

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA
APLICAÇÃO EM CALÇAMENTO**

**LETICIA SEGHETTO RIBEIRO DA ROCHA
LUCAS OLIVEIRA MAIA**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**LETICIA SEGHETTO RIBEIRO DA ROCHA
LUCAS OLIVEIRA MAIA**

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA
APLICAÇÃO EM CALÇAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Esp. Camila Alves da Silva.

Caratinga/MG

2016

RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA APLICAÇÃO EM CALÇAMENTO

Nome completo do aluno: LETÍCIA SEGHETTO RIBEIRO DA ROCHA
LUCAS OLIVEIRA MAIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Camila Alves Da Silva, João Moreira De Oliveira Júnior e José Nelson Vieira Da Rocha, às 19:00 horas do dia 13 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: aprovado (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: ótimo (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: ()SIM (X)NÃO

Caratinga,

13 de dezembro de 2016

Camila Alves da Silva
Professor Orientador e Presidente da Banca

[Assinatura]
Professor Avaliador 1

José Nelson Vieira da Rocha
Professor Avaliador 2

Letícia Seghetto R. da Rocha
Aluno(a)

Lucas Oliveira Maia

[Assinatura]
Coordenador(a) do Curso

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por iluminar o meu caminho durante esta jornada e aos familiares que sempre me deram forças e incentivos para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me dar forças pra vencer, aos meus pais, irmãos e parentes por estarem ao meu lado sempre me ajudando. Aqueles que me apoiaram de alguma forma para que eu conseguisse chegar até aqui. A meu namorado por compreender todos os meus momentos de falta de tempo, paciência, tristeza e mesmo assim continuar do meu lado. Aos professores que contribuíram para o meu conhecimento e aprendizado, em especial a nossa orientadora Camila. Ao Leandro e Lucas responsáveis pelo laboratório de materiais da faculdade. Aos amigos que me incentivavam a não desistir, inclusive aqueles que conheci durante esse percurso, que me ajudou quando eu precisei e que vou levar comigo carinhosamente ao longo da vida, em especial à Eliséia por todo auxílio. A todos que contribuíram para que eu chegasse até aqui, há todos meu muito obrigado sozinha (o) não teria conseguido.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”

(CHARLES CHAPLIN)

ROCHA, Leticia Seghetto Ribeiro da. MAIA, Lucas Oliveira. **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA APLICAÇÃO EM CALÇAMENTO**. Caratinga, 2016. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho consiste na análise e verificação das propriedades do concreto reciclado produzido a partir de agregados de resíduos da construção civil para aplicação em calçadas. Utilizou-se como material de estudo os blocos de cerâmica vermelha disponíveis nas obras da região de Caratinga/MG. Junto com a revisão bibliográfica, ocorreu a parte experimental do trabalho, que consiste no transporte dos materiais ao laboratório, para posteriormente serem quebrados e triturados dando prosseguimento a realização dos ensaios de granulometria e teor de absorção de umidade. Após os ensaios dos materiais, definiu-se o traço do concreto a ser utilizado, realizando a produção do concreto, o abatimento do tronco de cone, a moldagem e cura dos corpos de prova e o ensaio de resistência a compressão axial. Foram obtidos os seguintes resultados no ensaio de resistência a compressão axial: para a dosagem I resistência de 12,7 MPa e 13,7 MPa, para a dosagem II resistência de 6,7 Mpa e 6,5 Mpa, e para dosagem III resistência de 8,1 MPa e 8,2 Mpa. Com todos os resultados em mãos, observou-se que as resistências obtidas nos concretos com agregados reciclados da construção apresentaram-se menores do que o estipulado pela norma ABNT NBR 8953:2015 para aplicação em calçadas, que consiste em 10 MPa. Sendo assim, para aplicação do bloco cerâmico de Caratinga/MG em calçadas, são necessários mais estudos para desenvolver um traço que atinja ao mínimo de resistência estipulado pela norma ABNT NBR 8953:2015.

Palavras-chave: agregado reciclado, calçada, concreto reciclado, reciclagem, resíduos da construção.

ROCHA, Leticia Seghetto Ribeiro da. MAIA, Lucas Oliveira. **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA APLICAÇÃO EM CALÇAMENTO**. Caratinga, 2016. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

The objective of the present work is the analysis and verification of the properties of the recycled concrete produced from aggregates of waste from the civil construction for application on sidewalks. The red ceramic blocks available in the Caratinga / MG region were used as study material. Along with the literature review, the experimental part of the work, which consists of the transport of the materials to the laboratory, was later broken and shredded, and the granulometry and humidity absorption tests were carried out. After the tests of the materials, the trace of the concrete to be used was defined, realizing the concrete production, the reduction of the cone trunk, the molding and curing of the test specimens and the test of resistance to axial compression. The following results were obtained in the axial compressive strength test: for the I strength of 12.7 MPa and 13.7 MPa, for the dosage II resistance of 6.7 Mpa and 6.5 Mpa, and for the strength III dosage Of 8.1 MPa and 8.2 MPa. With all the results in hand, it was observed that the strengths obtained in the concrete with recycled aggregates of the construction presented smaller than that stipulated by the norm ABNT NBR 8953: 2015 for application in sidewalks, that consists of 10MPa. Therefore, for the application of the Caratinga / MG ceramic block on sidewalks, further studies are needed to develop a trace that reaches the minimum resistance stipulated by ABNT NBR 8953: 2015.

Key-words: recycled aggregate, sidewalk, recycled concrete, recycling, construction waste

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Requisitos Gerais para Agregado Reciclado Destinado a Pavimentação.	23
Figura 2	– Calçada Padrão	25
Figura 3	– Amostras M 1 e M 2 de brita.	29
Figura 4	– Amostras M 1 e M 2 de agregado cerâmico.	29
Figura 5	– Amostras M 1 e M 2 de areia natural.	30
Figura 6	– Conjunto de peneiras e agitador mecânico.	30
Figura 7	– Resultados do ensaio para determinação granulométrica da brita.	31
Figura 8	– Resultados do ensaio para determinação granulométrica do agregado cerâmico.	31
Figura 9	– Resultados do ensaio para determinação granulométrica da areia natural.	32
Figura 10	– Processo de umidificação da areia natural.	33
Figura 11	– Processo de secagem da areia natural.	33
Figura 12	– Aferição das massas: (a) recipiente,(b) areia saturada com superfície seca e (c) areia seca.	34
Figura 13	– Submersão dos agregados graúdos: reciclado cerâmico e brita, respectivamente.	35
Figura 14	– Aferição das massas: (a) recipiente, (b) agregado reciclado cerâmico saturado com superfície seca e (c) agregado reciclado seco.	36
Figura 15	– Aferição das massas: (a) recipiente,(b) brita saturada com superfície seca e (c) brita seca.	36
Figura 16	– Composições de agregados graúdo nas dosagens dos concretos	37
Figura 17	– Traço do concreto consumo de materiais por m ²	37
Figura 18	– Ensaio de abatimento de tronco de cone (dimensões em mm)	39
Figura 19	– Molde – Ensaio de abatimento de tronco de cone (dimensões em mm)	39
Figura 20	– Complemento tronco-cônico metálico de enchimento, adaptável à base supe- rior do molde (Dimensões em mm)	40
Figura 21	– Preenchimento do molde em três camadas, segurando firmemente a aleta da placa.	40
Figura 22	– Medida do abatimento (dimensões em milímetros)	41
Figura 23	– Medida do abatimento do concreto da segunda dosagem	42
Figura 24	– Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova	43
Figura 25	– Moldes preenchidos de concreto	44
Figura 26	– Corpos de prova para cura por imersão no período de 7 dias	44
Figura 27	– Corpos de prova após a retirada do tanque	45
Figura 28	– Rompimento dos corpos-de-prova	46
Figura 29	– Resistência a compressão dos corpos-de-prova	46
Figura 30	– Aferição das massas secas: (a) Corpo de prova I,(b) Corpo de prova II e (c) Corpo de prova III.	47

Figura 31 – Aferição das massas saturadas: (a) Corpo de prova I,(b) Corpo de prova II e
(c) Corpo de prova III. 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Divisão das amostras para ensaio de determinação granulométrica.	29
Tabela 2	– Módulo de finura (MF) e dimensão máxima característica (D _{máx}).	32
Tabela 3	– Aferição das massas da areia (agregado miúdo)	35
Tabela 4	– Aferição das massas do agregado reciclado e agregado graúdo	35
Tabela 5	– Abatimento para cada dosagem	42
Tabela 6	– Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura	45
Tabela 7	– Massas secas dos corpos de prova	47
Tabela 8	– Massas saturadas dos corpos de prova	48
Tabela 9	– Teor de absorção de água	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
FCK	Resistência Característica à Compressão do Concreto.
NBR	Norma Brasileira Regulamentada.
TF	Tonelada Força.
RCD	Resíduos da Construção e Demolição.

LISTA DE SÍMBOLOS

Kg	Kilograma.
mm	Milímetros.
a/c	Relação Água/Cimento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 CONCRETO RECICLADO	17
2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	17
2.2 AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	18
2.3 USO DO CONCRETO RECICLADO	23
2.3.1 USOS CONVENCIONAIS	23
2.3.2 USO PARA CALÇADAS	24
2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	26
3 ESTUDO EXPERIMENTAL	27
3.1 PARÂMETROS INICIAIS	27
3.2 ENSAIOS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES	28
3.2.1 Ensaio de Granulometria	28
3.2.1.1 Ensaio de Absorção de Umidade dos Agregados	32
3.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO RECICLADO	36
3.3.1 Determinação dos traços	36
3.3.2 Procedimento de produção do concreto	38
3.3.3 Ensaio do Abatimento do Tronco de Cone	38
3.3.4 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova	42
3.4 ENSAIOS DO CONCRETO RECICLADO ENDURECIDO	45
3.4.1 Ensaio de Resistência à Compressão	45
3.4.2 Ensaio de Absorção de Umidade	46
3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5 CONCLUSÃO	51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que, embora venha apresentando maior racionalização de seus processos construtivos, ainda gera um volume grande de resíduos além de consumir materiais naturais. Mesmo uma pequena obra, durante sua execução gera, por exemplo, restos de blocos cerâmicos. Serviços de reforma e demolição são também contribuintes do volume de material descartado.

Sabe-se que cada município deve definir e adotar uma política para gestão e manejo dos resíduos da construção civil. E espera-se dos construtores a implantação de projetos de gerenciamento de resíduos para cada empreendimento.

Contudo, um plano de gerenciamento de resíduos de construção e demolição sem definição de um beneficiamento para posterior reutilização do material não resolve totalmente a problemática. Como destaca Ângulo et al (2003), atualmente já se tem a ciência que os resíduos de construção e demolição estão entre os responsáveis pelo esgotamento de áreas dos aterros de resíduos sólidos urbanos.

A engenharia tem trabalhado no desenvolvimento de materiais à base desses resíduos, e é neste contexto que o presente trabalho se insere. O material em estudo será o concreto reciclado e a proposta de aplicação deste material é na concretagem de calçadas.

