares de silicato de cálcio hidratado preenchendo os espaços vazios antes ocupados por água e partículas de cimento em dissolução. Em seguida, a proporção de alumina-sulfato pode determinar a formação dos monossulfatos hidratado através da decomposição da etringita. (NEVILLE, 1997).

A resistência da pasta formada pelo cimento hidratado é influenciada pelo teor de C_3S e C_2S que juntos formam a C-S-H, que representa cerca de 50 a 60% do volume de sólido de um cimento Portland completamente hidratada. (MEHTA E MONTEIRO, 1994). Em MEHTA E AITCIN (1990), os autores relatam que cimento com um teor elevado de C_3S e C_2S , são mais favoráveis para obtenção de alta resistência mecânicas.

2.3.2 Fator Água/Cimento

A relação água/cimento é o principal fator na obtenção do concreto de alta resistência. Ela influencia na trabalhabilidade e tem ligação direta com a resistência do concreto. A relação água/aglomerante por sua vez, depende da distribuição granulométrica dos agregados. Deve-se buscar utilizar uma distribuição que permita uma mistura de máxima com capacidade compatível com a peça a concretar. Assim assegurando um desempenho elevado e durabilidade satisfatórias comparado com concretos comuns. (BAUER, 2000 apud FREITAS, 2014).

A resistência à flexão é um exemplo que podemos dar a cerca desse conceito e que uma superfície mais áspera como a de partículas britadas, resulta em uma melhor aderência devido ao Inter travamento mecânico.

2.3.3 Definição

A NBR 9935/87 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define o agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de concreto e argamassa.

As dimensões dos agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias quartzosas, e os graúdos: seixos rolado, cascalho, britas e os agregados pétreos de grandes grãos de pedras 250 mm, entre 76mm e 250mm, conforme estabelecido especificações da ABNT- NBR- 7211 e 9935.

2.3.4 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos naturais como, areia muito fina, fina, média ou grossa são de grande valia para o CAR, devido seu formato arredondado e consistência suave, a sua distribuição granular, no caso, existe uma função de trabalhabilidade no envolvimento físico. Agregados com módulo de finura (MF) inferior a 2,5 tornam o concreto inteiramente viscoso e com difícil trabalhabilidade. (ACI 363R-92, 2001)

Por tanto agregados miúdos com MF próximos a 3,0, uma areia mais grossa tende a reduzir a quantidade água/aglomerante, tendo assim uma trabalhabilidade melhor em relação aos agregados mais finos. (MEHTA & AÏTCIN,1990)

Os agregados devem estar desprendidos de impurezas, matérias orgânicas ou argilas, também não deve apresentar excesso de finos, para que seja adequado no uso de concretos (NAWY, 1996). A grande quantidade de finos pode atrapalhar na qualidade do CAR, por conterem grande quantidade de aglomerante e adições como sílica ativa que já preenche a necessidade dos finos. (AÏTCIN, 2000).

2.3.5 Agregado Graúdo

Entende-se como agregado graúdo o pedregulho ou brita, proveniente de rochas instáveis, ou misturas de ambas, cujos grãos passam por uma peneira com abertura nominal de 15,2 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm NBR 7211/2009.

Os agregados graúdos de origem natural médio, que podem ser encontrados na natureza em jazidas de rios ou nas jazidas de solo, na superfície, ou em maior profundidade do terreno. Este tipo de jazida é muito comum nas regiões de cerrados e desertos. Poderá obter cascalho de boa textura, resistente ao desgaste, mas, exige uma atenção especial com o teor de argila que o material poderá trazer na superfície das partículas (NETO, 2006).

O fato é que os materiais encontrados, tanto na jazida de rio como na jazida de solo, é retirado da natureza sem sofrer processo de beneficiamento que altere suas características, porque ele já vem fragmentado isto é, com as suas partículas definidas. Quanto ao extraído através da jazida do solo, geralmente precisa passar por um processo mais energético de lavagem para retirar o teor de argila, pó e

outras impurezas existentes que vêm envolvidas nas partículas dos grãos. Todos os agregados, sem exceção, antes da utilização deverão ser analisados em laboratório e submetidos à classificação dos limites estabelecidos conforme as especificações da NBR – 7211/2009.

Conforme Mehta e Monteiro (2014) as características mais relacionadas aos agregados graúdos são:

- Resistência à compressão;
- Resistência à abrasão;
- Módulos de elasticidade;
- Massa específica e massa unitária;
- Absorção;
- Porosidade;
- Forma e textura superficial;
- Presença de substâncias deletérias.

2.4 Adições Minerais

As adições minerais são de extrema importância para fabricação de CAR, por proporcionar avanços nas características técnicas. Deve-se obter uma aplicação de forma apropriada para se obter benefícios, tanto no concreto fresco quanto no concreto endurecido, tais como:

- Aumento da coesão e a diminuição da segregação e da exsudação
- Aumento de resistências à compressão, tração e abrasão;
- Redução da retração e da porosidade, minimizando a permeabilidade e aumentando a durabilidade;
- Melhora na resistência às reações álcali-agregado (dependendo da quantidade aplicada) e contra o ataque por sulfatos.

Estes materiais podem ser incorporados ao CAR como adições. As junções mais usuais em concretos de elevada resistência são as pozolânicas, em especial a sílica ativa, as cinzas volantes e as argilas calcinadas (AİTCIN, 2000).

2.5 Sílica Ativa

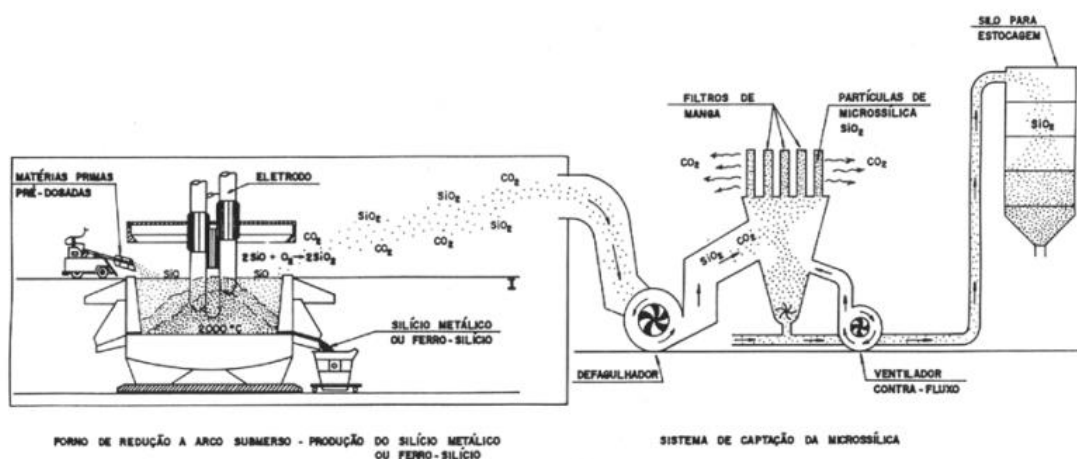
A sílica ativa, trata-se de um subproduto da fabricação do silício metálico e ligas ferrosilício, sendo uma adição que aperfeiçoa as propriedades do concreto tanto no estado fresco como no endurecido, em especial concretos com baixa relação água/aglomerante (AİTCIN, 2000).

Esta adição contém de 85% a 98% de dióxido de silício (SiO_2) amorfo, suas partículas são adquiridas a partir da condensação do gás residual da redução da sílica, têm forma esférica e são microscópicas (AÏTCIN, 2000). O diâmetro médio das partículas primárias é de 0,10 a 0,15 μm , equivalente às partículas sólidas da fumaça de um cigarro, a sílica ativa possui uma área específica profundamente elevada, da ordem de 20.000 m^2/kg , aproximadamente, 100 vezes maior que a do cimento (AÏTCIN, 2000).

MEHTA & MONTEIRO (2014) dizem que quanto mais fino o aditivo mineral, menor a quantidade de água necessária para aumentar a coesão e a trabalhabilidade de um concreto recém misturado.

A ação da sílica ativa é primeiramente baseada em suas propriedades químicas, como o efeito pozolânico, em que a sílica ativa reage com os íons de hidróxido de cálcio da solução alcalina que a envolve, formando como produto desta reação estruturas C-S-H semelhantes às resultantes da hidratação dos silicatos presentes no clínquer de cimento (ACI 363R-92, 2001). Na figura três, a seguir a apresentação esquemática da captação da sílica ativa

Figura 3 – Processo de captação de silício e da captação de sílica ativa



Fonte: DAL MOLIN, (1995).

Em segundo lugar, é também baseada na natureza física do efeito microfíler, as partículas da sílica ativa introduzem-se facilmente, quando bem defloculadas pelo superplastificante, nos espaços entre os grãos de cimento. Isto faz com que se reduza o espaço disponível para a água atuando em pontos de nucleação de produtos da hidratação do cimento. O efeito microfíler também é o responsável pelo

aumento da fluidez em concretos com baixa relação água/aglomerante (AÏTCIN, 2000).

Estas propriedades têm as seguintes consequências diretas sobre as características do concreto fresco ou endurecido segundo MEHTA & MONTEIRO, (2014):

- Aumento da resistência à compressão e à tração;
- Aumento da coesão com menor segregação e exsudação;
- Redução da permeabilidade e da porosidade;
- Aumento da durabilidade do concreto;
- Aumento da resistência à abrasão.

2.6 Aditivos Hiperplastificantes

Pela norma brasileira ABNT NBR 11768:2011 (Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos), os hiperplastificantes são classificados como aditivo de alta redução de água superplastificante II e os superplastificantes são classificados como aditivo de alta redução de água superplastificante I, segundo Ricardo Faria, coordenador técnico da Vedacit. “A diferença entre eles está diretamente relacionada ao desempenho sobre um concreto de referência no aumento do abatimento e da fluidez e/ou no poder de redução de água no traço deste concreto.

A norma determina os valores de desempenho para os superplastificantes tipo I (superplastificantes) de redução de água maior ou igual a 12% em relação ao concreto de referência e/ou um abatimento maior ou igual à 160mm mantendo a mesma relação água/cimento do concreto de referência (abatimento inicial de 40mm, sem aditivos). Para os superplastificantes tipo II (hiperplastificantes) a redução de água é maior ou igual a 20% em relação ao concreto de referência e/ou um abatimento maior ou igual a 220mm, mantendo a mesma relação água/cimento do concreto de referência (abatimento inicial de 40mm, sem aditivos) (RUBINATI,2014).

Quanto à utilização, ambos podem dividir as mesmas funcionalidades, respeitando os limites de cada um.” Para Santos, da Sika, a diferença entre os hiperplastificantes e os superplastificantes para concreto é apenas na nomenclatura. “Alguns fabricantes utilizam o prefixo ‘hiper’ para valorizar o seu produto, mas ele

não difere em composição nem em desempenho dos outros nomeados superplastificantes.

Quanto ao uso, os aditivos superplastificantes são utilizados onde os plastificantes não conseguem reduzir água sem efeito colateral, como em concretos de alto desempenho, concreto autoadensável, concreto para formas deslizantes etc.” Schmidt, da MC Bauchemie, destaca que a principal diferença pela norma NBR 11768 entre esses dois produtos é a redução de água. “Os superplastificantes da segunda geração permitem uma redução de água em até 20% e os hiperplastificantes (superplastificantes de terceira geração) permitem uma redução de água em até 40%, comparando com um concreto sem aditivos”. Os hiperplastificantes são usados nos concretos especiais na área de indústria pré-fabricada, infraestrutura e também nas concreteiras em situações especiais; por exemplo, na utilização de concreto autoadensável (CAA), concreto de alto desempenho (CAD), concreto projetado, concretos de alta resistência inicial e final, e existem ainda muito mais campos de utilizações (RUBINATI,2014).

A aplicação desses aditivos em CAR pode necessitar o uso de procedimentos que não são comuns em concretos convencionais. Com o seu uso ocorrem situações como relatadas no ACI 363R-92, (2001):

- Aumento da pressão do concreto sobre as formas devido a sua maior fluidez;
- Rápida perda de abatimento devido ao limitado tempo de eficiência de muitos tipos destes aditivos, em especial em concretos sob temperatura elevada. Os hiperplastificantes a base de poliacrilatos tendem sofrer menos este efeito;
- Tempo curto para a aplicação do concreto, devido ao limitado período de eficiência do hiperplastificante pela perda de abatimento;
- Segregação dos componentes do concreto se a quantidade aplicada do aditivo for excessiva ou se este for inadequadamente misturado ao concreto.