Este trabalho objetiva-se a apresentar um estudo sobre a produção de concreto reciclado a partir do uso de agregados reciclados de resíduos de construção do município de Caratinga/MG, analisando características deste material que sejam necessárias à aplicação na concretagem de calçadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e verificar as características do concreto reciclado produzido a partir de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil para uso em concretagem de calçadas.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar quais as características e propriedades desejáveis ao concreto reciclado que se destina à concretagem de calçadas.
- Produzir experimentalmente o concreto reciclado com agregados derivados de resíduos de construção.

- Verificar, mediante ensaios, as características e propriedades do concreto reciclado.
- Avaliar o desempenho do material quanto à resistência a compressão.

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica por apresentar um estudo sobre a produção de concreto reciclado a partir do uso de agregados reciclados de resíduos de construção do município de Caratinga/MG, visando à aplicação deste material na concretagem de calçadas.

Ao trabalhar-se com um material sem referências anteriores de utilização no município de Caratinga, como é o concreto reciclado, inova-se, divulga-se e expande-se o conhecimento técnico dos profissionais. E ao focar na concretagem de calçadas também se indica uma das formas de se utilizar este material.

A utilização de resíduos de construção como agregados reciclados torna mais sustentável a construção civil e proporciona alívio ao sistema de gestão e manejo de resíduos sólidos do município de Caratinga/MG.

O concreto reciclado para concretagem de calçadas pode ainda ser uma solução interessante em termos econômicos, pois os agregados são substituídos parcialmente pelos agregados reciclados de resíduos da própria construção.

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa bibliográfica realizada utiliza como instrumento o estudo de trabalhos voltado para o uso de resíduos de construção e demolição no Brasil. Buscando-se uma destinação final a esses resíduos, de maneira a diminuir os problemas causados pela disposição inadequada destes materiais. Foca-se então no concreto reciclado.

Foram analisadas teses, dissertações, e artigos relacionados à reciclagem de resíduos da construção civil aplicado a produção de concreto para aumentar o conhecimento dos autores para a execução deste trabalho, no sentido de familiarizar-se com os procedimentos de coleta seletiva do material a ser utilizado.

Sendo um dos objetivos a destinação do concreto reciclado em calçadas, a pesquisa bibliográfica também se direcionou para este uso em específico do concreto, para conhecer os requisitos a serem alcançados e assim estabelecer quais ensaios deveriam ser realizados.

Em paralelo aos estudos, ocorreu a produção do concreto reciclado em laboratório e sua posterior avaliação mediante inspeção visual, ensaio de abatimento de tronco de cone, ensaio de resistência à compressão axial, entre outros. Anterior a produção do concreto, procedeu-se o estudo de dosagem.

Os procedimentos realizados na experimentação são apresentados detalhadamente no capítulo 3 do presente estudo. A seguir destaca-se abreviadamente o que foi realizado para produção do concreto reciclado.

Realizada a coleta e transporte do material até o laboratório de materiais da Faculdade DOCTUM/Caratinga-MG, procedeu-se a quebra (trituração) dos materiais até obter uma granulometria adequada para o uso, avaliada com o peneiramento do mesmo.

Seguindo o traço definido no estudo de dosagem, já com a substituição parcial dos agregados comuns pelos agregados reciclados, procedeu-se a produção do concreto na betoneira estacionária.

Após inspeção visual e verificado o abatimento do tronco de cone, e os resultados estando conforme o pré-determinado moldou-se os corpos de prova que, após 24 horas, foram desmoldados e postos no tanque para cura por imersão. O traço final do concreto, ou seja, após as correções realizadas, foi estabelecido.

Os corpos de prova, após o período de 7 dias de cura foram ensaiados e, de posse de todos os resultados obtidos, juntamente com a revisão bibliográfica, procedeu-se a análise e discussão voltada para a validação do uso deste concreto reciclado na concretagem de calçadas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1. Este capítulo é destinado às considerações iniciais, uma breve contextualização sobre o tema, bem como a apresentação da justificativa, objetivos, metodologia e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2. Neste capítulo discorre-se sobre o concreto reciclado e os agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, destacando-se requisitos técnicos, aplicações, incluindo calçadas.

Capítulo 3. Apresenta-se toda metodologia empregada na produção do concreto com agregados reciclados e os ensaios realizados, tanto de caracterização dos materiais constituintes do concreto quanto os realizados no concreto produzido.

Capítulo 4. Este capítulo traz a análise e discussão sobre o concreto com agregados reciclados de resíduos de construção baseada nos resultados obtidos nos ensaios e na coleta de dados realizada mediante revisão bibliográfica.

Capítulo 5. Este capítulo é destinado às conclusões e considerações finais.

2 CONCRETO RECICLADO

2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

É possível definir concreto de agregado reciclado como concreto produzido com agregado reciclado, sendo estes agregados substituídos total ou parcialmente. Para efeito da ABNT NBR 15.116 (2004), aplica-se a seguinte definição para resíduos da construção civil:

Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.(ABNT NBR 15.116/04)

A norma também apresenta o seguinte conceito para agregado reciclado: Material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura.

O concreto reciclado também é conhecido como concreto novo. Conceito apresentado por Hansen (1992) baseado na Proposta da Norma Japonesa – “Agregado reciclado e concreto de agregado reciclado” elaborada pelo Building Contractors Society of Japan (BCSJ) no ano de 1977. É de suma importância a citação de alguns conceitos desta norma, listados abaixo:

Concreto original: concreto proveniente de estruturas de concreto armado, protendidas ou simples, que podem servir de matéria prima para produção dos agregados reciclados. Pode ser chamado também de concreto velho, demolido ou convencional;

Concreto convencional: concreto produzido com agregados graúdo e miúdo naturais;

Resíduo de concreto: entulho de concreto de estruturas demolidas, ou até mesmo, sobras de concretos pré-misturados endurecidos, rejeitados por centrais de concreto ou aqueles produzidos na própria obra;

Agregado original: agregados utilizados para a produção de concreto original ou convencional. Podem ser naturais ou manufaturados;

Argamassa original: mistura de cimento, água e agregado miúdo endurecido do concreto original. Parcela da argamassa pode estar aderida a fragmentos das partículas de agregado natural nos agregados reciclados.

Estes conceitos, segundo a concepção de Levy (1997) foram considerados como a mais aperfeiçoada terminologia mundial sobre o assunto e foi completada por Lima (1999) com os demais conceitos citados a seguir:

Argamassa convencional: argamassa produzida com areia natural como agregado;

Argamassa de agregado reciclado: argamassa produzida com agregado miúdo reciclado, ou combinações de agregados reciclados e outros agregados;

Resíduo de alvenaria: resíduos sólidos não contaminados, provenientes da construção, reforma, reparos ou demolição de alvenaria e estruturas, como por exemplo, blocos, concreto e outros materiais de alvenaria, rocha, argamassa, telhas e outros componentes cerâmicos ou de concreto.

Antes da utilização de qualquer material reciclado como agregado para concreto é crucial a prática de combinações experimentais, de maneira semelhante as combinações realizadas para os concretos convencionais. É importante o estabelecimento de alguns fatores inicialmente, como por exemplo, a quantidade necessária de água que está relacionada à trabalhabilidade do material desenvolvido, uma vez que, caso haja excesso, colocaria em risco o uso do aglomerante para chegar à resistência esperada e ao custo menos oneroso possível.

Conforme abordado por Barra (1996) é de grande importância a utilização de um sistema de dosagem para a produção de concreto com agregados reciclados que possibilite destacar a atuação de cada agregado sobre as características do concreto reciclado, pois o novo material demonstra uma diversidade de propriedades se compararmos as usualmente empregadas no concreto. Esta visão é completada por Banthia e Chan (2000), que afirmam que para obtenção de certas propriedades esperadas no concreto pode-se realizar algumas adaptações em seu processo de dosagem.

Conforme Devenny e Khalaf (1999) é necessário molhar o agregado reciclado antes de iniciar ao processo de dosagem, pois assim seria compensado a elevada taxa de absorção de água do material. Os autores também relatam que a dosagem do concreto com agregado reciclado de tijolos cerâmicos pode ser realizada de forma semelhante à do concreto convencional.

2.2 AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Segundo a resolução 307/Conama resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

As causas desses RCD são diversas, uma vez que estes são responsáveis pela destruição de áreas de aterro em cidades de médio a grande porte, sendo eles os geradores de mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos. Segundo Leite et al (2001), destacam-se algumas causas nos tópicos abaixo:

- A falta de mão-de-obra qualificada o que implica em perdas de materiais;
- Projetos mal executados, reduzem a vida útil da construção e gera a necessidade de manutenção corretiva;
- O aumento desordenado da urbanização faz com que as construções se modifiquem e se transformem, gerando assim uma maior quantidade de resíduos;
- O crescente aumento do poder aquisitivo das pessoas, o que ocasionam em busca por um conforto maior, estimulando assim novas construções e reformas.

De uma forma geral os níveis de resíduos são influenciados de acordo com cada região e de acordo com a qualidade do material utilizado, pois é levado em consideração os componentes e a qualidades dos materiais, a existência de procedimentos com controle de qualidade do processo construtivo, e a qualificação da mão-de-obra. Levando em consideração que grande parte dos resíduos é proveniente das atividades realizadas no canteiro de obra e dos serviços de demolição (PINTO, 1999).

Em vários lugares no mundo a produção dos RCD tem causado grande preocupação, devido ao significativo volume produzido. Poon (1997) cita como exemplo Hong Kong na China, que segundo dados do ano de 1991 possuem uma produção diária de 22.000 toneladas, sendo 16.000 localizadas em aterros, vias públicas e canais de deposição marinha.

No Brasil, estima-se que é gerado algo em torno de 30 milhões de toneladas de RCD anualmente (ÂNGULO, 2001). A exemplo disso temos o município de São Paulo, que possui uma produção diária estimada em 16.000 toneladas no ano de 2003, sendo previsto que a terça parte da mesma foi lançada em aterros públicos, logo, 70% do produzido na cidade foi descartado de forma irregular (SCHNEIDER, 2003).

Os resíduos são classificados segundo o risco ambiental, de forma a receber o correto manuseio e destino. De acordo com a ABNT NBR10.004 (2004) a classificação dos resíduos sólidos está relacionada com a atividade que lhes deu origem e com seus constituintes. Sendo assim, são classificados em:

- A) Resíduos classe I – Perigosos;
- B) Resíduos classe II – Não perigosos;
 - Resíduos classe I IA – Não inertes;
 - Resíduos classe II B – Inertes;

Geralmente o lixo da construção civil se enquadra na categoria II B, que segundo a norma são compostas pelos resíduos que “submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente [...], não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade de água, executando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor”.

É proposta pela resolução do Conama/307 a seguinte classificação dos resíduos:

- Classe A São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e outros), argamassa e concreto; resíduos de processo de preparo e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios e outros) produzidos nos canteiros de obras.

- Classe B São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

- Classe C São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou sua recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

- Classe D São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção (tintas, solventes, óleos e outros) ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos (clínicas radiológicas, instalações industriais e outros) enquadrados como classe I da ABNT NBR 10004.

Porém existem outros meios de classificação, que usam como base o teor de impurezas contido nos resíduos que chegam às usinas do país ou o tipo de componente predominante nos resíduos (LIMA, 1999).

Foi sugerido por Lima (1999) uma classificação para o RCD, dando ênfase há alguns fatores, tais como os diferentes tipos de resíduos disponíveis para a reutilização; as especificações para os agregados reciclados segundo seu uso atual e potencial; os sistemas de classificação já utilizados no país e no exterior; os requisitos de operação das centrais de reciclagem; experiências internacionais onde a reciclagem já é adotada a vários anos e a grande demanda de consumo de resíduos. Onde foi desenvolvida uma proposta com seis classes, citadas a seguir:

- Classe 1: Resíduo de concreto sem impurezas – material composto de concreto estrutural, simples ou armado, com teores limitados de alvenaria, argamassa e impurezas;

- Classe 2: Resíduo de alvenaria sem impurezas – material composto de argamassas, alvenaria e concreto, com presença de outros inertes como areias, pedras britadas, entre outros, com teores limitados de impurezas;

- Classe 3: Resíduo de alvenaria sem matérias cerâmicas e sem impurezas – material composto de argamassa, concreto e alvenaria com baixo teor de materiais cerâmicos, podendo conter outros materiais inertes como areia e pedra britada, entre outros, com teores limitados de impurezas;

- Classe 4: Resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação – material composto

basicamente pelos mesmos materiais do resíduo classe 2, porém admite a presença de determinada porcentagem em volume de terra ou terra misturada a vegetação. Admite maior teor de impurezas;

- Classe 5: Resíduo composto por terra e vegetação – material composto basicamente por terra e vegetação, com teores acima do admitido no resíduo de classe 4. Admite presença de argamassa, alvenarias e concretos, e outros materiais inertes, além de maior teor de impurezas que os anteriores;

- Classe 6: Resíduo com predominância de material asfáltico – material composto basicamente de material asfáltico, limitando-se a presença de outras impurezas como argamassas, alvenarias, terra, vegetação, gesso, vidros e outros.

Com base na proposta apresentada pelo autor, observa-se que a metade da classificação aceita uma maior quantidade de impurezas. Isso se deve ao fato da reciclagem dos RCD dentro da indústria da construção ser pouca utilizada. Espera-se que de acordo com o crescimento da reciclagem dentro deste setor, possa ter uma classificação mais restrita. Possibilitando assim obter materiais de boa qualidade e mais homogêneos, assegurando o acréscimo dos diversos fins para o material reciclado.

Atualmente, se tem a ciência que os RCD equivalem a mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos e é um dos geradores da exaustão de áreas de aterros para os mesmos (Ângulo et al, 2003). Sendo assim, segundo Moreira (2010), estes resíduos têm em sua composição materiais indesejáveis, como por exemplo, o cimento amianto, alguns resíduos químicos e gesso de construção, que podem gerar sérios impactos ambientais e danos a sociedade caso sejam despejados em locais inadequados.

O descarte de forma incorreta dos RCD pode resultar no despejo irregular de diferentes resíduos não-inertes, ocasionando a manifestação e a proliferação de vetores de doenças, comprometendo a saúde da vizinhança local. Também prejudicam o cenário local; o tráfego de pedestres e automóveis; provocam o assoreamento de rios, córregos e lagos; o entupimento da drenagem urbana, provocando enchentes.

É colocado em evidência pelo Art 4 da Resolução 307 do Conama que os RCD não devem ser despejados em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por leis. Então, para os RCD classe A o despejo final viável é tão-somente em aterro de inertes, sendo que, se possível, estes resíduos precisam ser reciclados.

Para tentarmos dimensionar o problema proveniente das atividades da construção ao meio ambiente é importante o levantamento de alguns dados. Este setor é o culpado por um consumo de 20 a 50% dos recursos naturais extraídos (ALAVEDRA et al., 1997, SJOSTROM, 1997).

Segundo Neto (2003, p.37) de forma a ter uma estimativa da quantidade de RCD gerado

por um Município deve-se analisar os seguintes indicadores:

- 1- A quantidade de resíduo oriundo de edificações novas construídas na cidade, em um determinado tempo;
- 2- A quantidade de resíduos provenientes de reformas, ampliações e demolições regularmente removidos em um determinado tempo;
- 3- A quantidade de resíduos removidos de deposições irregulares pela municipalidade durante um determinado período.

Estas são as etapas que envolvem o processo construtivo, tais como: a extração da matéria, a fabricação de materiais e a construção e demolição originam RCD causadores de impactos ambientais, afetando direta ou indiretamente, os aspectos abaixo:

- A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- As atividades sociais e econômicas;
- A biota;
- As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- A qualidade dos recursos ambientais. (PIOVEZAN JÚNIOR, 2007)

No entanto a redução da geração de RCD de forma a impactar menos o meio ambiente se faz necessária, uma vez que o setor construtivo tem trabalhado para isso, contudo enfrenta algumas dificuldades como afirma Careli (2008). A deposição desses resíduos de forma inadequada e sem técnicas adequadas dificulta o controle desses impactos, e traz conseqüências significativas. Esta deposição dos resíduos da construção e demolição torna-se um ato por parte dos geradores de resíduos da construção pratica que espera que o poder público cuide da destinação aos resíduos de forma adequada. A destinação destes resíduos de forma imprópria, assim como a disposição em locais indevidos é preocupante. A afirmação se deve, pois quando se realiza a destinação dos RCD, normalmente ela é feita em locais distantes onde a população não tem contato com os mesmos e, conseqüentemente, não faz nenhuma cobrança pra que alguma medida seja tomada por parte do Setor Público ou Privado. Normalmente, os RCD, quando são destinados sem planejar, são dispostos em lugares ambientalmente frágeis.

Desta forma deve-se preocupar com os impactos gerados pelo setor da construção, com o uso de agregados naturais, uma vez que inclui a exploração impulsiva de recursos naturais não-renováveis, a produção de cimento, a emissão de gases na atmosfera e ainda a poluição do ar ao conduzir estes materiais através de veículos até os pontos de distribuição nos grandes centros.

Além disso, o fato destes amontoamentos de RCD atrai um leque de outros resíduos (como sacos de lixo, pedaço de madeira, poda de árvore, etc) e vetores que possivelmente impactam a saúde pública e o meio ambiente. Por esses e outros fatores que se devem dar a devida atenção a esses resíduos.

Em conformidade com a ABNT NBR 15.116/2004 são requisitos para o uso de resíduos como agregados contido no item 5.1 da norma que expressa que o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Os requisitos podem ser visualizados na tabela a seguir (ABNT NBR15116: 2004, item 6.1):

Propriedades		Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
		Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica		Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensão máxima característica		≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Índice de forma		≤ 3	-	ABNT NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm		Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais não minerais de mesmas características ¹⁾	2		Anexo A	Anexo B
	Materiais não minerais de características distintas ¹⁾	3		Anexo A	Anexo B
	Sulfatos	2		ABNT NBR 9917	

¹⁾ Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Figura 1: Requisitos Gerais para Agregado Reciclado Destinado a Pavimentação.
Fonte: ABNT NBR 15116:2004 (item 6.1).

2.3 USO DO CONCRETO RECICLADO

2.3.1 USOS CONVENCIONAIS

Por meio de estudos e pesquisas, é possível a comprovação da eficiência da utilização de resíduos da construção em base e sub-base de pavimentos, produção de concretos sem fins estruturais, produção de blocos de concreto, utilização em projetos de drenagem, etc. Contudo, há concordância de vários autores, sobre o pensamento de que uma das melhores alternativas para o progresso do mercado de resíduos é sua utilização no concreto (BANTHIA e CHAN, 2000; DHIR et. Al. 1999; COLLINS, 1998b; HENDRIKS E PIETERSEN, 1998).

O concreto de agregado reciclado vem provando ser um material viável e com características satisfatórias, isso devido ao bom desempenho em diversas obras urbanas. Levando em consideração os baixos custos, é possível prever sua utilização para base de pavimentos, estruturas residenciais com $f_{ck} = 18$ a 24 Mpa, produção de artefatos pré-moldados em concreto, entre outras obras.

Há ainda, a possibilidade de produção de um Concreto de Alto Desempenho (CAD) a partir de agregados reciclados da construção e demolição, Limbachiya (2000) ao estudar tal probabilidade chega à conclusão que os agregados reciclados de concreto possuem massa unitária

menor que 7 a 9% e um valor de absorção de águas duas vezes maior aos agregados naturais. Os resultados ainda apontam que até o teor de 30% do material reciclado não houve diferença na resistência à compressão e na absorção de água e para teores maiores, é necessário um ajuste na relação água/cimento para as devidas correções.

A adição de resíduos ao concreto é vantajosa, pois ele é produzido em grandes quantidades (cerca de 6 bilhões de toneladas/ano, segundo Dumet e Pinheiro (2000), possui fácil aplicação, é flexível (se adaptando a diversas situações), é durável e relativamente resistente à agentes químicos e físicos. Observando do ponto de vista ecológico, o concreto é reciclável e é atualmente um dos materiais que necessita de pouco consumo energético para sua produção, afirma Pentalla (1997). Visão completada por Banthia e Chan (2000) que asseguram ser uma das formas mais viáveis de gerenciamento de resíduos de construção e demolição as adições ao concreto.

2.3.2 USO PARA CALÇADAS

As calçadas estão presentes em todas as cidades, e fazem parte das mesmas de forma mais democrática pela estruturação de caminhos. Por meio delas é que chegamos em nosso trabalho, a nossa casa, ao comércio e aos locais de lazer. As calçadas fazem parte do nosso dia a dia, assim como do sistema viário das grandes e pequenas cidades, se adequando ao contexto em que estão inseridas. No entanto podemos dizer que calçadas é um local destinado ao trânsito de pessoas a pé, e quando possível a sinalização, vegetação e mobiliário urbano, sendo vedada o trânsito de veículos. As calçadas devem oferecer o mínimo de acessibilidade, fluidez, largura adequada, continuidade, oferecendo um piso antiderrapante e liso quase horizontal, segurança e espaço de socialização.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, podemos definir calçada como:

“CALÇADA - parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins.”

As calçadas têm uma grande importância para toda sociedade, elas não possuem um responsável específico por sua construção, geralmente tal responsabilidade é atribuída ao proprietário do imóvel ou a prefeitura. Sendo assim, é corriqueiro nos depararmos no dia a dia com calçadas em estado inadequado para uso. Podemos citar como exemplo o piso produzido de concreto, muito comum e de extrema relevância para as calçadas.

Utilizando como base a ABNT NBR 9050 (2004), é estipulado alguns procedimentos necessários para a construção de calçadas, como por exemplo, a largura mínima de 1,20 m e a inclinação transversal para áreas externas de no máximo 3% para pisos. Existem no mercado

disponível diversos tipos de pisos para calçadas, tais como de concreto alisado, intertravado/blocos de concreto, de alta resistência tipo granilite, entre outros. Neste trabalho será usado como referência o piso de concreto alisado, onde a calçada é desenvolvida com a base de concreto e o acabamento feito com argamassa alisada. O uso do concreto reciclado em calçadas não constitui uma aplicação estrutural, portanto, adota-se os requisitos mínimos para concretos não estruturais. De acordo com a ABNT NBR 8953:2015, para este fim devem ser utilizados concretos de classes de resistência C10 e C15.