2.7 Propriedades da Cerâmica

2.7.1 Histórico da cerâmica

Em Kazmierczak (2007), relata a grande quantidade de vasilhas cerâmicas encontradas por arqueólogos pelo mundo nos mostra sua importância histórica, até na Torre de Babel foram utilizados tijolos cerâmicos. Até hoje em escavações

arqueológicas encontram-se vestígios de potes cerâmicos com idades superiores a dez mil anos.

A aplicação da cerâmica surgiu pela escassez de pedra, assim esta era obtida cozinhando a argila ao Sol e posteriormente em fornos. Várias civilizações antigas tinham conhecimentos e técnicas apuradas para o uso da argila, destacando os assírios e caldeus, com o uso de tijolos em obras monumentais.

Os romanos utilizavam tijolos revestidos por gesso ou pedra, porém a arquitetura árabe é a mais conhecida frente o emprego dos tijolos cerâmicos. Por volta do século VII os chineses passaram a produzir a porcelana, já a louça branca, de resistência inferior a porcelana, começou a ser produzida no século XVIII pelos ingleses (KAZMIERCZAK, 2007).

Entretanto, apenas no ano de 1666, quando Londres foi atingida por um grande incêndio, destruindo grande número de casas de madeira, é que o uso do tijolo cerâmico foi mais difundido e utilizado. Mas, com o surgimento do concreto armado e as estruturas metálicas, o tijolo passou de material estrutural para elemento de vedação.

Mesmo assim, o mercado de produtos cerâmicos não ficou restrito aos tijolos maciços, novos tipos de tijolos e até outros materiais de construção tem a argila como principal matéria-prima, caso das peças de revestimentos cerâmicos, pisos e azulejos, que a cada ano tornam-se mais resistentes e duradouras, sendo comum hoje encontrarmos no mercado pisos e azulejos cerâmicos idênticos a granitos e mármore.

2.7.2 Matérias Primas

Os materiais cerâmicos, conforme Van Vlack (1973), apresentam elevado módulo de elasticidade maior que outros materiais, e com temperatura de fusão próxima a 1000°C. Entretanto, como as cerâmicas são materiais não-dúcteis apresentam assim, uma elevada resistência à compressão, não se rompendo por deslizamento. As principais matérias-primas dos produtos cerâmicos são encontradas na natureza, sendo utilizadas de forma natural ou após receberem algum tipo de beneficiamento ou processamento.

2.7.3 Caulim

O caulim, é um produto encontrado em diversas regiões do nosso país e do mundo. O caulim é uma espécie de argila formada principalmente por ação de soluções sobre rochas aluminosas. Seus principais tipos de ocorrência são: veios

(derivados do intemperismo de pegmatitos), mantos (derivados de áreas de rochas ígneas metamórficas), depósitos de substituição e depósitos acamadados (derivados de arenitos feldspáticos ou depósitos alóctones secundários). Sua cor branca confere as cerâmicas uma cor clara, mesmo após a queima.

Além do caulim natural, tem-se o caulim calcinado, também conhecido como silicato de alumínio calcinado, é um produto decorrente da calcinação do caulim. O caulim calcinado é um produto de difícil produção. Dentre as dificuldades de se produzir o caulim calcinado está a diversidade enorme de características do caulim hidratado, o qual será utilizado para transformar em caulim calcinado, e os diferentes produtos que surgirão da calcinação destes caulins.

O mercado que consome o caulim calcinado é igualmente variado, sendo que cada segmento necessita de diferentes variações de caulim calcinado (ABCERAM, 2007; MICROCEL, 2008).

2.7.4 Feldspato

O termo feldspato cobre uma série de alumino-silicatos alcalinos ou alcalinos terrosos. Os feldspatos naturais são normalmente uma mistura em diversas proporções de alumino-silicatos de potássio, de sódio, de cálcio, de lítio e ocasionalmente de bário e de cério, com propriedades químicas e físicas similares.

Para a indústria cerâmica os feldspatos de maior importância são o potássico e o sódico, por terem temperatura de fusão relativamente baixa e assim sendo empregados como geradores de “massa vítrea” nas massas cerâmicas e nos vidrados. No entanto estes dificilmente são encontrados puros, em geral se apresentam em mistura, podendo também estar associados a outras impurezas.

Ocorre em todos os principais tipos de rochas, mas principalmente nas ígneas, o que torna bastante difícil a quantificação de suas reservas. Constituem 60% da crosta terrestre e geralmente são brancos ou claros, com boa clivagem (ABCERAM, 2007; MICROCEL, 2008).

2.7.5 Quartzo

O quartzo é um dióxido de silício, sendo mais duro que o feldspato. É um mineral dificilmente atacado pelo intemperismo químico, e não possui clivagem, razão pela qual é o principal constituinte da fração arenosa dos solos e sedimentos. O quartzo apresenta variedades cristalinas como quartzo hialino, ametista, quartzo leitoso, esfumaçado entre outras. Cascalhos, seixos, arenitos e quartzitos, são formados principalmente de quartzo.

Encontra-se também o quartzo fragmentado em pequenas partículas formando grandes concentrações naturais (areias comuns, compostas principalmente por grãos de quartzo), resultante de deposição dos resíduos de desagregação (ABCERAM, 2007; MICROCEL, 2008).

2.7.6 Porcelanato

De acordo com a GARCEZ (2013) o porcelanato é o revestimento mais sofisticado feito pela indústria cerâmica mundial. Sendo produzida com uma tecnologia muito avançada, diferenciando assim de uma cerâmica comum. E seu processo de queima e sua matéria prima que compõe sua massa com baixíssima absorção de água, transformando sua fabricação ecologicamente correta.

A normativa NBR 15463:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 1) diz que o porcelanato são placas cerâmicas para revestimento composto de argila, feldspatos e outras matérias primas inorgânicas, é conformado por extrusão, prensagem ou outros processos. Segundo Garcez (2013) o processo de fabricação envolve alto grau de moagem, alto teor de matéria prima fundente, e alta densificação após queima, resultando em produtos com baixa porosidade e elevado desempenho técnico. Suas principais vantagens são: altíssima resistência a abrasão, alta durabilidade podendo ser classificados em função do seu acabamento superficial. Processos ligados ao seu acabamento são classificados em: Porcelanato técnico, polido, natural e acetinado.

Segundo Pereira (2004) descreve a tecnologia do porcelanato e pauta 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 contem 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/cm²). 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.

2.8 Sustentabilidade

Normalmente a logística dos materiais é imaginada como um fluxo de materiais desde a fonte aquisitiva até o seu consumo. Porém, existe também um fluxo logístico reverso, do ponto de consumo até o ponto de origem, que precisa ser devidamente gerido.

Para algumas empresas o fluxo logístico reverso já é uma prática corriqueira há um bom tempo, tendo como exemplo, os fabricantes de bebidas, que precisam gerenciar todo o retorno de vasilhames (embalagens) dos pontos de venda até suas fábricas ou centros de distribuição. As siderúrgicas usam como insumo de produção, em grande parte, a sucata gerada por seus clientes e, para isso, usam

centros coletores de carga. A indústria de latas de alumínio é notável no seu grande aproveitamento de matéria prima reciclada, tendo desenvolvido meios inovadores na coleta de latas descartadas (WILLE, 2013).

Atualmente outros fabricantes do setor da indústria adotaram a logística reversa nos seus processos, nos quais o sistema de gerenciamento da logística reversa é mais recente, como por exemplo, nas indústrias de eletrônicos, varejistas em geral e setor automobilístico. Esses setores também têm de lidar com o fluxo de retorno de embalagens, de devoluções de clientes ou do reaproveitamento de materiais para produção.

Para Wille (2013), este fenômeno não é algo novo, a exemplo de como a aplicação de sucata na produção e reciclagem de vidro vem sendo praticados há muitos anos. Também pôde ser notado que o escopo e as escaladas das atividades voltadas para a reciclagem e o reaproveitamento dos produtos e das embalagens sofreram acréscimos consideráveis nos últimos anos.

A sustentabilidade na construção civil hoje é um tema de extrema importância, já que a indústria da construção causa um grande impacto ambiental ao longo de toda a sua cadeia produtiva. Esta inclui ocupação de terras, extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais, construção de edifícios e geração e disposição de resíduos sólidos. Além disto, segundo o (CIB, 2000: 17), a indústria da construção é um dos grandes contribuintes do desenvolvimento socioeconômico em todos os países.

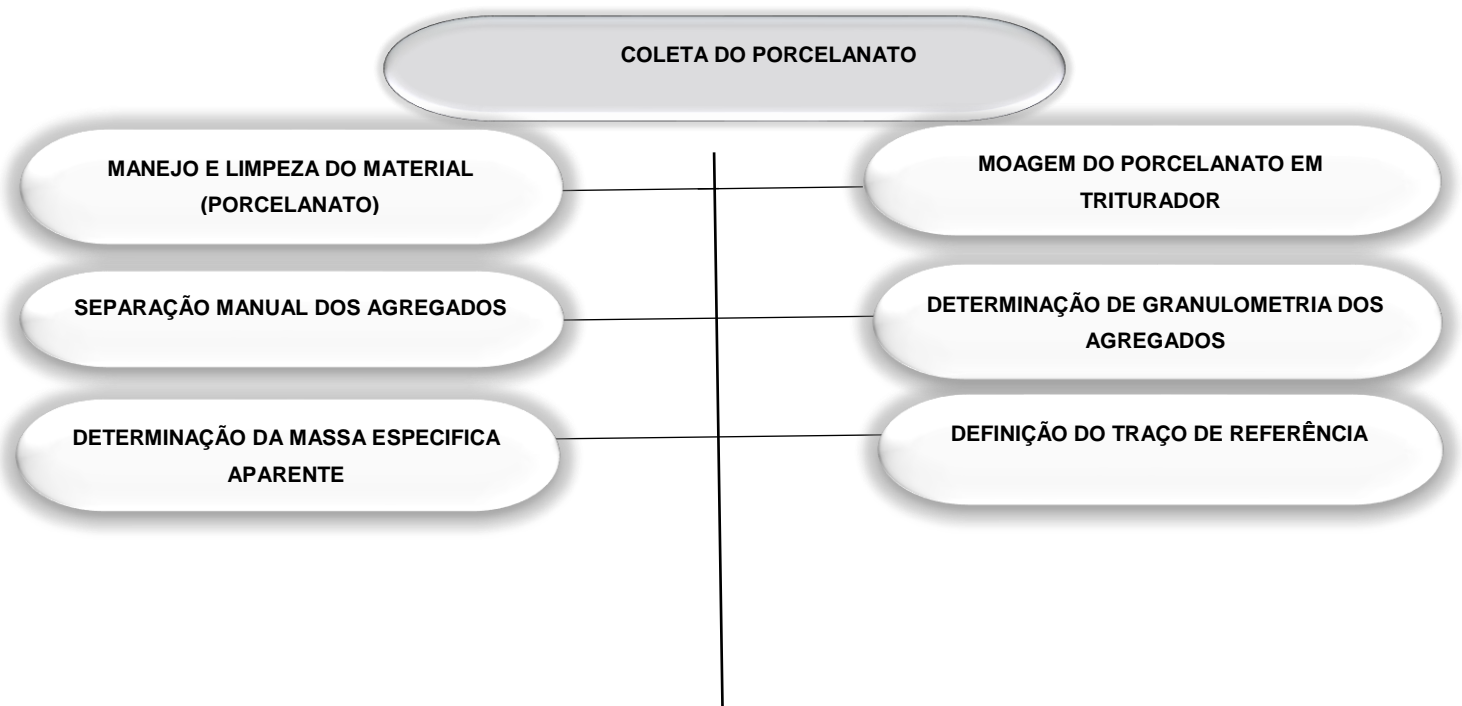
Neste sentido, podemos dizer que o projeto ecologicamente correto está no uso racional de todos os recursos que o meio ambiente nos proporciona, minimizando os impactos ecológicos negativos e potencializando os positivos sobre todas as etapas (projeto, obra, entrega e manutenção). Ao tempo em que ele precisa ser economicamente viável, trazendo o justo retorno a seus acionistas e investidores no curto, médio e longo prazos. A sustentabilidade na construção civil hoje é um tema de extrema importância, já que a indústria da construção causa um grande impacto ambiental ao longo de toda a sua cadeia produtiva. Esta inclui ocupação de terras, extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais, construção de edifícios e geração e disposição de resíduos sólidos. Além disto, segundo o CIB, 2000: 17, a indústria da construção é um dos grandes contribuintes do desenvolvimento socioeconômico em todos os países.