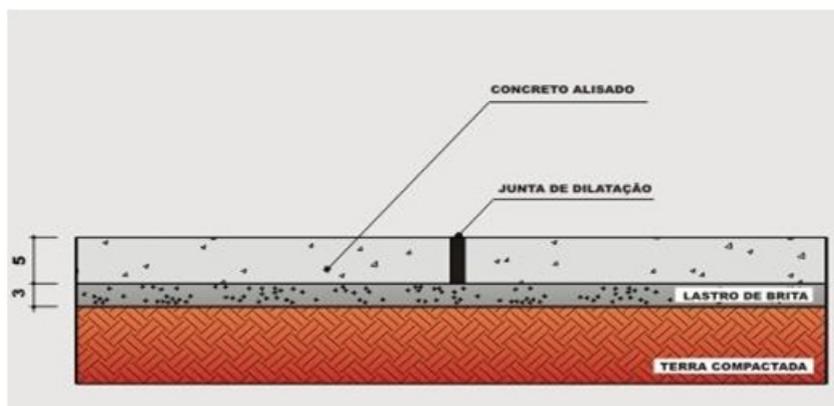


Figura 2: Calçada Padrão

Fonte: Prefeitura do Município de Londrina. Disponível em:

<http://acesf.com.br/dados/images/stories/Storage/ippul/calçada_para_todos/dicas_construir_calçada.pdf>

Para a execução devem-se observar os seguintes procedimentos:

- A preparação do terreno deve ser feita de forma a nivelar e compactar o solo, removendo raízes e troncos;
- Produzir e executar o lastro de brita, que devesse obedecer à espessura mínima de 3,0 cm;
- As placas deverão ser divididas em no máximo 2,0 m² juntamente com as juntas de dilatação onde deverá ser usado ripas de madeira para execução das mesmas;
- Em caso de entrada de garagem nesta calçada, deverá montar uma tela de armadura para reforçar a sobrecarga de tráfego no acesso de veículos na entrada da garagem;
- Executa-se o concreto obedecendo à espessura mínima de 5,0 cm. Deve-se dar uma atenção maior a execução do concreto, para que o mesmo fique de forma homogênea;
- Por fim lança o concreto e nivela, e logo após com o concreto ainda úmido, lança-se uma camada de argamassa com espessura mínima de 1,5 cm, dando o acabamento final necessário com a desempenadeira. Observando o piso pois ele deverá ser mantido úmido durante 4 dias, impedindo a circulação sobre as calçadas.

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Conforme exposto no capítulo, há uma elevada geração de resíduos sólidos, não apenas no território brasileiro, mas em todo mundo. Uma das maneiras viáveis de evitar as agressões ambientais que seriam causadas pelo descarte desses materiais, seria a utilização dos mesmos para a produção de um concreto reciclado. A proposta, desde o início, é a utilização deste concreto para aplicação em calçamento, obedecendo as normas vigentes específicas e dando ênfase na obtenção das propriedades desejadas para tal empreendimento. No próximo capítulo será abordada a parte experimental do trabalho, relatando os materiais escolhidos, os tipos de ensaios e a produção do concreto reciclado.

3 ESTUDO EXPERIMENTAL

3.1 PARÂMETROS INICIAIS

Neste capítulo aborda-se o desenvolvimento do estudo experimental que tem como foco a produção de concreto reciclado com o uso de agregados reciclados de construção. Para tanto, apresenta-se a seguir os parâmetros iniciais adotados.

Quanto aos insumos utilizados para a produção do concreto reciclado têm-se: cimento Portland CP II E 32 da marca LIZ CIMENTOS, areia natural peneirada, brita 1, agregados reciclados de cerâmica vermelha e água. Para os agregados foram realizados os ensaios para determinação granulométrica e também o ensaio de absorção de água. Os procedimentos adotados bem como os resultados serão apresentados posteriormente.

Dantas (2001) em seu estudo, utilizou traços iguais variando somente a composição do agregado, e escolheu como parâmetro de controle a relação água/cimento, mantendo-a constante em todos os casos analisados e concluiu que as propriedades do concreto estudado sofrem uma grande influência do agregado reciclado utilizado.

Partindo-se do traço estabelecido por este autor, com o objetivo de observar os diferentes efeitos dos agregados reciclados na consistência do concreto e na resistência à compressão do mesmo, estabeleceu-se três composições diferentes variando a porcentagem de agregados graúdos a serem substituídos pelos agregados reciclados cerâmicos. Tem-se então: concreto sem agregados reciclados, concreto com substituição parcial de 25% da brita por cerâmica britada e concreto com substituição parcial de 50% do agregado graúdo por agregado reciclado de cerâmica vermelha. Foi considerado adequado para o uso em calçadas, o concreto de resistência C10 e C15, conforme estabelecido pela ABNT NBR 8953:2015 para o concreto sem fim estrutural.

A cerâmica utilizada como agregado foi recolhida de obras no município de Caratinga, Minas Gerais. O material foi reservado em obra na ocasião do levantamento das alvenarias, onde blocos cerâmicos quebrados foram separados dos blocos inteiros. Uma parte do material recolhido originou-se quando, no serviço de instalações elétricas e hidráulicas, recortes foram feitos na alvenaria já levantada.

Os blocos cerâmicos quebrados foram levados ao Laboratório de Materiais de Construção das Faculdades DOCTUM, unidade Caratinga. Inspeccionou-se o material para retirada de impurezas como restos de fios, material plástico e demais componentes não reaproveitáveis como agregado. Após a limpeza, procedeu-se a redução do material para agregado. O procedimento para a quebra foi manual, utilizando-se marreta, o que levou a uma granulometria não uniforme, mas equivalente a granulometria dos agregados graúdos.

Os demais materiais empregados para a produção do concreto foram os disponibilizados

no Laboratório de Materiais de Construção da instituição supracitada. Nos tópicos a seguir detalham-se os ensaios realizados para caracterização dos materiais utilizados e desenvolvimento do estudo experimental.

3.2 ENSAIOS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES

Antes da utilização de qualquer material reciclado como agregado para concreto é crucial a prática de combinações experimentais, de maneira semelhante as combinações realizadas para os concretos convencionais. É importante o estabelecimento de alguns fatores inicialmente, como por exemplo a quantidade necessária de água que está relacionada a trabalhabilidade do material desenvolvido, uma vez que, caso haja excesso, colocaria em risco o uso do aglomerante para chegar a resistência esperada e ao custo menos oneroso possível Leite (2001).

Para verificar e avaliar as características e propriedades do concreto reciclado no que tange à trabalhabilidade e à resistência mecânica, é preciso determinar primeiramente as propriedades de seus materiais constituintes.

Visando a análise da influência dos agregados reciclados nas propriedades do concreto, os ensaios de caracterização centralizaram-se nestes materiais. Desta forma, realizou-se o Ensaio para Determinação da Granulométrica do agregado graúdo – a brita, do agregado miúdo – areia natural e do agregado reciclado de cerâmica vermelha.

Como destacam Ângulo e Figueiredo (2011), a porosidade dos agregados reciclados é geralmente maior do que dos agregados comuns e esta propriedade interfere na quantidade de água a ser utilizada na produção do concreto. Portanto, também foi realizado o ensaio de Absorção de Umidade dos agregados.

3.2.1 Ensaio de Granulometria

A Associação Brasileira de Normas Técnicas através da norma ABNT NBR NM 248: 2003 Agregado - Determinação da composição granulométrica e estabelece os procedimentos a serem adotados e que são aplicáveis à agregados graúdos e miúdos. Tendo como orientação a referida norma, desenvolveram-se os ensaios.

Os equipamentos utilizados foram: luvas plásticas, óculos de proteção, vasilhas de plástico transparentes tamanho médio, peneiras de alumínio com tampa e fundo, espátula de aço, balança de alta precisão, estufa, agitador mecânico de peneiras, bandejas, fundo avulso de peneira e pincéis tamanho grande.

Para realização do ensaio, do material disposto em laboratório, foram separadas as amostras de brita, areia e agregado cerâmico em conformidade com a ABNT NBR NM 248: 2003 que determina que a amostra seja seca previamente em estufa e posteriormente dividida

em duas partes. A Tabela 1 apresenta os dados relativos às amostras ensaiadas, ressaltando que a massa foi determinada após secagem em estufa.

Tabela 1: Divisão das amostras para ensaio de determinação granulométrica.

Material	Amostra M1,(kg)	Amostra M2,(kg)
Brita	1,5	1,5
Agregado reciclado cerâmico	1,5	1,5
Areia natural	0,5	0,5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas Figuras 3, 4 e 5 são vistas as amostras ensaiadas de brita, agregado cerâmico e areia natural, respectivamente, durante a determinação da massa seca M1 e M2.



Figura 3: Amostras M 1 e M 2 de brita.

Fonte:Acervo dos autores.



Figura 4: Amostras M 1 e M 2 de agregado cerâmico.

Fonte:Acervo dos autores.



Figura 5: Amostras M 1 e M 2 de areia natural.
Fonte:Acervo dos autores.

Realizou-se a limpeza de todas as peneiras, logo depois foram encaixadas umas nas outras, em ordem crescente da base para o topo e colocado um fundo adequado para o conjunto (Figura 6). Colocou-se a amostra M1 na peneira do topo do conjunto e com o auxílio do agitador mecânico foram realizadas vibrações durante o período de 1,5 minutos para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra.



Figura 6: Conjunto de peneiras e agitador mecânico.
Fonte:Acervo dos autores.

Foi destacado e agitado manualmente a peneira superior do conjunto (sem a retirada da tampa e do fundo), então, após 1 minuto de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira foi inferior a 1% da massa do material retido, esta agitação foi realizada através de movimentos laterais e circulares alternados que foram realizados no plano horizontal e inclinado.

Após este procedimento, removeu-se o material retido na peneira e colocou-se em uma bandeja identificada. Realizou-se a escovação da tela com pincel para limpeza da peneira. O material removido pelo lado interno é considerado como retido e acrescentado ao material na bandeja e o desprendido como passante e depositado na peneira seguinte.

Logo mais, foi procedido à verificação da próxima peneira, depois de acrescentar o material passante da peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas. Determinou-se, com uso da balança, a massa total do material retido em cada uma das peneiras e no fundo (base) do conjunto. Segundo a ANBT NBR NM 248: 2001, o somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% da massa inicial da amostra M 1.

Após as verificações da primeira parte da amostra, foram realizados todos os procedimentos supracitados para a amostra M 2. As massas retidas em cada peneira, para amostras M 1 e M 2 são apresentadas, para o agregado de agregado cerâmico, na Figura 7; para a brita têm-se a Figura 8 e para a areia natural, a Figura 9. Nos referidos quadros também são apresentados os cálculos da porcentagem retida média de cada peneira, bem como a porcentagem retida acumulada, ambas em massa.

Peneiras (mm)	Amostra M1		Amostra M2		% retida média	% retida acumulada
	Peso retido (g)	% retida	Peso retido (g)	% retida		
50 ¹	0	0	0	0	0	0
37,5 ²	0	0	0	0	0	0
25 ¹	8,19	0,5	28,85	1,9	1	1
19 ²	116,13	7,7	121,02	8,1	8	9
9,5 ²	1175,64	78,4	1195,07	79,7	79	88
4,75 ²	144,88	9,7	133,59	8,9	9	97
Fundo	54,92	3,7	21,32	1,4	3	100
Total	1499,76	100	1499,85	100	100	100

¹ Peneiras da série intermediária (ABNT NBR NM 248: 2001).
² Peneiras da série normal (ABNT NBR NM 248: 2001).

Figura 7: Resultados do ensaio para determinação granulométrica da brita.
Fonte:Elaborado pelos Autores

Peneiras (mm)	Amostra M1		Amostra M2		% retida média	% retida acumulada
	Peso retido (g)	% retida	Peso retido (g)	% retida		
50 ¹	0	0	0	0	0	0
37,5 ²	33,63	2,2	68,20	4,5	3	3
25 ¹	274,09	18,3	220,5	14,7	17	20
19 ²	279,31	18,7	274,21	18,3	18	38
9,5 ²	422,04	28,2	384,22	25,6	27	65
4,75 ²	300,22	20,1	302,15	20,1	20	85
Fundo	185,17	12,4	250,23	16,7	15	100
Total	1494,46	99,9	1499,51	99,9	100	100

¹ Peneiras da série intermediária (ABNT NBR NM 248: 2001).
² Peneiras da série normal (ABNT NBR NM 248: 2001).

Figura 8: Resultados do ensaio para determinação granulométrica do agregado cerâmico.
Fonte:Elaborado pelos Autores

Peneiras (mm)	Amostra M1		Amostra M2		% retida média	% retida acumulada
	Peso retido (g)	% retida	Peso retido (g)	% retida		
4,75 [‡]	0	0	0	0	0	0
2,36 [‡]	1,65	0,3	0,92	0,2	1	1
1,18 [‡]	38,30	7,7	38,57	7,7	8	9
0,600 [‡]	72,30	14,5	130,58	26,2	20	29
0,300 [‡]	142,26	28,5	105,33	21,1	25	54
0,150 [‡]	229,51	46	204,03	40,9	43	97
Fundo	14,64	2,9	18,72	3,7	3	100
Total	498,66	99,9	498,15	99,8	100	100

[‡] Peneiras da série normal (ABNT NBR NM 248: 2001).

Figura 9: Resultados do ensaio para determinação granulométrica da areia natural.
Fonte: Elaborado pelos Autores

Os resultados obtidos estão em conformidade do que é exigido pela ABNT NBR NM 248: 2001 quanto à precisão: a soma total da massa das amostras após ensaio não difere mais que 0,3% da massa inicial; as amostras apresentam a mesma dimensão máxima característica e nas demais peneiras os valores não diferem mais que 4% entre si.

Determinou-se também para os agregados ensaiados, como prevê e define a norma supracitada, o módulo de finura com precisão de 0,01 e a dimensão máxima característica que é definida como:

(...) grandeza associada a distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior à 5% em massa (ABNT NBR NM 248: 2001, pág. 2).

O módulo de finura foi obtido somando-se as porcentagens retidas acumuladas em massa, relativas às peneiras da série normal, e dividindo-se essa soma por 100. Os valores do módulo de finura e da dimensão máxima de cada agregado são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Módulo de finura (MF) e dimensão máxima característica (D_{máx}).

Material	MF	D _{máx} ,(mm)
Brita	3,0	25
Agregado cerâmico	3,12	37,5
Areia natural	2,9	2,36

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2.1.1 Ensaio de Absorção de Umidade dos Agregados

Para realização do ensaio de absorção de umidade foram observados os procedimentos recomendados pela ABNT NBR NM 53:2009 Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água e pela ABNT NBR NM 30:2001 Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.

Os equipamentos utilizados foram: vasilhas de louça tamanho médio, balança, molde tronco-cônico e metálico, haste de compactação, estufa, bandeja metálica, espátula de aço, circulador de ar quente regulável, tanque de água e peneiras de ensaio.

Para ensaio da areia natural separouse uma amostra de aproximadamente 1 kg, e colocou-se em um recipiente a secar com temperatura $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por tempo suficiente para que, em duas determinações subsecutivas, houvesse uma diferença de massa inferior a 0,1 g. Em sequência a este processo, a amostra foi coberta com água e deixada para descanso no prazo de 24 horas como ilustra a Figura 10.



Figura 10: Processo de umidificação da areia natural.
Fonte:Acervo dos autores.

Após este prazo, foi realizada a retirada da amostra da água, estendendo-a em uma superfície limpa e plana, e submetendo a ação de uma moderada corrente de ar quente, realizando pequenos movimentos para garantir uma secagem uniforme, dando continuidade ao processo de secagem para evitar que os grãos do agregado não permaneçam juntos entre si de forma acentuada (Figura 11).



Figura 11: Processo de secagem da areia natural.
Fonte:Acervo dos autores.

Foi colocado em um molde o agregado miúdo, de maneira a não comprimi-lo, então foram aplicados levemente 25 golpes utilizando a haste de compactação, depois foi levantado verticalmente. Como o agregado conservou a forma do molde, o processo de secagem se repetiu.

Foi agitada a amostra de maneira contínua dando sequência a realização dos ensaios com o molde com intervalos frequentes, até o desmoronamento do cone de agregado miúdo ao ser retirado o molde. Neste instante, conforme ABNT NBR NM 30: 2001, o mesmo alcançou o nível de saturação com superfície seca. Para determinação da massa, considerou-se aproximação de 0,1g.

A norma supracitada destaca que é crucial o agregado ser molhado e conseqüentemente seco, pois estes procedimentos têm finalidades de confirmar que o agregado possua alguma umidade superficial. Sendo assim, se o cone desmoronar na primeira tentativa, todo o processo de secagem terá sido realizado além do ponto de saturação da superfície seca do agregado. Ainda em conformidade com a ABNT NBR NM 30: 2001, nesta situação, deve-se adicionar alguns mililitros de água a amostra que precisa ser misturado e ficar de repouso durante 30 minutos, em um recipiente com tampa, após deve ser reiniciado o processo de secagem e ensaio.

Após atingida a condição de saturada a superfície seca, a amostra foi pesada. Posteriormente, levou-se essa mesma amostra para estufa até completa secagem e, após seca, nova pesagem foi efetuada. A Figura 12 (a) mostra a pesagem do recipiente vazio (peso descontado do total nos cálculos); na Figura 12 (b) têm-se a areia saturada com superfície seca e na Figura 12 (c) a areia seca.



Figura 12: Aferição das massas: (a) recipiente,(b) areia saturada com superfície seca e (c) areia seca.

Fonte:Acervo dos autores.

Os resultados da aferição da areia são apresentados na Tabela 3

Tabela 3: Aferição das massas da areia (agregado miúdo)

Material	Aferição das massas (g)
Recipiente	648,57
Areia saturada com superfície seca	815,89
Areia seca	660,24

Fonte: Elaborado pelos autores.

A absorção de umidade foi calculada pela Equação 3.1, onde A é a absorção de umidade, m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas, e m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Portanto, a areia natural a ser empregada como agregado miúdo possui absorção de umidade igual a 24%. Para os agregados graúdos, tanto a brita quanto para o agregado cerâmico, o procedimento inicia-se com a preparação das amostras que devem ser isentas de grãos com dimensão inferiores a 4,75 mm.

Eliminou-se todo o material que passou pela peneira 4,75 mm de forma seca. Lavou-se de forma total o agregado para a remoção do pó ou qualquer outro material de sua superfície. Secou-se a amostra de ensaio à uma temperatura de 100 °C à 105 °C. Deixou-se esfriar à temperatura ambiente no prazo de 1h a 3h.

A amostra de brita separada para realização do ensaio possui massa de 1 kg e a amostra de agregado reciclado cerâmico 1 kg. Estas foram submergidas em água a temperatura ambiente no intervalo de 24 horas conforme visto na Figura 13.

**Figura 13:** Submersão dos agregados graúdos: reciclado cerâmico e brita, respectivamente.

Fonte: Acervo dos autores.

Tabela 4: Aferição das massas do agregado reciclado e agregado graúdo

Material	Agregado reciclado (g)	Agregado graúdo (g)
Recipiente	2005,85	631
Areia saturada com superfície seca	659	842,17
Areia seca	528,91	831,58

Fonte: Elaborado pelos autores.

E as Figuras 14 e 15 ilustram o procedimento de pesagem dos agregados nas diferentes condições quanto a umidade.



Figura 14: Aferição das massas: (a) recipiente, (b) agregado reciclado cerâmico saturado com superfície seca e (c) agregado reciclado seco.

Fonte:Acervo dos autores.



Figura 15: Aferição das massas: (a) recipiente, (b) brita saturada com superfície seca e (c) brita seca.

Fonte:Acervo dos autores.

A absorção de umidade é calculada pela Equação 3.1 apresentada anteriormente. O valor obtido para absorção de umidade do agregado reciclado cerâmico foi de 25% e a absorção de umidade da brita foi de 1%.

3.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO RECICLADO

3.3.1 Determinação dos traços

Os traços empregados para todos os 3 tipos de dosagens foram iguais. Houve variação quanto a composição dos agregados e quanto a relação água/cimento, uma vez que os agregados

reciclados possuem grande absorção de umidade. Realizou-se os experimentos no laboratório de Materiais de Construção da Faculdade DOCTUM/Caratinga-MG e durante as dosagens foi utilizado o cimento Portland CP II E 32 da marca LIZ CIMENTOS. O traço obtido, em conformidade descrito pelo autor Dantas (2001), para Cimento Portland II E-32: Brita 1 e/ou Agregado Reciclado: Areia: água/cimento, foi de:

$$1: 1,4: 2,4: a/c = 0,41$$

Para a realização dos experimentos, foi definido três tipos de composições de agregados reciclados nas dosagens, conforme mostrado na Figura 16.

Dosagem	Composição
1	100% agregado graúdo (brita 01)
2	50% agregado graúdo (brita 01) e 50% agregado graúdo reciclado (bloco cerâmico)
3	75% agregado graúdo (brita 01) e 25% agregado graúdo reciclado

Figura 16: Composições de agregados graúdo nas dosagens dos concretos

Fonte:Elaborado pelos Autores.

É citado por Lima (1999) as principais características dos agregados reciclados: baixa densidade induzindo a alterações no traço do concreto; elevada absorção de água; pequena resistência mecânica; aumento na retração; aumento da fluência; diminuição do módulo de deformação do concreto reciclado; entre várias outras características.

É importante o conhecimento das massas específicas e unitária dos agregados para o estudo de dosagem dos concretos. Estas massas foram obtidas durante o ensaio de absorção de umidade dos agregados para posterior compensação na quantidade do material reciclado a ser utilizado nas misturas de concreto para obtenção dos traços.

Com base no traço do concreto supracitado acima, foi possível calcular a estimativa de consumo de materiais para o mesmo, conforme é mostrado na figura 17.

Dosagens	Composição	Cimento (kg)	Brita I (kg)	Areia (Kg)	Água (l)
Dosagem 1	100% graúdo	3	4,2	7,2	1,43
Dosagem 2	50% graúdo e 50% reciclado	3	4,2	7,2	2
Dosagem 3	75% graúdo e 25% reciclado	3	4,2	7,2	1,63

Figura 17: Traço do concreto consumo de materiais por m²

Fonte:Elaborado pelos Autores.

Observando a Figura 17 é notório que há uma variação da quantidade de água em cada uma das dosagens, isto, devido ao fato de os agregados reciclados necessitam de uma quantidade maior de água, pois possuem um alto teor de absorção de umidade, enquanto a brita (agregado natural), apresenta um baixo teor. Nos demais elementos, a quantidade em cada uma das dosagens manteve-se a mesma proporção, apresentando uniformidade.