No que se refere à Indústria da Construção Civil, setor objeto do estudo, se faz necessário a assimilação desses conceitos, uma vez que, entre outros fatores, o setor é responsável por cerca de 60% dos resíduos sólidos lançados nos centros urbanos brasileiros (ABRELPE, 2006), além dos desperdícios resultantes de seus processos construtivos, em torno de 25%.

3.0 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado a metodologia para o desenvolvimento do trabalho, incluindo-se pelas descrições dos materiais utilizados, seguida do método de dosagem e sua aplicação. Ilustrada na figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de pesquisa experimental





3.1 Obtenção dos ag

O porcelanato obtido foi doado por uma construtora local, cerca de 200 kg do material que seria descartado como recortes ou peças defeituosas. Este material não teve prioridade de escolha por composição, geometria ou textura, como mostra a figura 4.

Figura 4 - Aquisição do Porcelanato



Fonte: Autor, (2016)

Para a melhor aderência do agregado agraúdo com a pasta do concreto, foi retirada a superfície vitrificada do porcelanato, com auxílio de uma serra circular, obtendo assim uma superfície mais rugosa procurando melhorar o desempenho da interface, pasta/agregado, conforme figura 5 (a), ilustrando o porcelanato com sua face vitrificada e 6 (b) com sua superfície lixada.

Figura 5 - Comparativo porcelanato

(a)



Fonte: Autor, (2016)

(b)



Fonte: Autor, (2016)

Este material foi encaminhado para o laboratório de materiais e estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas onde foi realizado o tritramento do material de forma manual, com auxílio de marreta obtendo-se um diâmetro máximo de 150mm (largura de entrada do moinho de martelo GME, modelo 257 HX). Conforme figura 6.

Figura 6 – Peças sendo preparadas para moagem



Fonte: Autor, (2016)

Os porcelanatos foram encaminhados para o laboratório de minas do Centro Universitário Luterano de Palmas, onde foram passados no moinho para obtenção dos agregados graúdos. Conforme figura 7.

Figura 7- Moinho



Fonte: Autor, (2016)

Após a moagem do porcelanato foi realizado uma separação manual do porcelanato moído, passando estes pela peneira 4,75 mm. Classificando o que passa por esta peneira em agregado miúdo, e o que ficou retido foi classificado como agregado graúdo. A tabela 2 mostra as características do moinho.

Tabela 2 – Dados Técnicos do Moinho de Martelo

Moinho	
Marca	WEG

Modelo	257 HX
Transmissão	Polias e Correias
Força Motriz	Energia Elétrica
Pot. Motor(RPM)	1720
Tensão (v)	220-380
Consumo KWh	14,92

Fonte: Autor, 2016.

Após material moído obteve-se a brita 1 que foi utilizada nas concretagens substituindo parcialmente os agregados convencionais em partes que são de 25,50 e 100 %. Após essa separação prévia foi realizado o ensaio de determinação de composição granulométrica de acordo com a NBR NM 7217/87 onde o módulo de finura do agregado graúdo encontrado foi 7,48. Conforme figura 8.

Figura 8 – Separação do porcelanato Moído



Fonte: Autor, 2016

A influência da forma e textura superficial do agregado, interfere diretamente em sua resistência, a aderência na interface agregado pasta-matriz, ou zona de transição, podendo tornar-se um fator limitante para o desenvolvimento de concretos de alta resistência. Em vista disso, a forma e textura do agregado passam a ter uma influência nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

Estudos mostram que uma superfície rugosa e uma forma angular, como a maioria das partículas britadas, proporciona concretos com maiores resistências do que partículas arredondadas e lisas como o seixo rolado (ACI 363R-92,2001).

A justificativa para isso seria a maior aderência mecânica desenvolvida entre a pasta-matriz e as partícula angulares e rugosas.

Segundo os estudos de GIACCIO e ZERBINO (1996) a redução na resistência pode chegar a 15% quando se utiliza agregados lisos e arredondados (seixo natural de rio), comparando-se com materiais britados.

Além disso, ALMEIDA (2000), comenta que concretos com agregados britados tem maior módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à tração por compressão diametral, propriedades essas que são influenciadas pela aderência pasta-agregado, e portanto pela rugosidade e angulosidade das partículas.

No projeto de pesquisa também foi observado a deficiência do agregado de porcelanato, por ter a interface vitrificada, nos ensaios de traço piloto observamos a queda da resistência à compressão simples. Assim optando pelo lixamento do porcelanato e seleção mais rigorosa do agregado.

3.2 Materiais Utilizados

Para a seleção dos materiais utilizados na pesquisa deste trabalho, procurou-se aplicar o critério para selecionar aqueles de uso diário para a produção de concretos convencionais pelas principais características da região de Palmas-TO, visando o reaproveitamento do porcelanato.

As características técnicas do cimento, sílica ativa e aditivo hiperplastificante foram fornecidos pelos fabricantes. A caracterização dos agregados foram feitas no laboratório de matérias e estruturas do Cento Universitário Luterano de Palmas, como se apresenta a seguir.

3.2.1 Cimento

CP V-ARI, cimento Portland de alta resistência inicial, tem alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido. O clínquer é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto.

Esta propriedade de oferecer uma maior e mais rápida resistência ocorre pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, além deste passar por um processo de moagem mais fino. Assim, ao reagir com a água, este cimento adquire elevadas resistências em menores tempos de cura (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

As características do cimento foram realizadas pelo fabricante, sendo apresentada na tabela 3 os valores dos ensaios físicos, com todos os ensaios em conformidade com as normas existentes.

A tabela 4 apresenta os valores dos ensaios químicos realizados pelo fabricante, com todos os resultados atendendo as recomendações das normas em vigor. (Fonte: Fabricante).

Tabela 3 – Ensaaios físicos cimento CP V ARI

Ensaaios		Fabricante
Peneira # 400 (%) - NBR 9202		3,09
Blaine (cm ² /g) NBR - 7223		4640
Relação água/cimento (%)		29,9
Tempo Pega (min) - NBR 11581	Início	149
	Fim	191
Resistência à Compressão (MPa) - NBR 7215	1 dia	29
	3 dias	41,6
	7 dias	46,2
	28 dias	55,1

Fonte: InterCement,(2016)

Tabela 4 – Ensaaios químicos cimento CP V ARI

Ensaaios	Fabricante
CO ₂ (%) - NBR 11583	1,77
PF 500°C (%) - IT 22	0,79
PF 1000°C (%) - NBR 5743	3,33
R. Insol. (%) - NBR 5744	0,53
SO ₃ (%) - NBR 5745	2,75

Fonte: InterCement,(2016)

3.2.2 Areia Comum

Utilizou-se areia natural proveniente do Rio Tocantins, da região metropolitana de Palmas- TO. As características físicas são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização dos Agregados Miúdos

Característica do Agregado Miúdo		
Peneiras	Agregado Comum (Areia média)	
	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)
6,3	0	0
4,75	1,59	1,59
2,36	7,98	9,57
2	2,6	12,17
1,18	9,29	21,46
0,6	15,28	36,74
0,3	41,52	78,26
0,15	14,02	92,28
0,075	4,36	96,64
Fundo	0,83	97,47
Origem	Palmas – TO	
Tipo	Areia Natural	
Classificação	Areia Grossa	
Cor	Amarelado	
Modulo de Finura	2,90	
Diâmetro Máximo (mm)	4,8	
Massa Específica	2,65	
Massa Unitária (g/cm³)	1,52	
Teor de Material Passante na Peneira	0,83	

Fonte: Autor, (2016).

De acordo com a tabela 5, o agregado miúdo atende as recomendações para o seu emprego em concretos.

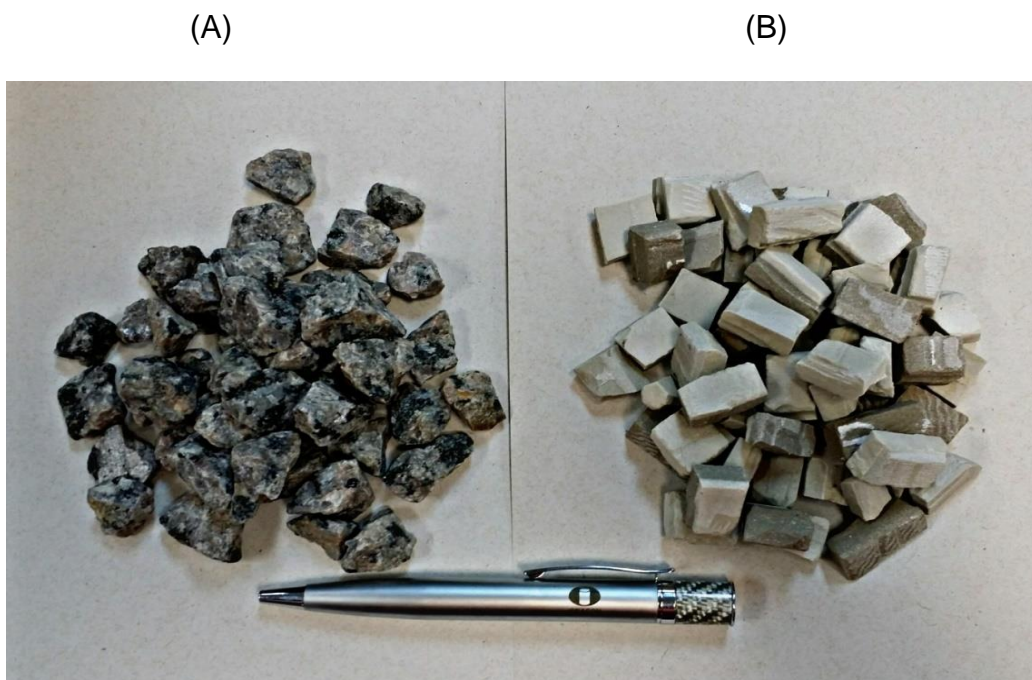
Segundo AITCIN (2000), o agregado miúdo deve apresentar módulo de finura dentre o intervalo de 2,7 e 3,0, características de uma areia mais grossa. Isso deve-se ao fato dos traços dos CAR serem ricos em partículas finas (alto teor de cimento), e no entanto, o uso de uma areia mais grossa proporcionará uma pequena redução na água de amassamento, para a mesma trabalhabilidade, o que é vantajoso pelo ponto de vista de resistência e economia.

3.2.3 Agregados graúdos

A NBR 15116:2004 determina os ensaios de caracterização do agregado graúdo reciclado para utilização em concretos. Assim, a brita 1, foi ensaiada conforme esta norma para efeitos de comparação com o agregado graúdo reciclado utilizado. A brita 1, são rochas, provenientes de extração na cidade de Palmas -TO.

Já o porcelanato graúdo, foi resultante da moagem do porcelanato (revestimento cerâmico), em granulometria similar a brita 1, tendo na figura 9 (a) e 9 (b), suas representações. As características físicas são apresentadas na tabela 6.

Figura 9 – Brita de porcelanato e brita natural



Fonte: Autor, (2016)

Tabela 6 - Característica do Agregado Graúdo

Característica do Agregado Graúdo		
Características	Agregado Comum (brita 1)	Porcelanato (brita 1)
Origem	Palmas – TO	Indústrias de todo o Brasil
Tipo	Brita	Porcelanato britado
Classificação	1	1
Cor	Preto-cinza	Branco-Marrom
Estrutura	Compacta	Compacta
Forma dos Grãos	Cúbico	Lamelar-Cúbico
Grau de Alteração	Brita 1	Porcelanato
Módulo de Finura	7,52	7,48
Diâmetro Máximo	19	19
Massa Específica	2,70	2,40
Massa Unitária	1,75	1,64

Fonte: Autor, (2016).

De acordo com a tabela 6, é possível fazer uma análise dos agregados, com algumas características específicas. Primeiramente os agregados apresentaram módulo de finura muito próximo, indicando como feito, que para mesma relação água/aglomerante os concretos apresentam uma consistência parecida. Em segundo lugar o agregado de porcelanato apresenta uma baixa absorção de água em relação aos agregados naturais.

3.2.4 Sílica Ativa

Utilizou-se sílica ativa nacional, do tipo não densificada, fornecida em sacos de papel Krafite de 15 kg cada. A sílica foi empregada em proporções de 10 % da massa de cimento. Suas características físicas e químicas são apresentadas na tabela 7 e 8.

Tabela 7 – Características química da sílica ativa

ENSAIOS QUÍMICOS	TEORES (%)	LIMITES DA NBR 13957/97
Perda ao Fogo	2,64	≤ 6,0 %
Óxidos de Silício (SiO ₂)	96,09	≥ 85,0 %
Óxidos de Sódio (Na ₂ O)	0,51	-
Óxidos de Potássio (K ₂ O)	0,86	-
Equivalente Alcalino em Na ₂ O	1,10	≤ 1,5 %

FONTE: Laboratório de Materiais e Estruturas – LAME/LACTEC

Tabela 8 – Características físicas da sílica ativa

ENSAIOS FÍSICOS	RESULTADOS	LIMITES DA NBR 13957/97
Massa específica (g/cm ³)	2,20	-
Umidade (%)	1,20	≤ 3,0 %

FONTE: Laboratório de Materiais e Estruturas – LAME/LACTEC

3.2.5 Aditivo Hiperplastificante

O aditivo selecionado foi de acordo com o mercado local, PLASTOL® 6040, aditivo para concreto, líquido, isento de cloretos, pronto para o uso. Suas características físicas serão apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 – Características do aditivo Hiperplastificante

Ação principal:	Aditivo Superplastificante tipo II (SP-II R) - (Hiperplastificante)
Ação secundária:	Redutor de água de amassamento (A/C)
Composição:	Solução de Policarboxilatos em meio aquoso
Aspecto:	Líquido
Cor:	Levemente amarelada
Massa específica:	≅ 1,1 g/cm ³
Teor de cloretos:	Não contem cloretos

Fonte: VIAPOL, (2016)

3.2.6 Água de amassamento

Utilizou-se no projeto de pesquisa água potável proveniente da rede de abastecimento Saneatins Palmas- TO

3.3 Aplicação do método Mehta – Aitcin

Este método apresentado em MEHTA & AİTCIN (1990b), e projetado para concretos com resistência à compressão no intervalo de 60 a 120 MPa e assume que o agregado escolhido não limitam a resistência do concreto. Nessa pesquisa utilizamos um traço referência de 70 MPa aos 28 dias

As etapas recomendadas e desenvolvidas no projeto de pesquisa, foram:

- A divisão do intervalo de 60-120 MPa em cinco níveis, de 65,75,90,105,120 MPa, identificados pelas letras de A até E. Considera-se esses valores para a idade de 28 dias.
- A estimativa de máximo consumo de água entre 120 até 190 l/m³, são valores baseados em concretos com altos abatimentos, que usam superplastificantes e agregados com diâmetro máximo de 12 a 19 mm. Determinado na tabela 9.
- Determinação do volume dos componentes da pasta de cimento, parte de que o volume total da pasta e 0,35 m³. Inicialmente subtraiu-se a água da pasta. Determinado na tabela 10.

Tabela 10 – Resistência a compressão média e consumos máximos de água utilizados

Resistência	Resistência média prevista em (MPa)	Consumo máximo de água (kg/m ³)
A	65	175
B	75	160
B	90	145
D	105	135
E	120	120

Fonte: MEHTA & AİTCIN (1990b).

Tabela 10 – Volumes para 0,35 m³ de pasta (MEHTA & AİTCIN (1990))

Resistência	Água (m ³)	Ar (m ³)	Total de material cimentício	CP a AS (m ³)
A	0,190	0,02	0,1550	0,1381+0,0169
B	0,175	0,02	0,1700	0,1515+0,0185
C	0,160	0,02	0,1850	0,1649+0,0201
D	0,145	0,02	0,1950	0,1738+0,0212
E	0,135	0,02	0,2100	0,1871+0,0229
CP- cimento Portland e SA- Sílica ativa				

Fonte: MEHTA & AİTCIN (1990b),

- d) A estimativa dos agregados, baseia-se em que o volume total dos agregados e de 0,65 m³ por metro cubico de concreto. Método coloca que a relação miúdos/graúdos varia conforme a resistência.
- e) Definição dos consumos em massas, dividindo os valores de cada um, (obtidos em 'c' e 'd'), por sua massa específica, (valores obtidos com grãos saturados e superfície seca para areia e brita)
- f) A dosagem preliminar do aditivo hiperplastificante, e experimentada de acordo com o recomendado pelo método, 1% dos sólidos sobre a massa do cimento. Da mesma forma, para cada dosagem o peso da fração da água contida no aditivo foi retirado dos consumos máximos de água definido em 'b'.
- g) A correção da umidade dos agregados miúdos e graúdos é necessário. E realizada subtraindo-se o volume de água contida nestes dos consumos máximos de água definidos em 'b'.
- h) Ajustes sobre os concretos experimentais definidos, necessários devido ao grande número de estimativas feitas pelo método. Se o abatimento estabelecido de no mínimo de (150 ±10) mm, não for alcançado aumentasse gradativamente o consumo de aditivo, até o limite em que se perde a coesão do concreto.

3.4 Metodologia dos ensaios com concreto

3.4.1 Dosagem dos traços

Foi calculado um traço em massa 1:1,47:2,68:0,1:0,013:0,3 (cimento, areia, brita, sílica, aditivo, água), com consumo de cimento de 580 kg/m³ conforme a tabela 11. Assim, estipulou-se um traço referência 'TR', com agregados comuns, e os demais traços com as substituições do agregado graúdo de 25,50 e 100%.

Tabela 11 – Traço referência

Traço Referência	
Teor de Argamassa	60%
f_{ck}	70 MPa
Estimativa de (sd)	4,0
Cimento (Kg/m ³)	580kg/m ³
Fator A/C	0,30
Abatimento (cm)	10±2

Fonte: Autor, (2016).

Tabela 12 - Dosagem em Massa Para 1 m³ de Concreto

Dosagem em Massa Para 1 m ³ de Concreto (1:1,47:2,68:0,1:0,013:0,3)	
Cimento CPV-ARI	580 Kg
Areia Natural	851,5 Kg
Brita (1)	1554,4 Kg
Água	174 kg
Aditivo	7,4 kg
Sílica ativa	58 kg

Fonte: Autor, (2016).

Tabela 13 - Dosagem em Massa Para 0,030 m³ de Concreto

Dosagem em Massa Para 0,030 m³ de Concreto. (1:1,47:2,68:0,1:0,013:0,3)	
Cimento CPV-ARI	13,70 Kg
Areia Natural	20,23 Kg
Brita (1)	36,65 Kg
Água	4,00 kg
Sílica ativa	1,38 kg
Aditivo	0,18 kg

Fonte: Autor, (2016).

3.4.2 Descrição dos Concretos com Porcelanato Moído

- **TSAG-25:** concreto de traço 1:1,47:2,68:0,1:0,013:0,3 (cimento, areia, brita, sílica, aditivo, água) com substituição em massa de 25% do agregado graúdo (brita 1) por porcelanato moídos em granulometria semelhantes a brita 1 e curado submerso;
- **TSAG-50:** concreto de traço 1:1,47:2,68:0,1:0,013:0,3 (cimento, areia, brita, sílica, aditivo, água), com substituição em massa de 50% do agregado graúdo (brita 1) por porcelanato moídos em granulometria semelhantes a brita 1 e curado submerso;
- **TSAG-100:** concreto de traço 1:1,47:2,68:0,1:0,013:0,3 (cimento, areia, brita, sílica, aditivo, água), com substituição em massa de 100% do agregado graúdo (brita 1) por porcelanato moídos em granulometria semelhantes a brita 1 e curado submerso.

Portanto e apresentado na tabela 14 as quantidades de materiais a serem utilizadas nos traços que terão a substituição do agregado graúdo, brita 1.

Tabela 14 – Traço substituindo agregado graúdo

TRAÇO (1:1,47:2,68:0,1:0,013:0,3)								
Traços	Teor de Sub. % Agreg.	Cimento (kg)	Sílica (kg)	Aditivo (kg)	Agregado Miúdo. Areia (kg)	Agregado graúdo		Água
						Brita 1	Porcelanato	
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	Kg/m ³
Referência	-	580,00	58,00	7,40	851,50	1.554,40	-	133,33
TSAG 25	25%	580,00	58,00	7,40	851,50	1165,8	336,70	133,33
TSAG 50	50%	580,00	58,00	7,40	851,50	777,2	674,26	133,33
TSAG 100	100%	580,00	58,00	7,40	851,50	-	1.348,52	133,33

Fonte: Autor, (2016).

3.5 Concretagem dos corpos de prova

A mistura do concreto foi realizada em betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 350 litros (figura 10). Antes de iniciar os processos de mistura, o interior da betoneira era molhado, com finalidade de evitar que a água de amassamento seja absorvida pelas paredes anteriormente secas.

Figura 10 - Materiais e betoneira

Fonte: Autor, (2016).

A ordem de colocação dos materiais na betoneira em movimento foram iguais para todos os traços.

- 1 - 100% da brita e 25 % da água
- 2 – 100% do cimento e 100% da sílica (Previamente misturados)
- 3 – 75 % restante da água
- 4 – Mistura por 1 minuto
- 5 – 80% do aditivo
- 6 – Mistura por 2 minutos
- 7 – 100% da areia
- 8 – Mistura por 2 minutos
- 9 – Parada por 2 minuto
- 10 - 20 % do aditivo (podendo ser ajustado)
- 11 – Misturar por mais 2 minutos

Por fim, encerrados o período médio de mistura (8 minutos), foram realizados os ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR-NM-67,1998).

Pode-se observar que o aditivo Hiperplastificante inserido após um minutos de mistura do cimento com a água, resulta em um abatimento superior do que os concretos com o aditivo previamente misturados com a água. Estes resultados já teriam sido observado nos estudos de COLEPARDI et al. (1990).

Outro fato que pode-se salientar o tempo de mistura do CAR e superior a concretos convencionais, devido ao comportamento tixotrópico deste matéria que demanda uma maior força de amassamento, implicando em mais tempo na betoneira.

A tixotropia é a propriedade que alguns materiais apresentam quando o material no estado plástico atinge uma consistência gelatinosa quando deixados em repouso, mas ao serem solicitados por esforços externos voltam ao estado fluido, viscoso. (GIAMMUSSO,1989).

Para cada traço foram moldados 18 corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm (diâmetro x altura) e dois corpos-de-prova cilíndricos de 15x 30 cm (diâmetro x altura).

Todos os corpos-de-prova cilíndricos foram desmoldados 24 horas após a moldagem e inseridos no reservatório para cura húmida (figura 11).

Os corpos de prova foram retirados da água 24 horas antes dos ensaios mecânicos e rompidos aos sete dias de cura, posteriormente com 14, 28 e 63 dias.

Figura 11 – Tanque para cura húmida



Fonte: Autor, (2016).

3.6 Ensaios com concreto

Realizou-se os ensaios de resistência à compressão simples segundo a NBR 5739/2007 na prensa hidráulica EMIC PC 200 L com capacidade de 200 toneladas do laboratório de materiais e estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas, onde foi feito o estudo visando estabelecer os teores de porcelanato no traço do concreto empregado na fabricação de concretos de alta resistência.

Foram estabelecidas as proporções dos ensaios de substituição por meio dos parâmetros de 25%, 50% 100% de substituição dos agregados graúdos convencionais.

3.6.1 Concreto no Estado Fresco

No estado fresco o concreto foi submetido ao ensaio de abatimento do tronco de cone, *Slump test*, conforme a NBR NM 67 (1998).

3.6.2 Resistência à tração por compressão diametral

Efetuuou-se o ensaio para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova e testemunhos cilíndricos de concreto e argamassa de acordo com a NBR 7222:2010, com idade de 28 dias.

3.6.3 Ensaio de absorção de água por imersão NBR 9778/2009

Foi realizado de acordo com a norma NBR 9778/2009 o ensaio para determinação da absorção de água, através de imersão, do índice de vazios e massa específica de argamassa e concreto endurecidos aos 28 dias.