3.3.2 Procedimento de produção do concreto

Colocou-se na betoneira uma porção de argamassa, com traço 1: 1,4: 2,4: a/c = 0,41 onde deixou-se o material excessivo cair livre enquanto a betoneira estava com a abertura para baixo e em movimento.

Foram introduzidos os materiais de modo individual dentro da betoneira obedecendo a seguinte ordem: água; agregado graúdo; cimento; agregado miúdo. Foram misturados durante 5 minutos. Adicionou-se água em pequenas quantidades e gradativamente, observando e controlando até obter o abatimento requerido. Definiu-se o teor ideal de argamassa, realizando os procedimentos baseados em observações práticas.

Com a betoneira desligada, retirou-se todo material aderido nas pás e superfície interna e realizou-se a mistura novamente. Introduziu-se mais uma vez a colher de pedreiro no concreto, retirando uma parte do mesmo e levando até uma parte superior da cuba da betoneira, com o material nesta posição, foi verificado o desprendimento do agregado graúdo da massa, o que aponta para ausência de argamassa na mistura. Sendo assim, soltou-se a porção de concreto que está sobre a colher e verificou-se se ela cai de maneira coesa e homogênea, caso ocorra tal fato, significa que a quantidade de argamassa está correta.

Com os resultados provenientes do estudo experimental, foi construído as correlações entre traço de concreto e relação água/cimento, $F_c = \text{função}(a/c)$, consumo de cimento e traço, $C = \text{função}(m)$ e relação total de agregados secos/cimento, $m = \text{função}(a/c)$ usando as leis de comportamento em tecnologia do concreto adotadas e o diagrama de dosagem.

3.3.3 Ensaio do Abatimento do Tronco de Cone

Para realização do ensaio de abatimento do tronco de cone foram observados os procedimentos recomendados pelas normas ABNT NM 67:1998 - *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*, ABNT NM 33:1998 - *Concreto – Amostragem de concreto fresco* e ABNT NM 36:1998 – *Concreto fresco – Separação de agregados por peneiramento*.

Os equipamentos utilizados foram: Molde, haste de compactação, placa da base, pá de metal com cabo de madeira, balança de alta precisão, balde de plástico preto tamanho médio, trena de 5 metros. Todos os estes equipamentos, em conformidade com o estabelecido na NBR ABNT NM 67:1998 conforme ilustrado nas figuras 18, 19 e 20 respectivamente.

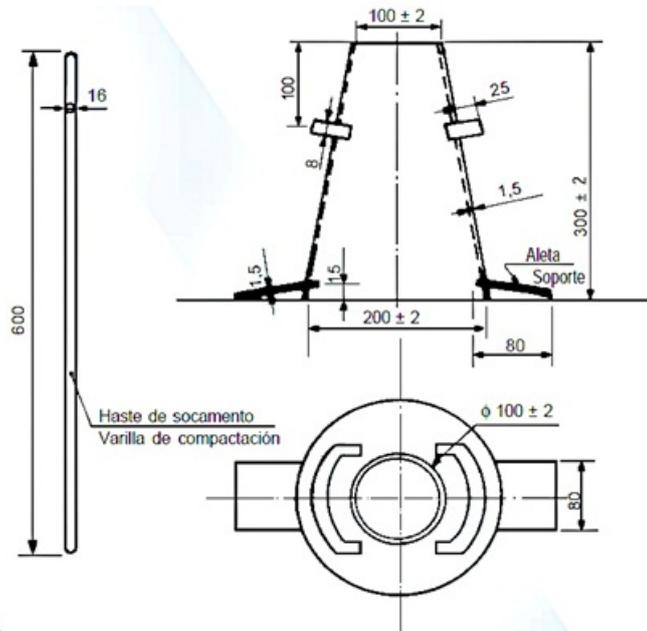


Figura 18: Ensaio de abatimento de tronco de cone (dimensões em mm)

Fonte: ABNT NBR NM67 -1998- Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

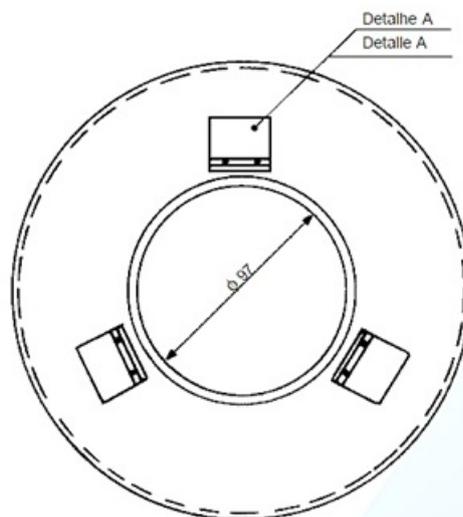


Figura 19: Molde – Ensaio de abatimento de tronco de cone (dimensões em mm)

Fonte: ABNT NBR NM67 -1998- Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

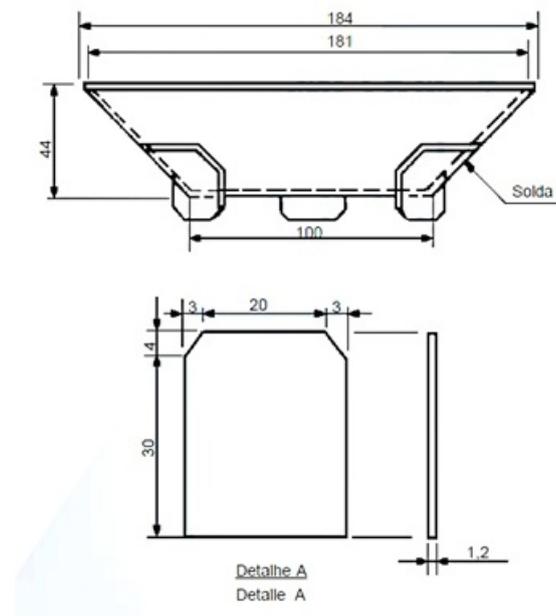


Figura 20: Complemento tronco-cônico metálico de enchimento, adaptável à base superior do molde (Dimensões em mm)

Fonte: ABNT NBR NM67 -1998- Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Umedeceu-se e o molde e a placa da base, colocando o molde sobre a placa da base. Após este procedimento, posicionou-se os pés sobre a aleta da placa para mantê-lo estável, enquanto o molde foi preenchido em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado, conforme ilustrado pela figura 21 .



Figura 21: Preenchimento do molde em três camadas, segurando firmemente a aleta da placa.

Fonte: Acervo dos autores.

Atentou-se para o cuidado de colocar a placa da base em uma superfície firme, plana, horizontal e sem oscilações. Sendo assim, realizou-se a compactação de cada camada com 25 golpes utilizando a haste de socamento. Os golpes foram distribuídos de forma constante em cada camada. Compactou-se a camada inferior realizando uma pequena inclinação na haste e aplicando os golpes em forma de espiral até o centro de maneira à abranger toda a sua espessura. As demais camadas receberam golpes em toda sua espessura de forma que os mesmos atingiram até a camada anterior. Na última camada, antes da aplicação dos golpes, preencheu-se o molde com concreto de forma que o mesmo acumulasse.

Foi observado se a superfície de concreto ficou inferior a borda do molde, pois, caso ocorra, deve-se adicionar mais concreto para deixar a superfície sempre em excesso durante toda a operação da camada superior, preparar a superfície de maneira a nivelar com o auxílio de uma desempenadeira e com a haste de compactação através de movimentos rolantes.

Efetuuou-se a limpeza da placa de base, retirando com cuidado o molde de concreto na direção vertical, no prazo de 5 a 10 segundos, de maneira que o molde não submeta o concreto a movimentos de torção lateral. Foi obedecido à norma ABNT NM 67/1998 onde estipula que todo o processo não deve ultrapassar 150s entre o começo do preenchimento do molde com concreto até sua retirada e a duração total do ensaio não deve exceder 5 minutos, isto é, desde a coleta da amostra ao desmolde (final do ensaio).

Após a retirada do molde efetuou-se a medição do abatimento do concreto, verificando a diferença entre a altura do molde e do eixo do corpo de prova, que equivale à altura média do corpo-de-prova desmoldado, realizando o arredondamento de 5mm mais próximos. (Figuras 22 e 23).

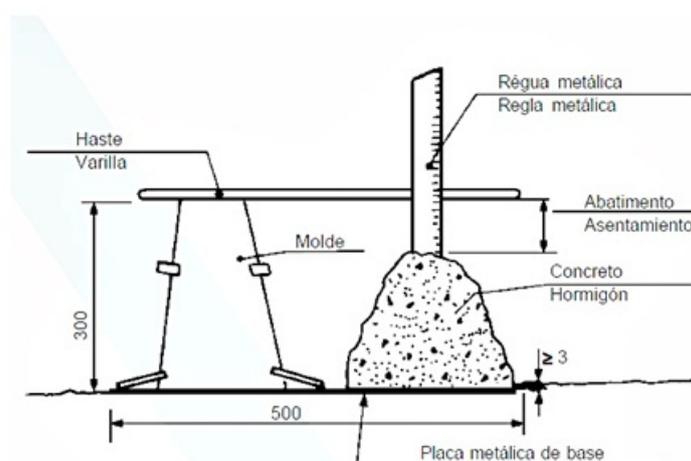


Figura 22: Medida do abatimento (dimensões em milímetros)

Fonte: ABNT NBR NM 67 -1998- Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.



Figura 23: Medida do abatimento do concreto da segunda dosagem

Fonte:Acervo dos autores.

No instante do desmolde, se ocorrer um desmoronamento da massa do concreto que impeça a medição do assentamento, o ensaio não deve ser considerado e deverá ser realizado um novo. Caso isto ocorra em dois ensaios consecutivos, o concreto utilizado é considerado não plástico e coeso para aplicação do ensaio de abatimento.

Após a realização de todo os procedimentos descritos acima, foram obtidos para dosagem 1 o abatimento de 30 mm; para dosagem 2 o abatimento de 65 mm e para dosagem 3 o abatimento de 20 mm segundo a Tabela exposta abaixo.

Tabela 5: Abatimento para cada dosagem

Dosagens	Abatimento (mm)
Dosagem 1	30
Dosagem 2	65
Dosagem 3	20

FONTE: Elaborado pelos autores.

3.3.4 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

Para realização do procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova foram observados criteriosamente os procedimentos recomendados pela ABNT NBR 5738:2015 *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*.

Os equipamentos utilizados foram: Moldes cilíndricos e/ou prismáticos, haste de adensamento, vibradores e colher de pedreiro e concha de seção U.

Para a separação e determinação da granulométrica dos agregados graúdos observa-se a regra de que o corpo de prova deve ser no mínimo quatro vezes maior que a dimensão máxima do agregado. Caso encontre na moldagem do corpo de prova partículas com dimensões

maiores do que a máxima nominal, é necessário eliminá-las por peneiramento do concreto conforme exigido na ABNT NBR NM 36. De acordo com a ABNT NBR 5738, antes de iniciar o processo de moldagem dos corpos de prova revestimos internamente os moldes e suas bases com uma camada fina de óleo mineral. Os moldes foram apoiados em uma superfície rígida, horizontal, sem vibrações ou algum outro tipo de perturbação de maneira a preservar a forma e as propriedades do concreto durante a moldagem e início de pega dos corpos de prova.