3.6.4 Ensaio módulo de elasticidade experimental

Sucedeu-se de acordo com a NBR 8522/2008 o ensaio do módulo de elasticidade experimental determinando a elasticidade à compressão do concreto no estado endurecido, nos corpos-de-prova cilíndricos.ao final de 28 dias.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

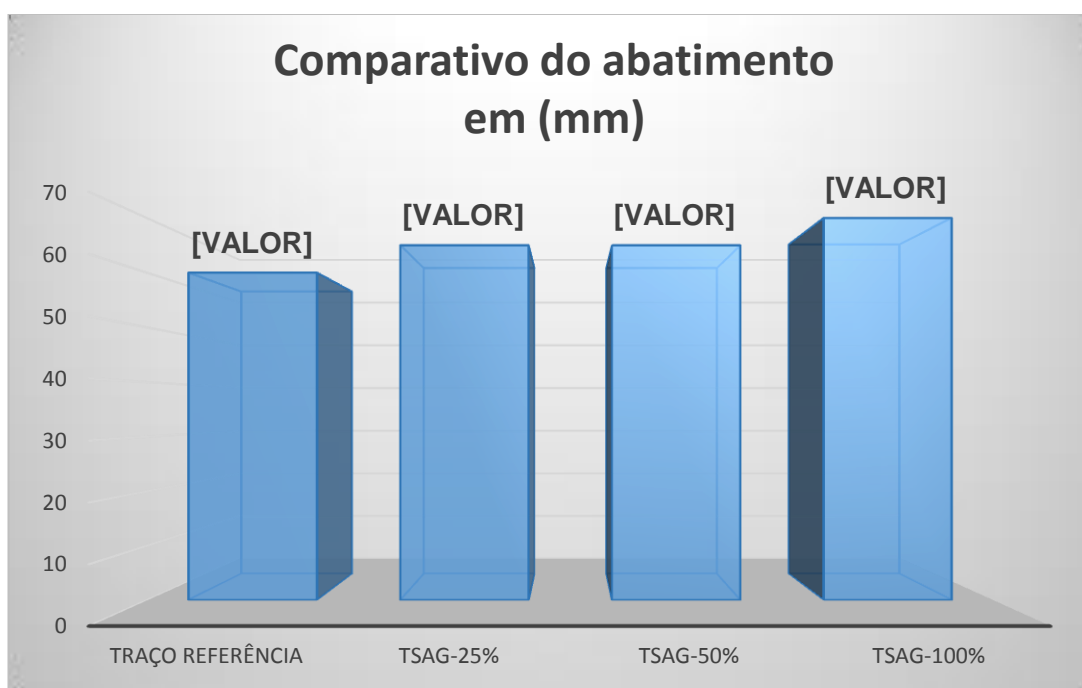
Neste capítulo estão apresentados os resultados decorrentes da metodologia apresentada, iniciando-se pelo ensaio de abatimento do troco de cone *Slump test*, seguido, das rupturas dos CPs, resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção de água por imersão.

4.1 Concreto no estado fresco

No estado fresco o concreto foi submetido ao ensaio de abatimento do tronco de cone, *Slump test* (NBR NM 67: 1998),

No *Slump-test* foram obtidos os resultados apresentados no gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparativo do Abatimento



Fonte: Autor, (2016).

Considerando o gráfico um citada acima, conclui-se que os traços TSAG-25% e TSAG-50% tiveram o mesmo abatimento, superior ao traço referência sendo que o TSAG-100% teve o maior abatimento e melhor trabalhabilidade, facilitando a moldagem dos corpos de prova.

Pode-se observar que quanto maior a substituição do agregado graúdo, por porcelanato moído menor a absorção de água, assim podendo se analisar que a quantidade de água calculada para o traço referência poderia ser diminuída dos traços com porcelanato, assim não influenciando na resistência. Conforme figura 12 podemos observar o abatimento do traço referência.

Figura 12 - Abatimento traço referência



Fonte: Autor, (2016).

Mesmo com os concretos não apresentando abatimento, *Slump* calculado, todos os traços mostraram-se adensáveis, isto é, foram vibrados facilmente, permitindo o preenchimento rápido dos moldes metálicos.

Entretanto, com o incremento do porcelanato graúdo os traços não apresentaram o abatimento calculado, visto que o porcelanato é um material de baixa permeabilidade, podendo resultar num concreto mais fluído, com o abatimento mais elevado que o traço referência, sendo explicado pela baixa relação água/cimento dos traços.

De acordo com AİTCIN (2000), podemos salientar que a distribuição granulométrica dos agregados influencia diretamente na quantidade de água necessária na obtenção da relação água/aglomerante desejada e consequentemente, influencia na trabalhabilidade do concreto.

Além disso um agregado bem distribuído, sem deficiência ou excessos de qual quer fração, possibilitam o emprego de maior quantidade desse material em um determinado volume de concreto, dando uma maior densidade ao material. Ainda

com melhor empacotamento do material, as partículas menores preenchem os espaços das partículas maiores, diminuindo a quantidade de vazios.

Isso podendo explicar o abatimento inferior ao calculado no projeto de pesquisar, que utilizou uma graduação de agregado gráudo excessiva da peneira 9,5mm, assim influenciando no empacotamento e trabalhabilidade do concreto.

4.2 Concreto no estado endurecido

Na tabela 15 serão indicados os valores médios dos ensaios realizados nos traços de substituição do agregado gráudo (brita 1) por porcelanato moído e traço de referência.

Tabela 15 – Resultados ensaios do concreto no estado endurecido

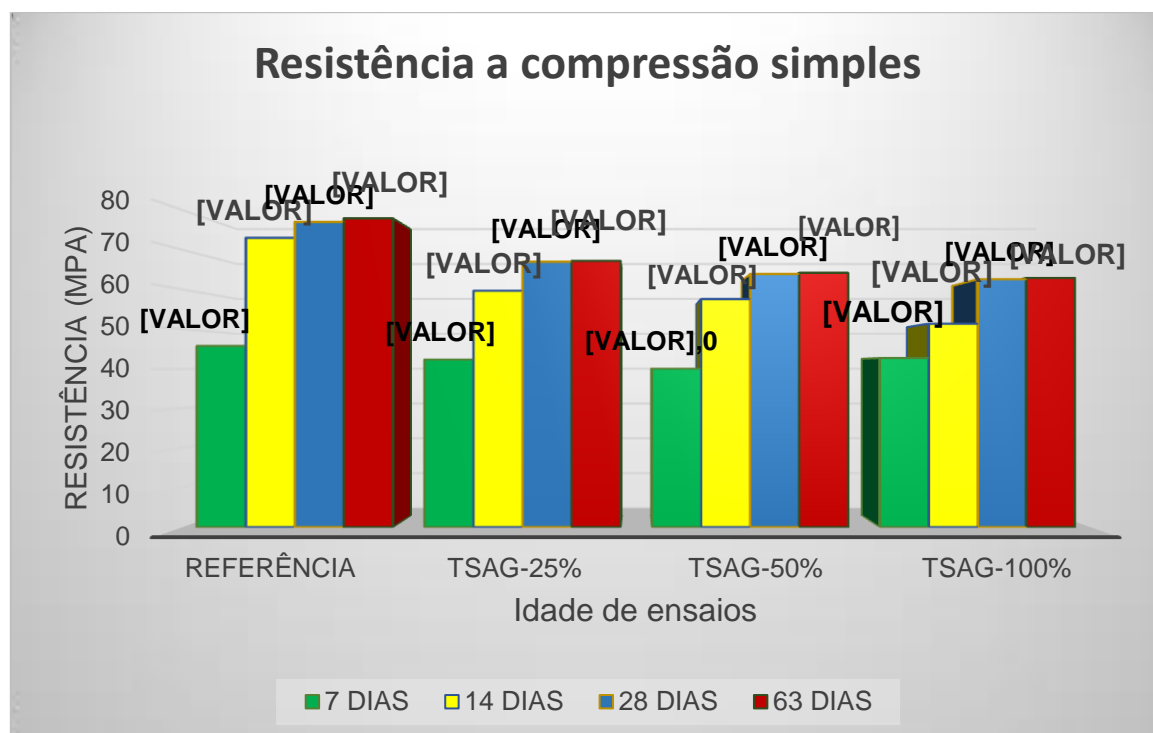
Ensaio	Idade	Traço			
		Referência	TSAG -25	TDAG -50	TSAG -100
Compressão Simples (MPa)	7 dias	45,69	42,25	40,00	42,74
	14 dias	72,90	59,60	57,50	51,30
	28 dias	76,90	66,90	63,80	62,50
	63 dias	79,80	69,10	66,10	62,80
Compressão por tração Diametral (MPa)	28 dias	7,49	7,44	7,08	6,74
Módulo Elasticidade (GPa)	28 dias	46,70	43,30	42,60	42,14
Quantidade de Água Absorvida (g) NBR 9778/2009	28 dias	6,00	6,40	4,80	4,70

Fonte: Autor, (2016).

4.2.1 Resistência à compressão simples

Foram ensaiados 3 Corpos-de-prova cilíndricos à resistência à compressão simples, nas idades de 7, 14, 28 e 63 dias, conforme as recomendações da NBR 5739 (1994).

No gráfico dois são apresentados os valores médios destas resistências, para os traços de concreto: Referência, TSAG 25%, TSAG 50% e TSAG 100%.

Gráfico 2 – Resistência a compressão simples

Fonte: Autor, (2016).

Observa-se que todos os traços com adição de porcelanato graúdo em substituição ao agregado graúdo (brita 1) apresentaram resultados inferiores ao traço referência. Na idade de 7 dias o decréscimo na resistência foi de 7,4%, 12,5% e 6,7%, respectivamente para os traços TSAG 25, TSAG 50 e TSAG 100.

Já para a idade de 14 dias, as quedas na resistência dos traços com porcelanato graúdo ficaram em 18,2%, para o traço TSAG 25, de 21% para o traço TSAG 50, enquanto que no traço TSAG 100 a queda foi de 29,6% em comparação ao traço referência.

Quanto aos resultados dos ensaios aos 28 dias de idade, quanto maior a porcentagem de substituição do agregado graúdo (brita 1) pelo porcelanato graúdo maior a queda na resistência em comparação ao traço referência. Estes valores foram inferiores a 13%, no traço TSAG 25, 17% no traço TSAG 50%, 19 % para o traço TSAG 100%.

Nas idade de 63 dias, os resultados dos ensaios foram similares aos demais que tiveram queda na resistência em comparação ao traço de referência, queda

está de 13 % para o TSAG 25%, 17% no TSAG 50 %, observando a maior queda do TSAG 100% que ficou na ordem de 21,4 %.

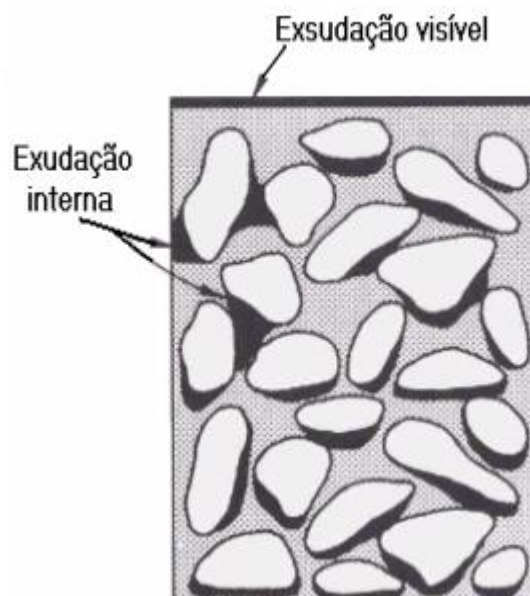
As características dos agregados que são importantes para os concretos convencionais, passam a ser de sua importância para CAR.

Uma melhor seleção passa a ser importantíssimo, detalhes geométricos dos grãos, como seu formato e rugosidade deste afetam as propriedades do concreto. (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

No entanto podemos observar que os agregados graúdos influenciam de forma significativa a resistência do concreto, a zona de transição para os CAR, há a necessidade de melhorá-la, de acordo com a metodologia utilizada, utilizou-se uma relação a/c baixa e adicionou-se sílica ativa, que provoca o efeito microfíler e reações pozolâmicas.

Com tudo o porcelanato em forma de agregado graúdo, apresenta características desfavoráveis em comparação as britas naturais, a rugosidade obtida é inferior as britas convencionais e também sua baixa capacidade de absorção de água influencia diretamente na zona de transição, como poderemos observar na figura 13, a exsudação causada pela água de amassamento que deveria ser absorvida pelo agregado, pode influenciar na perda de resistência na região pasta/agregado.

Figura 13 – Exsudação interna - zona de transição

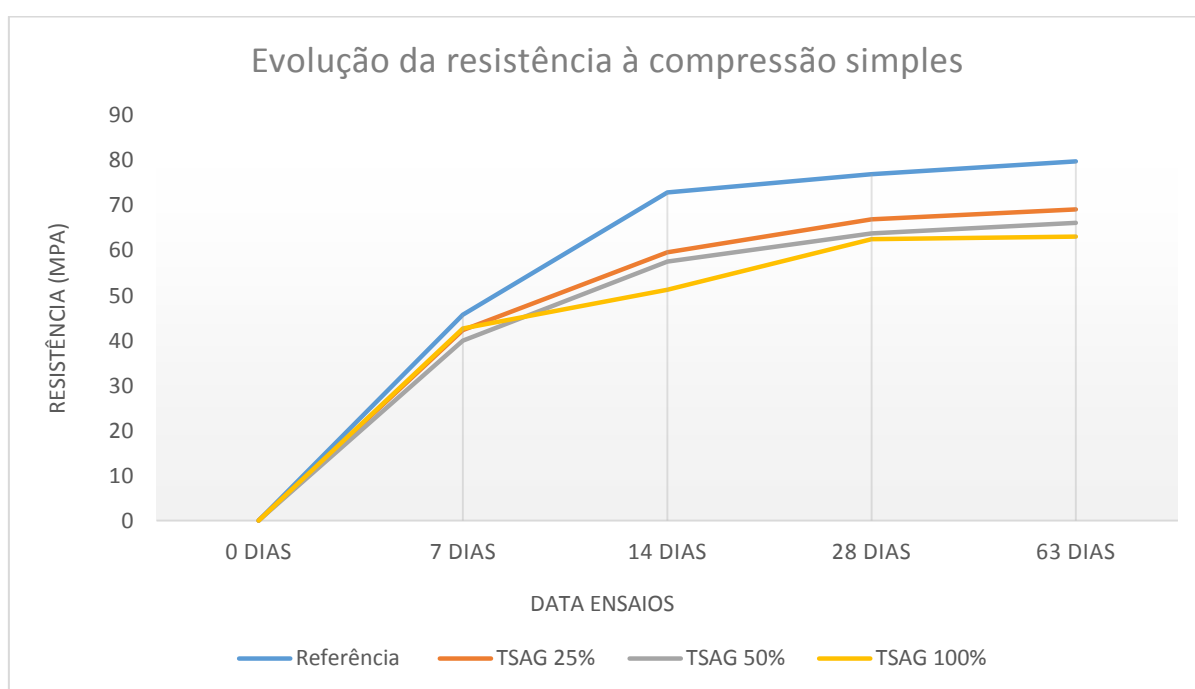


Fonte: MEHTA & MONTEIRO, (1994).

Já no gráfico três tem-se a evolução da resistência à compressão simples ao longo das idades de ensaio.

Pode-se observar que o traço referência apresentou uma evolução de 68,3% ao longo das idades ensaiadas. Entre os traços com porcelanato o traço TSAG 50 apresentou uma evolução até maior que o TSAG 25, evolução está de 59,5%, enquanto que no traço TSAG 100% a evolução com o decorrer das idades de ensaio ficaram próximas a 58,2%.

Gráfico 3 – Evolução da resistência à compressão simples



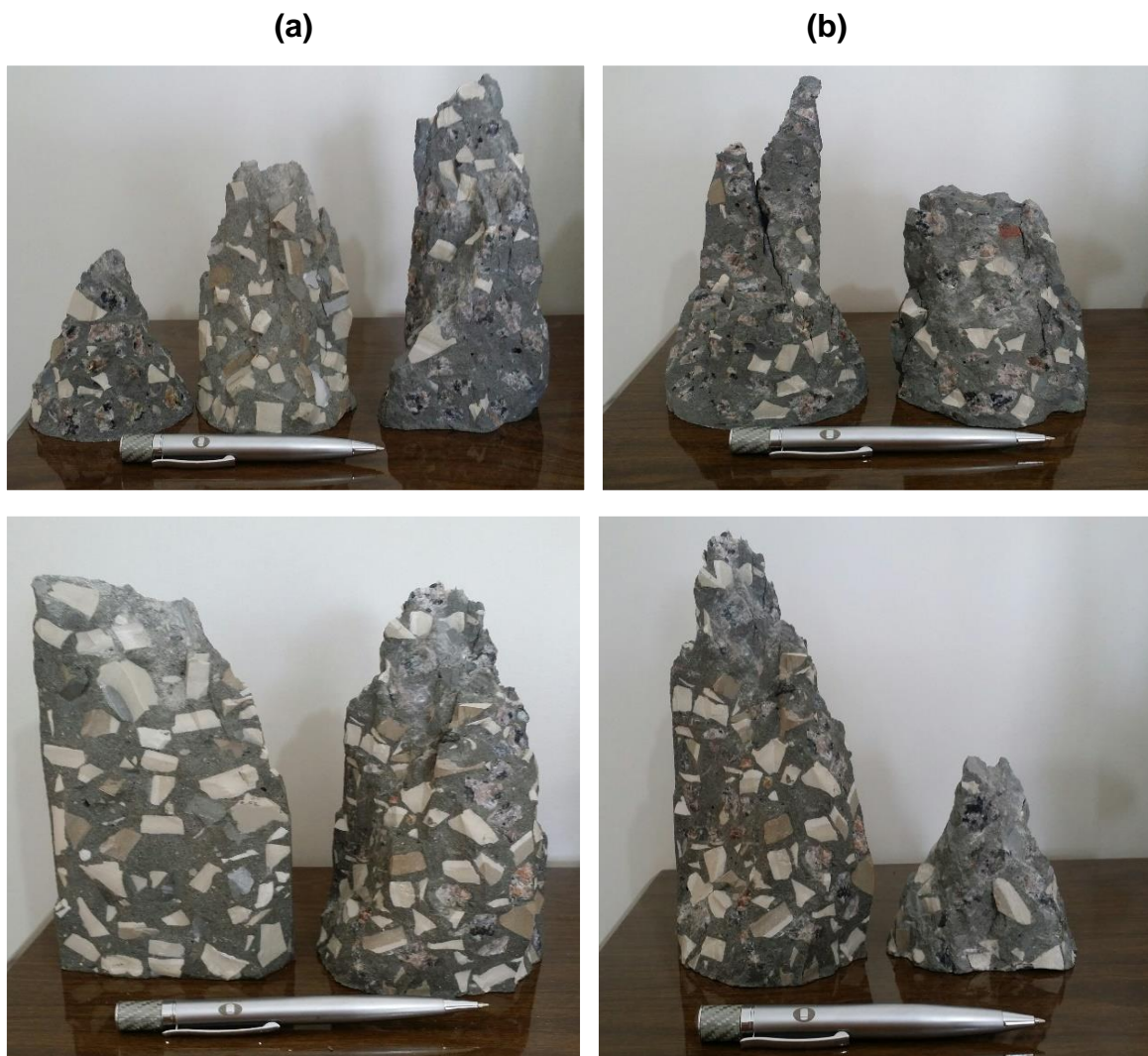
Fonte: Autor, (2016).

Os concretos de alta resistência apresenta um ganho de resistência nas primeiras idades quando comparado com concretos convencionais, mas em idades avançadas a diferença é insignificativa.

Segundo o ACI 363-R92 (2001), a justificativa para esse comportamento é o aumento da temperatura interna, devido ao auto calor de hidratação, em razão do alto consumo de cimento. Outros pesquisadores apontam a maior proximidade das partículas (que favorece a velocidade de hidratação do cimento) e a diminuição dos poros, por se utilizar uma baixa relação a/c (ALMEIDA, 2000). Já GJORV (1994) comenta que a baixa resistência após os 28 dias em CAR com sílica ativa é devida à falta de água para a hidratação adicional.

Quanto ao tipo de ruptura, em todas as idades estas foram de dois tipos, segundo a classificação da NBR 5739 (1944): cônica, figura 14 (a) e cônica e cisalhada, figura 14 (b). Nos ensaios de 28 dias, as rupturas dos corpos-de-prova, para todos os traços, ocorreram de forma brusca.

Figura 14 – Tipos de ruptura: cônica (a) e cônica e cisalhada (b)



Fonte: Autor, (2016).

Observou-se também durante os ensaios para o traço piloto, (adequação do material ao traço que seria usado) um “desprendimento” da brita de porcelanato graúdo (brita 1), “desprendimento” este de maior intensidade quando havia a face vitrificada do porcelanato em contato com a argamassa de concreto.

Vendo a fragilidade do material nesta face, foi optado pelo lixamento da parte vitrificada do porcelanato e refazendo os ensaios com o porcelanato lixado, assim obtendo-se uma superfície mais rugosa com a intenção de aumentar a aderência na interface (argamassa-agregado graúdo). Este fato pode ser explicado

pela baixa capacidade de absorção de água do porcelanato, ficando envolta deste porcelanato grão de água de amassamento, água está que seria absorvida pelo agregado. Assim, esta água ao evaporar-se cria um vazio entre a argamassa do concreto e o porcelanato, principalmente naquela com sua parcela vitrificada. Conforme figura 15 (a), e quando retirado a superfície lisa temos uma queda significativa de ruptura na zona de transição, e passando a ruptura para o agregado. Conforme figura 15 (b).

Figura 15 – Desprendimento do porcelanato

(a)



Fonte: Autor, (2016).

(b)



Fonte: Autor, (2016).

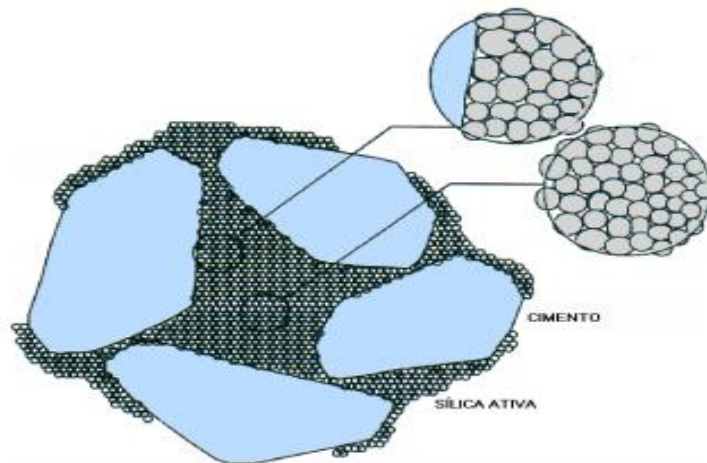
Ressaltando a influência fundamental da sílica ativa que traz benefícios para o concreto devem-se a dois mecanismos de ação: efeito microfíler e efeitos pozolâmicos. (MALIER,1991).

O efeito pozolâmico consiste na capacidade da sílica ativa reagir com o hidróxido de cálcio, produzindo a hidratação do cimento, formando silicato de cálcio hidratado, produto este que é o principal responsável pela resistência mecânica da pasta de cimento. (DAL MOLIN,1995)

O efeito da microfíler consiste em um maior empacotamento dos sólidos constituintes resultantes do preenchimento dos vazios entre as partículas de cimento pelas minúsculas partículas esféricas da sílica ativa (figura 15), cujo diâmetro é 100 vezes menor que as partículas de cimento.