Utilizou-se o corpo de prova cilíndrico de dimensão de 10 cm por 20cm, juntamente com o concreto produzido na betoneira, colocou-se com uma concha de seção U o concreto nos moldes deslocando a concha ao redor do molde de modo a assegurar a distribuição simétrica do concreto, com o número de camadas correspondente de acordo com a figura 24 e logo em seguida efetuou-se manualmente o adensamento com a haste em movimentos circular.

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	--	--
Brita	50	100		75

⁴ Para Concretos com abatimento superior a 160mm, a quantidade de camada deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Figura 24: Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova
Fonte: ABNT NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de prova

Segundo a ABNT NBR 5738 existem dois métodos de adensamento, sendo eles o adensamento manual com haste e por vibração (interna ou externa). No experimento, segundo dito anteriormente, utilizou-se o método de adensamento manual com haste, efetuando-se 12 golpes por camada. Dando continuidade aos procedimentos, introduziu-se o concreto no molde de maneira que as camadas ficaram aproximadamente iguais, e foi adensado de maneira uniforme toda a seção transversal de cada camada com a haste em seu extremo de forma semiesfera penetrando no concreto de acordo com o número de vezes observado na tabela acima. A primeira camada foi atravessada em toda sua espessura, evitando que a haste tocasse a base do molde. As demais camadas foram adensadas em toda sua espessura de maneira com que a haste foi penetrada aproximadamente 20 mm na camada anterior. Na última camada, moldou-se de maneira com que a quantidade de concreto a ser adensada ficou em excesso e completou-se todo o volume do molde, sendo possível efetuar o rasamento com uma colher de pedreiro e eliminar o material que estava em excesso conforme a figura 25.



Figura 25: Moldes preenchidos de concreto

Fonte:Acervo dos autores.

Para o processo de cura, colocou-se os moldes em um local coberto e seco contendo superfície plana e rígida, livre de qualquer tipo de vibração que possibilitasse afetar o concreto. Aguardou-se o prazo de 24 horas para o desmolde, e logo em seguida moveu-se os corpos de prova para o tanque com água para a cura durante o período de sete dias (figura 26). Após os sete dias retirou-se os corpos e direcionou-se os mesmos para o local de ensaio de resistência à compressão (figura 27).



Figura 26: Corpos de prova para cura por imersão no período de 7 dias

Fonte:Acervo dos autores.



Figura 27: Corpos de prova após a retirada do tanque
Fonte:Acervo dos autores.

3.4 ENSAIOS DO CONCRETO RECICLADO ENDURECIDO

3.4.1 Ensaio de Resistência à Compressão

Para realização do ensaio de Resistência à compressão axial dos corpos de prova foram observados criteriosamente os procedimentos recomendados pelas normas ABNT NBR 5738:2015 *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*, ABNT NBR 5739:2007 *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*, ABNT NBR 7680:2015 *Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto*, e ABNT NBR 9479:2006 *Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto*.

Os equipamentos utilizados foram: Equipamento de ensaio de compressão para corpos de prova da marca Contenco, sistema de medição de forças analógico, pratos de compressão.

Para a realização do ensaio, mantiveram-se os corpos de prova em processo de cura úmida até o momento da execução do ensaio, segundo estipulado pelas ABNT NBR 5738, ABNT NBR 7680 e ABNT NBR 9479. Foi dada importância para o afastamento entre o eixo vertical da máquina e o eixo do corpo de prova, onde não pode ser maior que 1% do seu diâmetro nominal. O rompimento a compressão do corpo de prova foi realizado após sete dias de cura, obedecendo a tolerância de tempo descrita na Tabela 6.

Tabela 6: Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura

Idade de ensaio	Tolerância permitida
24 h	± 30 min ou 2,1 %
3 d	± 2 h ou 2,8 %
7 d	± 6 h ou 3,6 %
28 d	± 20 h ou 3,0 %
60 d	± 36 h ou 2,5 %
90 d	± 2 d ou 2,2 %

Fonte: ABNT NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos

Como os corpos de prova foram moldados de acordo com a ABNT NBR 5738, a idade de cura foi contada a partir do momento em que colocamos o corpo de prova no tanque de água. Efetuamos o processo de limpeza e secagem das faces dos pratos de carga e dos corpos de prova antes de colocarmos o corpo de prova. Colocou-se cuidadosamente o corpo de prova no prato inferior da máquina de modo centralizado. Aplicamos a carga continuamente e sem choques, até o rompimento do mesmo (Figura 28).

Para o cálculo da resistência a compressão, dividimos a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, considerando que o resultado foi expresso com aproximação de 1 Mpa e são apresentados na Figura 29.



Figura 28: Rompimento dos corpos-de-prova
Fonte:Acervo dos autores.

Dosagem 1 (100% agregado graúdo)	Dosagem 2 (50% Agregado graúdo e 50% agregado graúdo reciclado)	Dosagem 3 (75% Agregado graúdo e 25% agregado graúdo reciclado)
Concreto I: 10,19 Tf Concreto I: 10,97 Tf	Concreto II: 5,38 Tf Concreto II: 5,24 Tf	Concreto III: 6,51 Tf Concreto III: 6,56 Tf

Figura 29: Resistência a compressão dos corpos-de-prova
Fonte:Elaborado pelos Autores.

3.4.2 Ensaio de Absorção de Umidade

Para realização do ensaio de absorção de umidade para os corpos de prova, foram utilizados os procedimentos semelhantes aos utilizados com agregados miúdos, graúdos e blocos cerâmicos, tendo como referência as normas ABNT NBR NM 53:2009 *Agregado graúdo* –

Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água e a ABNT NBR NM 30:2001 Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.

Os equipamentos utilizados foram: vasilhas de louça tamanho médio, balança, estufa, bandeja metálica, espátula de aço, circulador de ar quente regulável, dessecador e tanque de água.

Separou-se corpo de prova com 100% de agregado natural (I), corpo de prova com 50% agregado natural e 50% agregado reciclado (II) e corpo de prova com 75% agregado natural e 25% agregado reciclado (III) e colocou-se em um recipiente a secar com temperatura (105 ± 5) °C. Em sequência a este processo, a amostra foi coberta com água e deixada para descanso no prazo de 24 horas.

Após este prazo, foi realizada a retirada da amostra da água, e com auxílio de uma toalha foi realizado pequenos movimentos para garantir uma secagem uniforme, para em seguida ser aferido a massa dos corpos de prova que são mostradas na figura 30 e na Tabela 7.



Figura 30: Aferição das massas secas: (a) Corpo de prova I, (b) Corpo de prova II e (c) Corpo de prova III.

Fonte: Acervo dos autores.

Tabela 7: Massas secas dos corpos de prova

Material	Aferição das massas (g)
Concreto I	3435,59
Concreto II	3118,21
Concreto III	3176,45

Fonte: Elaborado pelos autores.

É importante o concreto ser molhado e conseqüentemente seco, pois estes procedimentos têm finalidades de confirmar que o mesmo possui alguma umidade superficial. Foi colocado os corpos de prova em um tanque por imersão e deixados no período de 24 horas. Após a retirada do mesmo, foi aferida suas respectivas massas, conforme expresso na figura 31 e na Tabela 8.

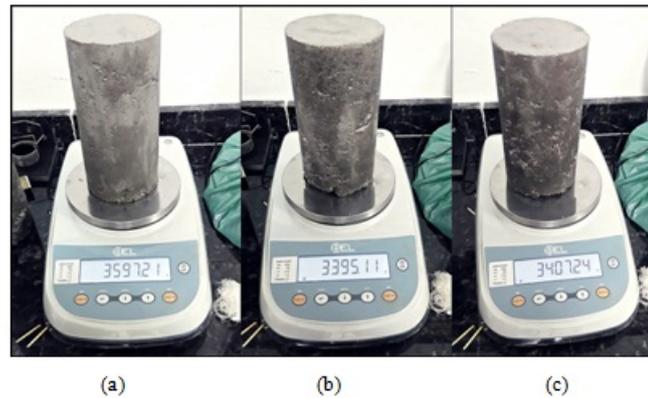


Figura 31: Aferição das massas saturadas: (a) Corpo de prova I, (b) Corpo de prova II e (c) Corpo de prova III.

Fonte: Acervo dos autores.

Tabela 8: Massas saturadas dos corpos de prova

Material	Aferição das massas (g)
Concreto I	3597,21
Concreto II	3395,11
Concreto III	3407,24

Fonte: Elaborado pelos autores.

A absorção de umidade foi calculada pela Equação 3.2, onde A é a absorção de umidade, m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas, e m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Portanto, o corpo de prova I apresenta um teor de absorção de água de 5%. O corpo de prova II apresenta um teor de absorção de 9% e o corpo de prova III apresenta um teor de absorção de 7%, como pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9: Teor de absorção de água

Material	Absorção de água (%)
Concreto I	5%
Concreto II	9%
Concreto III	7%

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentados diversos ensaios cruciais para se obter algumas características específicas de cada material, tanto do concreto quanto dos agregados miúdos, graúdos e reciclados. Para realização de cada ensaio, foi obedecido criteriosamente a norma técnica NBR específica bem como os procedimentos estipulados. Com base nos experimentos apresentados, será dada continuidade na pesquisa, onde será abordado e discutido no próximo capítulo a análise dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no ensaio de granulometria atendem os requisitos da norma ABNT NBR NM 248:2003, onde o agregado miúdo utilizado para o experimento apresentou módulo de finura de 2,9, dimensão máxima característica de 2,36 mm e a maior parte de seus grãos retidos na peneira 0,150. O agregado graúdo, apresentou módulo de finura de 3,00 dimensão máxima característica de 25 mm e a maior parte de seus grãos retidos na peneira 9,5. Enquanto o material cerâmico apresentou módulo de finura de 3,12, dimensão máxima característica de 37,5mm e a maior parte de seus grãos retidos na peneira 9,5.

Analisando os resultados do ensaio de teor de umidade, constatou-se que o agregado reciclado apresentou maior absorção de água com um teor de umidade de 25%, uma vez que de acordo com Gomez-Soberon (2002) a substituição dos agregados reciclados pelos naturais eleva a porosidade do concreto em até 1,7% e o teor de absorção de água em até 14,3%. Outro estudo semelhante foi realizado pelo Sagoe-Crentsil et. Al (2001) que desenvolveu concreto com agregados reciclados com teores de absorção variando de 25% a 89%. A areia apresentou resultado próximo com um teor de umidade de 24% enquanto a brita apresentou um resultado menor, com um teor de umidade de 1%.

Verificando também o ensaio de umidade para os corpos de prova, é possível observar que os mesmos com concentração de agregados reciclados em seu processo de dosagem foram os que apresentaram maiores teores de absorção de água (Corpo de prova II e III). Tal fato é explicado pelos autores Hanse (1992); Barra (1996); Levy (1997); Zordan (1997); Bazuco (1999), Banthia e Chan (2000); Limbachiya et. Al., (1998) que assumem a alta taxa de absorção dos agregados reciclados e afirmam que este fato, se deve a composição de materiais cerâmicos nos agregados reciclados, sendo assim, quanto maior a quantidade de material cerâmico, maior será a taxa de absorção de água do agregado reciclado implicando diretamente na relação a/c a ser utilizada no processo de dosagem e na resistência do concreto.