Além disso o tamanho extremamente reduzido das suas partículas, a sílica ativa reduz significativamente a exsudação interna da mistura, além de preencher os vazios deixados pelas partículas de cimento próximos a superfície dos agregados, contribuindo assim para que a zona de transição se torne menos porosa e diminui a sua espessura. (DAL MOLIN,1995)

Figura 16 – Efeito microfíler da sílica ativa no concreto

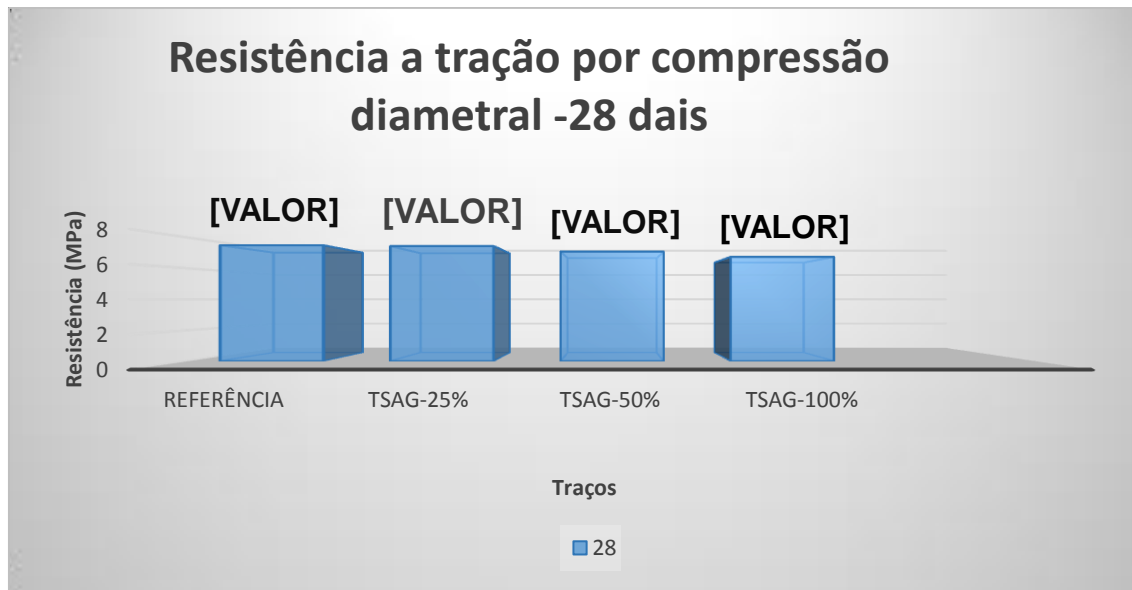


Fonte: AİTCIN (2000).

4.3 Resistência à tração por compressão diametral

Um total de 2 corpos-de-prova de cada traço foram ensaiados à resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade, em acordo com a NBR 7222 (1994). Com as cargas individuais obtidas, tendo no gráfico 4 o valor de resistência médio para cada traço.

Gráfico 4 – Resistência à tração por compressão diametral - 28 dias



Fonte: Autor, (2016).

O traço TSAG-25% apresentou uma resistência à compressão diametral de 0,6% inferior em comparação ao traço referência, no traço TSAG-50% a resistência ficou próxima, entretanto foram cerca de 5,5% inferior ao traço referência, já o TSAG 100% ficou em 10,1% menor que o traço referência.

De acordo com o gráfico os valores obtidos foram respectivamente superiores aos valores encontrados em concretos convencionais, representando que a resistência a tração em concretos com baixa relação água/cimento cresce, não na mesma proporção, com o aumento da resistência a compressão.

Cabe ressaltar que esses resultados se explicam pelo efeito significativo da sílica ativa na resistência a tração por compressão diametral, conforme constatado por DAL MOLIM (1995).

Nos ensaios de resistência a tração por compressão diametral, as quedas foram menores, em relação a resistência a compressão simples, observando-se o “descolamento” de algumas partículas de porcelanato graúdo.

Este fato pode ser atribuído a maior resistência à compressão do porcelanato graúdo em relação a argamassa do concreto, pois em muitos corpos-de-prova, este porcelanato ficava fixo em uma metade do corpo-de-prova e na outra metade havia a marca da continuação do porcelanato.

4.4 Ensaio de absorção de água por imersão

Como esperado com o aumento da quantidade de porcelanato no concreto a quantidade de água absorvida diminuiria, em virtude da baixa capacidade de

absorção de água deste material observado em outras pesquisas (CAMPOS, 2009; STEINER, 2014). Entretanto, o traço TSAG-25% apresentou quantidade de água absorvida maior que o concreto referência, aumento este de 6,67%, respectivamente, este aumento pode ser atribuído ao uma mal adensamento do material em comparação aos demais, contribuindo para a maior absorção de água.

Já o traço TSAG-50% apresenta queda, na quantidade de água absorvida, de 20% em relação a referência.

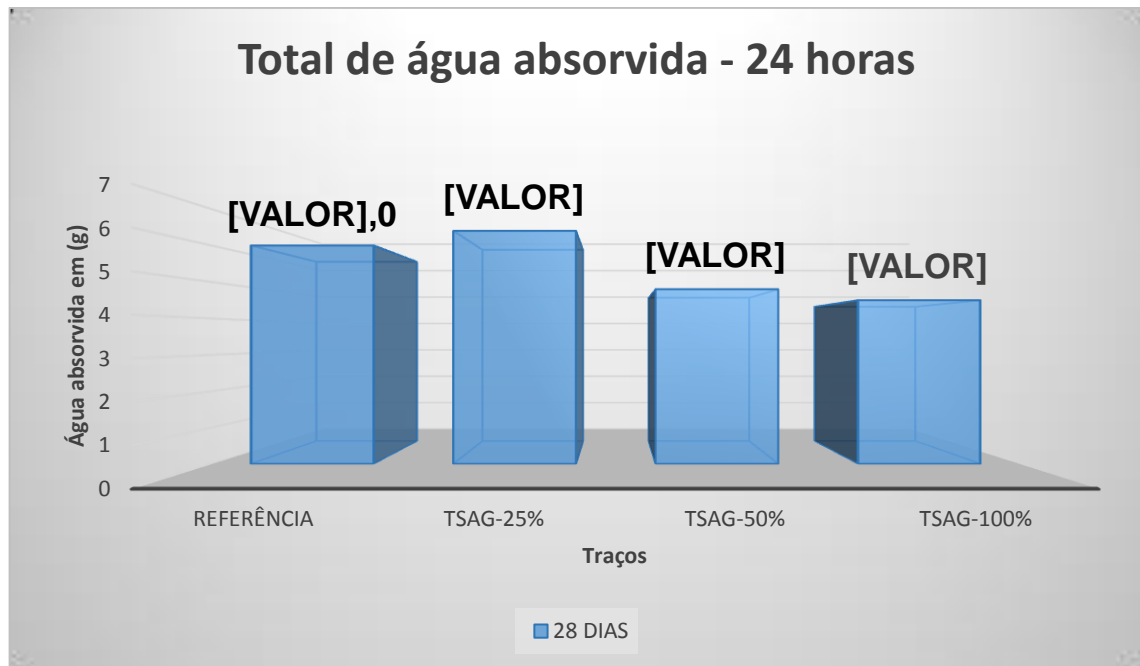
O traço TSAG-100% apresentou queda na quantidade de água absorvida de 25%. Resultados estes apresentado na tabela 18 e gráfico 5 que demonstra a quantidade de água absorvida.

Tabela 18 – Absorção de água

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA				
Traços	Massa Seca (g)	Massa Úmida (g)	Absorção (g)	Teor de Absorção
Referência	3874,5	3868,5	6,0	0,15%
TSAG 25%	3735,8	3729,4	6,4	0,17%
TSAG 50%	3734,9	3730,1	4,8	0,13%
TSAG 100%	3573,5	3578,0	4,5	0,12%

Fonte: Autor, (2016).

Gráfico 5 – Total de água absorvida



Fonte: Autor, (2016).

De acordo com Levi (2001, pg 137), informa que, quando se mede a absorção de água, na realidade procura-se estimar a quantidade de poros permeáveis presentes na estrutura. Já o índice de vazios está relacionado a todos os pores existentes.

A adição de porcelanato mostrou-se satisfatória para a absorção de água por imersão, assim como a relação a/c baixa e sílica ativa, que teve um papel fundamental como já citado no preenchimento dos vazios deixados pelos agregados e cimento.

4.5 Módulo de elasticidade

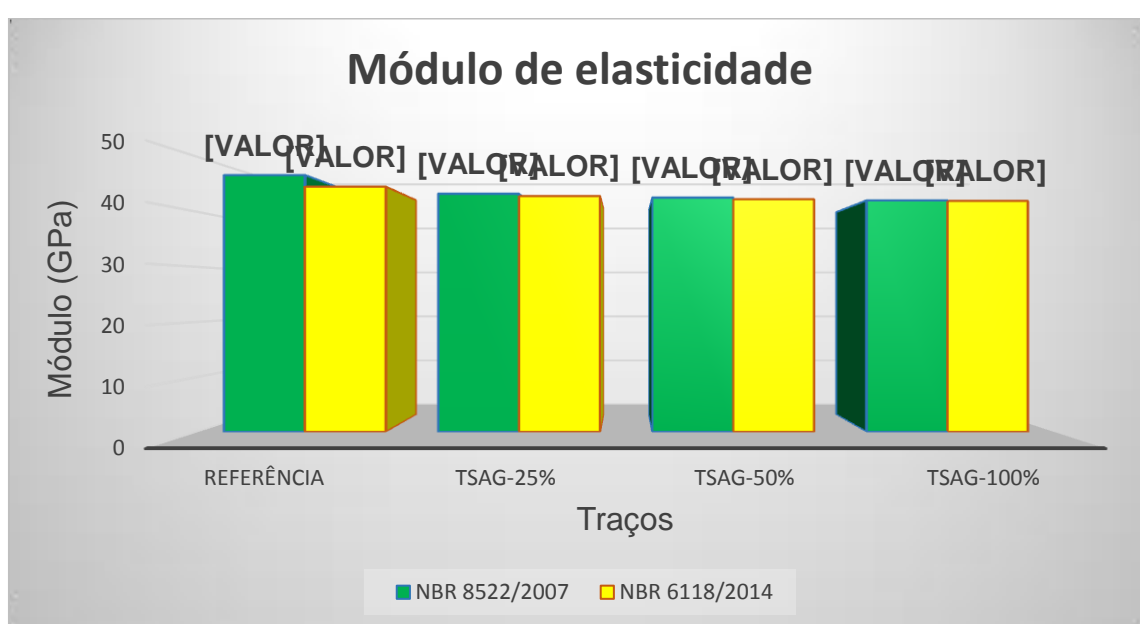
Na idade de 28 dias, o módulo de elasticidade dos traços com porcelanato foram inferiores ao traço referência. O traço TSAG-100% apresentou a maior queda, de 9,8%, no módulo de elasticidade em comparação a referência. No TSAG-50% estas quedas foi menor da ordem de 8,8%. Já no TSAG 25% apresentou uma queda de 7,2 % em relação ao traço referência.

Para os traços também foram comparados os valores calculados pela NBR 8522 /2007 com o proposto pela NBR 6118 /2014, conforme gráfico 6.

Em comparação com a NBR 6118/2014, o módulo de elasticidade teve uma leve queda quando comparado ao método experimental baseado na NBR 8522/2007.

O traço de referência teve um decréscimo de 4,5% em relação a equação apresentada na NBR 6118/2014, assim como o TSAG-25% ficou em 0,92% e logo após o TSAG-50% teve redução da ordem de 0,7%, já o TSAG 100% apresentou a menor queda de 0,2 % em relação a equação recomendada pela NBR 6118/2014.

Gráfico 6 – Módulo de elasticidade



Fonte: Autor, (2016).

Analisando os resultados obtidos, podemos ressaltar que o módulo de elasticidade dos concretos de alta resistência são superiores aos concretos convencionais. Os valores obtidos variam de 42,0 a 46,70 GPa, estando coerentes com os valores observados por alguns autores de até 55 GPa. (ALMEIDA, 1996; SILVA, 2000; c 2000), lembrando que os valores dependem do método utilizado.

Ressaltando que os valores do módulo de elasticidade correspondem a deformação de 30 % da carga de ruptura, seguindo os procedimentos recomendados na NBR 8522/2007.

Sabendo-se que o módulo de elasticidade do CAR é relativamente maior que os concretos convencionais, ou seja não crescem com a mesma proporção

que sua resistência à compressão. Além disso, nem sempre os concretos com maior resistência tem o maior módulos de elasticidade.

Isso ocorre devido a influência do tipo do agregado nos resultados do módulo de elasticidade dos concretos de alta resistência, observa-se que o concreto produzido com substituição de 100% de porcelanato teve uma queda de 9,8 % em relação a referência. Observando a influência dos agregados pode-se afirmar que os concretos produzidos com porcelanato necessitará de um cuidado máximo em relação ao seu módulo de elasticidade, pois quando utilizado na construção civil calcula-se sua real deformação em ensaios para que a queda analisada no módulo de elasticidade não influencie em flechas excessivas, deformações inesperadas se comparado a concretos produzidos com agregados convencionais onde se tem maior conhecimento sobre suas propriedades.

Por essa razão a um consenso na bibliografia onde (MEHTA & MONTEIRO, 2014; AİTCIN, 2000; BAALBACKI et al, 1991), as equações que correlacionam o módulo de elasticidade diretamente com a resistência à compressão, sem relacionar o agregado, não são adequados para CAR.

Tendo em vista este aspecto, foi adicionado a 6118/2014 a equação que correlaciona o tipo de agregado gráúdo oferecendo um coeficiente de ponderação, assim justificando os resultados tão próximo entre a NBR 8522/2007 e NBR 6118/2014. Equação está demonstrada a baixo.

$$21,5 * 10^3 \alpha_E \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{\frac{1}{3}}$$

Onde:

E_{ci} = Módulo de elasticidade do concreto no instante zero, em MPa;

α_E = Coeficiente de ponderação devido ao agregado;

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

Sendo que os valores de α_E são definidos por:

- Basalto e diabásico com $\alpha_E = 1,2$;
- Granito e gnaiss com $\alpha_E = 1,0$;
- Calcário com $\alpha_E = 0,9$;

- Arenito com $\alpha_E = 0,7$;

Complementando os resultados mostrados anteriormente, vários outros autores investigaram os efeitos de diferentes tipos de agregados graúdos nas propriedades do CAR. Em geral, foram apontados como parâmetros importantes dos agregados graúdos: a mineralogia, módulo de elasticidade, resistência, dimensão máxima, granulometria, forma, textura superficial, reatividade, vistos que afetam o desempenho do concreto (CHANG e SU, 1996)

As rupturas ocorridas nos corpos-de-prova resultantes do carregamento durante o ensaio de deformação são do mesmo tipo das observadas nos ensaios de resistência à compressão simples e classificadas conforme a NBR 5739/2007 em rupturas do tipo cisalhada, figura 17 ilustra o início dos ensaios.

Figura 17 – Ensaio experimental - módulo de elasticidade



Fonte: Autor, (2016).

5 CONCLUSÕES

Comparando os resultados dos ensaios mecânicos dos traços de concreto com porcelanato substituindo o agregado graúdo comum ao concreto referência, estes resultados foram inferiores aos obtidos pelo traço referência. Na resistência à compressão simples, ao final dos, 28 dias, os decréscimos foram próximos de 21,30%, para o traço com 100% de porcelanato graúdo.

Estes resultados são explicados devido ao formato que o porcelanato adquire ao ser moído e sua grande área vitrificada que mesmo sendo lixada ainda interfere na aderência da argamassa do concreto com estes agregados alternativos.

Quanto a resistência à tração por compressão diametral os resultados ficaram próximos a referência, decréscimos de 10,01%, para o TSAG 100%.

Em relação aos ensaios de módulo de elasticidade, todos concretos com porcelana apresentaram valores inferiores aos obtidos pelo traço referência, quedas inferiores a 5%, porém, não mais que 10%.

A questão das rupturas junto as faces do porcelanato é um fator preponderante ao seu emprego, aumentando ainda mais quando a argamassa ficou em contato com a parte protetora (vitrificada) destes material, a ruptura dos concretos foi brusca rompendo o porcelanato e a argamassa do concreto já que este tende a ser mais frágil que o agregado graúdo comum, este fato foi observado nos ensaios de adequação do material ao traço, assim optando pelo lixamento do mesmo.

Contudo, os valores de resistência à compressão simples obtidos aos 28 dias de idade pelos traços de concreto com porcelanato graúdo, foram superiores ao esperado. Mesmo com os resultados de resistência obtidos indicarem uma substituição de até 100% do agregado graúdo comum pelo porcelanato, uma faixa ótima de utilização seria de 20 a 40%, visto que em teores acima de 50%, a aderência da argamassa do concreto com o porcelanato poderá comprometer as propriedades do concreto.

Mesmo com sua moagem resultando em agregados lamelares, seu custo de moagem é mais econômico que a britagem do agregado graúdo comum, o que torna este agregado uma fonte de economia para a produção de concreto na construção civil.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados aqui obtidos e com os poucos existentes na bibliografia pode-se afirmar que o porcelanato pode substituir o agregado graúdo em concretos estruturais, como vigas, pilares, pilares pré-moldados, lajes e em concreto compactado com rolo, por exemplo.

Os estudos de concretos com porcelanato podem se estenderem a idades mais avançadas, para atestar a real aplicação deste concreto em obras civis e em artefatos de cimento, devendo haver também estudos em relação ao comportamento

destes frente aos ataques por sulfatos, reação álcali-agregado, reatividade, carbonatação e resistência ao fogo. Complementando estas pesquisas com ensaios de imagem da microestrutura pelos ensaios de microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X verificando o comportamento dos concretos com diferentes porcentagens de adições de porcelanato.

Existe também a hipótese de estudo do porcelanato proveniente de sua troca, reciclagem secundária, isto é, porcelanatos que por já serem utilizados por anos e deseja-se trocá-los por peças 'modernas', podendo fazer a comparação entre estes porcelanatos, estudando em especial a resistência e o comportamento ao longo do tempo de um porcelanato sem uso e outro que passou anos em serviço, podendo haver diminuição ou aumento de valores de resistência para os porcelanatos usados.

Em decorrência da face vitrificada do porcelanato ter menor aderência com a argamassa do concreto, pode-se estudar processos de moagem que excluam este parte vitrificada que também reduza a quantidade de agregados lamelares, pois o valor da moagem do porcelanato é menor que o valor de extração da britagem do agregado graúdo comum.

A verdade é que faltam trabalhos com este material, os poucos existentes não foram suficientes para afirmações concretas da real empregabilidade destes porcelanatos em concretos devido ao número de corpos-de-prova ensaiados, caracterização do porcelanato, comportamento deste ao contato com a pasta, idades e metodologias de ensaios, traços ensaiados e aplicação na construção civil destes concretos com rejeitos de porcelanato.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, F. X; HEMERLY, A. C. Concreto Armado: **novo milênio, cálculo prático e econômico. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 224**

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Committe 363. State-of-the-art report on highstrength concrete, ACI 363R-92 (Reapproved 1997). ACI Manual of Practice.** ACI, Detroit (USA), 2001. 18p.

ABC. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA.** Disponível em: www.abceram.org.br. Acesso em 15 de outubro de 2015.

ABESC. **Associação Brasileira das empresas de serviço de concretagem do Brasil.** São Paulo, 2007.

ABCERAM. **Associação Brasileira de Cerâmica.** São Paulo, 2007.

ABRELPE . **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil.** São Paulo, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5744:1977 Análise química de cimento Portland determinação de resíduo insolúvel.** Rio de Janeiro, 1977.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT **NBR 9778:1987 - Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índices vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7217:1987 NM 248 Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9935:1987 Agregados - Terminologia.** Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5743:1989 Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo.** Rio de Janeiro, 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5745:1989 Cimento portland - Determinação de anidrido sulfúrico.** Rio de Janeiro, 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11581:1991 Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT **NBR 5732:1991 - Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11583:1991 Cimento portland e matérias-primas - Determinação de anidrido carbônico (CO₂) por gasometria - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7223:1992 Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1992.

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NM 67:1998 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT **NBR 5738: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NM 46:2003 Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15116:2004 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em**

pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739:2007 Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8522:2008 Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11768:2011 Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT **NBR 7222:2011: Concreto e argamassa.** Rio de Janeiro, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15463:2013 Placas cerâmicas para revestimento — Porcelanato.** Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT **NBR 6118:2014. Projetos de estruturas de concreto— procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2000.

AÏTCIN, P.-C. **Concreto de Alto Desempenho**, tradução de **Geraldo G.** São Paulo – Editora Pini, 2000.

ALMEIDA, I. R. **Influência da resistência à abrasão do agregado na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho.** In: Congresso Brasileiro do Concreto – REIBRAC, 42, 2000, Fortaleza. Anais. São Paulo: IBRACON, 2000 (CD Rom)

ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado.** V. 1,2,3,4, Rio Grande/RS, 2a . ed., Ed. Dunas, 2010.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado.** Disciplina 1288 – Estruturas de concreto armado I. Bauru, 2006.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos.** Florianópolis, 1999. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BIANCHINI, M. **Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora do concreto.** Dissertação (Pós Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama no 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, 4 maio 2005^a.

BRUSCO, L. G. **Concreto de alta resistência: estudo comparativo da nova normal NBR 6118:2014 e a norma americana quanto as suas propriedades mecânicas e ao dimensionamento de vigas.** Trabalho de diplomação para obtenção do título de Engenheiro Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CHANG, T-P; SU, N-K. **Estimation of coarse aggregate strength in high-strength concrete.** ACI Materials Journal, Detroit, v.93, n,1, p. 3-9, Jan/Feb. 1996.

CIB. **Agenda 21 para a construção sustentável. Tradução de: Agenda 21 on sustainable construction.** CIB Report Publication 237. EDUSP-USP, São Paulo, 2000, 131p.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de sílica ativa.** São Paulo, 1995. Tese (Doutorado em engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados.** 1. ed. São Paulo: Editora Pini LTDA, 2008.

GARCEZ,E. **Limpeza: como fazer bem feito.** Rio de Janeiro, 2013.

GJORV, O. High- strength concrete. In: V.M MALHOTRA (ed.). **Advances in concrete technology**, second edition, Otawa, Canadá: CANMET, 1994^a, p 19-82.

HERVÉ, P. E. N. **A nova engenharia do concreto.** São Paulo 2012.

ISERHARD, J. R. F. **Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000, 181 p.

KAZMIERCZAK, C. de S. Produtos de cerâmica vermelha. In: ISAIA, G. C. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. 2 v. 1.712p. v. 1, cap. 18, p. 564-585.

LIBÓRIO, J. **Concreto de Alto Desempenho – Uma Tecnologia Simples para Produção de Estruturas Duráveis**, in: **II Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais**. Sobral-CE, setembro de 2004. 42p.

MÁLIA, M., BRITO, J., & BRAVO, M. (2011). **Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas**. Ambiente Construído, 11(3), 117-130. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n3/a09v11n3.pdf> Acesso em: 15/10/2015

MACHADO, E.F; LATTERZA, L. M; MENDES, C.L. **Influência do agregado reciclado de rejeitos de construção e demolição nas propriedades do concreto fresco e endurecido**. Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural, Punta Del Este, Uruguai. Editor, 2000, 13 p.

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

MEHTA, P.K; AİTCIN, P-C., **Principles Underlying Production for High Strenght Performance Concrete**. Cement, Concrete & Aggregates v. 12, n.2, p. 70-78. 1990b.

MEHTA, P.K; AİTCIN, P-C., **Microstructural Basis of Selection of Materials and Mix Proportions for High Strenght Concrete**. In: HSC INTERNATIONAL.

SYMPOSIUM ON UTILIZATION ON HIGH STRENGHT CONCRETE, 2, Berkeley, (CA). ACI SP-121. Berkeley, (CA): W.T.Hester, 1990a. p. 265-286.

MEHTA, P.K. **Advancements in Concrete Technology**. Concrete International, v. 21, n.6, jun.1999. p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Departamento de Engenharia Civil e Ambiental Universidade da Califórnia em Berkeley**. Estados Unidos, 2014.

MICROCEL. **Classificação dos minerais**. Disponível: www.microcel.com.br, data da visita: 15/10/2015.69-76.

NAWY, E.G. **Fundamentals of High Strenght High Performance Concrete**. London: Longman Group Limited, 1996. 340p.

NETO, B.B.P; OLIVEIRA, D. R. C; RAMOS, D. **Efeitos do tipo, tamanho e teor de agregado graúdo no módulo de deformação do concreto de alta resistência**. Laboratório de Engenharia Civil – UFPA, 2011.

NETO, G. T. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. Dissertação (Pós- Graduação em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**, São Paulo – Editora Pini- 1997. 828p.

PEREIRA, S. W. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida**. 2004. f.122. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

RUBINATI. **Hiperplastificantes e Superplastificantes**. Construchemical, Vol 31, Nº 16, p 12, set/out, 2014.

STEINER, L.R. **Efeito do rejeito do polimento do porcelanato na fabricação dos blocos de concreto de cimento *Portland***. Criciúma, 2011. 6p.

SANTOS, F.R. **Logística reversa de resíduos da construção civil: uma análise de viabilidade econômica.** Americana, 2014. 107p.

VAN VLACK, L. H. **Propriedades dos materiais cerâmicos; tradução Cid Silveira e Shiroyuki Oniki.** São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1973. 318p.

WIILE, Mariana Muller. **Logística reversa: conceitos, legislação e sistema de custeio aplicável.** Curitiba: ESIC, 2013.