Verificando os resultados do ensaio de *slump test*, percebe-se que a dosagem de 50% Agregado graúdo natural e 50% agregado cerâmico reciclado foi a que apresentou maior abatimento de 65mm. A dosagem de 100% brita apresentou abatimento de 30mm, enquanto a dosagem 75% brita e 25% agregado reciclado apresentou o menor abatimento de 20mm.

Segundo os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial, a dosagem I apresentou resistência de 12,7 MPa e 13,7 MPa, a dosagem II apresentou resistência de 6,7 MPa e 6,5 MPa, e a dosagem III apresentou resistência de 8,1 MPa e 8,2 MPa. Como pode ser observado, as dosagens contendo misturas de agregado reciclado não atenderam a recomendação da norma ABNT NBR 8953:2015, que diz que para concreto de uso não estrutural a resistência deve ser de 10 MPa a 15 MPa.

5 CONCLUSÃO

Observou-se que o agregado reciclado absorveu muita água em relação aos materiais pétreos convencionais por causa de sua maior porosidade, o que implica em uma maior quantidade de água para a compactação, reduzindo sua resistência.

Concluiu-se que a utilização de agregados reciclados na construção civil para uso não estrutural promove redução de entulhos, beneficiando o meio ambiente. Porém, são necessários mais estudos para desenvolver um concreto a partir da cerâmica vermelha produzida na região de Caratinga/MG, uma vez que a mesma possui um alto teor de umidade, para se obter um traço que atinja a resistência especificada para uso sem fins estruturais, de no mínimo 10 MPa, conforme recomendação da norma ABNT NBR 8953:2015.

Para prosseguimento de pesquisa, deixa-se como sugestão o estudo de outros resíduos de obras de Caratinga/MG como blocos de concreto, placas de revestimento, rochas ígneas, entre outros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAVEDRA, P.; DOMÍNGUEZ, J.; GONZALO, E. et al. I. La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Informes de la Construcción, v. 49, n° 451, p.41-47, 1997.
- ÂNGULO, S.C.; FIGUEIREDO, A.D. Concreto com agregados reciclados. In: ISAIA, G.C. (Editor). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. Vol. 2.
- AMBIENTAL – Gerenciamento de resíduos e certificação ambiental, 2., 1998, Porto Alegre. Porto Alegre: PUCRS, 1998. P.413-418.
- ÂNGULO, S. C. et al., “Utilização de Pilhas de Homogeneização para Controle de Agregados Miúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados”. In: CONSTRUÇÃO 2001: por uma construção sustentável, pp. 713-720, Lisboa.
- ÂNGULO, S. C. et al. Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição. In: VI Seminário de Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil. IBRACON CT-206. São Paulo, 2003.
- ARAUJO, J. M. CTB Digital Código de Transito Brasileiro. Disponível em: <http://www.ctbdigital.com.br/?p=ComentariosRegistro=52campo_busca=artigo=68>. Acesso em: 10 Nov. 2016
- ABNT NBR NM 26: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro 2001.
- ABNT NBR NM 27: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro 2001.
- ABNT NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro 2001.
- ABNT NBR NM 33: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro 1998.
- ABNT NBR NM 36: Concreto fresco – Separação de agregados grandes por peneiramento. Rio de Janeiro 1998.
- ABNT NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro 2003.
- ABNT NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro 2009.
- ABNT NBR NM 64: Agregado graúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro 2001.
- ABNT NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro 1998.
- ABNT NBR NM 248: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro 2003.
- ABNT NBR 5738: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro 2015.

- ABNT NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro 2007.
- ABNT NBR 7217: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro 1987.
- ABNT NBR 7680: Concreto- Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro 2015.
- ABNT NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro 2015.
- ABNT NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro 2004.
- ABNT NBR 9479: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro 2006.
- ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro 2004.
- ABNT NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2004
- BANTHIA, N.; CHAN, C. Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete. *Concrete International*, v. 22, n. 06, p. 41-45, 2000.
- BARRA, M. Dosagem de concretos com agregados reciclados: aspectos particulares. In: *Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental*, 1997, São Paulo. São Paulo: PCC-USP, 1997, p.39-43.
- BARRA, M.; VASQUEZ, E. Particularidades do processo de carbonatação em concretos de agregado reciclado. In: *Congresso iberoamericano de patologia das construções*, 4., 1997, Porto Alegre. Porto Alegre: UFRGS, 1997, p.217-224.
- 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.
- Cartilha Dicas para Construir sua calçada. Disponível em: <http://acesf.com.br/dados/images/stories/Storage/ippul/calçada_para_todos/dicas_construir_calçada.pdf>. Acesso em: 14 Nov. 2016.
- Cartilha Guia Prático para a Construção de Calçadas. Disponível em: <http://www.creaba.org.br/Imagens/FCKimagens/122009/Guia_Pratico_web_Construcao_de_Calcadas_CREA.pdf>. Acesso em: 16 Nov. 2016.
- CARELI, ÉlcioDuduchi. A resolução CONAMA 307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado) – Curso de Tecnologia, Departamento de Resíduos Sólidos Urbanos, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008. 155 f. Disponível em: <http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/Posgraduacao/Trabalhos/Dissertacoes/DM_elcio-duduchi-careli.pdf>. Acesso em: 12 Out. 2016.

- CASTRO, J. C. Calçadas e acessibilidade. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=32Cod=684>>. Acesso em: 10 Nov. 2016.
- COLLINS, R. J. Recycled aggregate – application and control issues. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 169-175.
- COLLINS, R. J. Up grading the use of recycled aggregates. In: MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION – CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998a, Gavle, Sweden. Proceedings... Gavle: Kickan Fahlstedt, KTH, 1998. Symposium A., 2v. v. 1, p.101-106.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 jul 2002. Brasília, 2002.
- DANTAS, R. C. G. Agregados Reciclados de Resíduos de Concreto - um novo material para dosagens estruturais. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.
- DEVENNY, A.; KHALAF, F. M. The use of crushed brick as coarse aggregate in concrete. *Mansory International*, v. 12, n. 3, p. 81-84, 1999.
- DHIR, R. K.; LIMBACHIYA, M. C.; LEELAWAT, T. Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5328 designated mixes. *Journal of Institution of Civil Engineering, Structures and Buildings*, v. 134, n. 08, p.257-274, 1999.
- DUMET, T. B.; PINHEIRO, L. M. A evolução do concreto: uma viagem no tempo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 42., 2000, Fortaleza. São Paulo: IBRACON, 2000. Artigo: III – D – 001, 16p.
- GÓMEZ-SOBERÓN, J. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate – an experimental study. *Cement and concrete research*, v. 32, p. 1301-1311, 2002.
- GONÇALVES, R. D. C.; MACHADO JUNIOR, E. F.; LIBORIO, J. B. L. Agregados reciclados de resíduos de concreto: um novo material para dosagens estruturais.. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
- HANSEN, T. C.; HEDEGARD, S. Properties of recycled aggregate concretes as affected by admixtures in original concretes. *ACI Materials Journal*, v. 81, n. 1, p. 21-26, 1984.
- HANSEN, T. C.; NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International*, v.5, n. 1, p. 79-83, 1983.
- HANSEN, T.C. Recycled of demolished concrete and masonry. London: Chapman & Hall, 1992. 316p. Parto One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).
- HENDRIKS, C. F.; PIETERSEN, H.S. Concrete: durable, but also sustainable? In: DHIR, R. K.;

- HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998. P. 1-18.
- HENDRIKS, C. H.; PIETERSEN, H. S.; FRAAY, A. F. A. Recycling of building and demolition waste – na integrated approach. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 419-431.
- LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.
- LEVY, S. M. Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos. São Paulo, 1997. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
- LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry. Ln: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brasil. São Paulo: CIB, 2000. 12p.
- LIMA, G. L.; TAMAI, M. T. Programa de gestão diferenciada de resíduos inertes em Santo André: estação entulho. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE
- LIMA, J. A. R. Aggregate obtained from C & D waste recycling. Proposition of specification for use in concrete. CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. São Paulo: CIB, 2000. 6p.
- LIMA, J. A. R. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. São Carlos, 1999. 246p. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LIMA, J. A. R.; SILVA, L. F. e. Utilização e normalização de resíduo de construção reciclado no Brasil. In: Simpósio internacional de qualidade ambiental – Gerenciamento de resíduo e certificação ambiental, 2., 1998, Porto Alegre. Porto Alegre: PUCRS, 1998. p.169-171.
- LIMBACHIYA, M. C.; LEELAWAT, T.; DHIR, R. K. RCA concrete: A study of properties in the fresh state, strength development and durability. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 227-237.
- MONTEIRO, P. J. M. Caracterização da microestrutura do concreto: fases e interfaces; aspectos de durabilidade e de microfissuração. São Paulo, 1993. 138 p. Tese (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- MOREIRA, L.H.H. Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010. (dissertação de mestrado)

- NETO, José da Costa Marques; Gestão dos Resíduos de construção e demolição no Brasil – José da Costa Marques Neto – São Carlos. 2001.
- PENTALLA, V. Concrete and sustainable development. *ACI Materials Journal*, v. 94, n. 5, p. 409-416, 1997.
- PINTO, T. P. De volta a questão do desperdício. *Construção*. São Paulo: PINI, n.2491, p. 18-19, 1995.
- PINTO, T. P. Desperdício em xeque. *Revestimentos*. São Paulo, p. 37-38, dez. 1989/1990.
- PINTO, T. P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In *Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil (Workshop)*, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo, EPUSP//ANTAC, 1996, p. 156-170.
- PINTO, T. P. Resultados da gestão diferenciada. *Téchne*, n. 31, p. 31-34, nov/dez. 1997.
- PINTO, T. P. Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas. São Carlos, 1986. 140p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Arquitetura e Planejamento da Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- PIOVEZAN JÚNIOR, G.T.A. Avaliação dos resíduos de construção civil (RCC) gerados no município de Santa Rosa. Dissertação (Mestrado). 2007, 76p. Universidade Federal de Santa Maria/RS. Santa Maria, 2007.
- POLEZA, M. M. Calçadas Urbanas sob o Enfoque dos Fatores de Fluidez, Conforto e Segurança. 2010, Curitiba. Monografia – Pontifícia Universidade Católica do Paraná p. 19-27.
- POON, C. S. Management and recycling demolition waste in Hong Kong. *Waste Management & Research*, n. 15, p. 561-572, 1997.
- Prefeitura do Município de Londrina . Disponível em: <http://acesf.com.br/dados/images/stories/Storage/ippul/calçada_para_todos/dicas_construir_calçada.pdf>. Acesso em: 15 Set. 2016.
- SAGOE CRENTSIL, K. K.; BROWN, T.; TAYLOR, A. H. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*. v.31, n.5, p.707 712, 2001.
- SCHNEIDER, D. M. Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- ZORDAN, S.E. A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. Campinas, 1997. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil – FEC, Universidade Estadual de Campinas.
- SJOSTROM, C. Durability and sustainable use of building materials. 8p., 1997.