

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

CAROLINA DIAS PREGARDIER

**UTILIZAÇÃO COMBINADA DE RESÍDUO DE CONCRETO E
RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA COMO AGREGADO GRAÚDO
EM CONCRETO**

**Alegrete
2020**

CAROLINA DIAS PREGARDIER

**UTILIZAÇÃO COMBINADA DE RESÍDUO DE CONCRETO E
RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA COMO AGREGADO GRAÚDO
EM CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Fernanda Bianchi Pereira da
Costa

Coorientador: Ederli Marangon

**Alegrete
2020**

CAROLINA DIAS PREGARDIER

**UTILIZAÇÃO COMBINADA DE RESÍDUO DE CONCRETO E
RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA COMO AGREGADO GRAÚDO
EM CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 05, Dezembro de 2020.

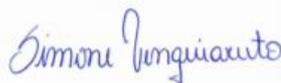
Banca examinadora:



Prof^a. Dra. Fernanda Bianchi Pereira da Costa
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Ederli Marangon
Coorientador
UNIPAMPA



Prof^a. Dra. Simone Dornelles Venquiaruto
UNIPAMPA



Eng. Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde para chegar até aqui e a minha família que sempre me deu apoio e força para nunca desistir, que abdicaram de muitos desejados para sonharem junto comigo.

À minha orientadora, Professora Dra. Fernanda Bianchi Pereira da Costa, pelo apoio e auxílio, em todas as horas. Serei sempre muito grata pela confiança e orientação para tornar esse trabalho possível.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Ederli Marangon, pela orientação, auxílio, e dedicação para a realização desse trabalho.

À banca examinadora, Eng. Me. Marcelo de Jesus Dias Oliveira e Prof^a. Dra. Simone Dornelles Venquiaruto, pelo auxílio e pelas contribuições ao longo do trabalho.

Também, sou imensamente grata pelas minhas amigas de infância, que sempre compreenderam e foram empáticas com minhas inúmeras ausências nesses anos de graduação.

Agradeço aos amigos que fiz nessa trajetória com eles tudo ficou mais leve, aos meus colegas pelo companheirismo das noites de estudos.

RESUMO

Ao decorrer dos anos o mercado consumidor moderniza-se, em uma sagaz busca pelo novo, fazendo assim uma maior exigência ao ramo de construção civil. Para isso as estruturas estão em constantes demolições, reformas e construções, havendo assim uma grande demanda e desperdícios nos materiais de construção. No entanto, muitas vezes, os resíduos não possuem um apropriado descarte, acarretando em danos ao meio ambiente. Exemplos disso, é o consumo demasiado de concreto, onde gera seus Resíduos de Concreto (RC) e os Resíduos gerados pelo consumo de Cerâmica Vermelha (RCV), essa sendo popularmente empregada no Brasil. Desta maneira, uma solução afim de minimizar os problemas causados pelo descarte inadequado de RC e de RCV, propõe-se a sua reutilização na confecção de concretos, possibilitando assim um viés mais sustentável à construção civil, pois oferta-se uma finalidade conveniente aos resíduos. Com isso o procedimento experimental desse trabalho visa analisar a substituição parcial do agregado graúdo convencional por agregado reciclado de RC e RCV nas propriedades mecânicas e de durabilidade um concreto convencional nas seguintes substituições: 100% B1, 75%B1 25%RC, 50%B1 50%RC, 50%B1 40%RC 10%RCV, 50%B1 25%RC 25%RCV. O reaproveitamento do RC e RCV foi realizado através da britagem, fazendo-se o uso de um britador de mandíbula, de material descartados no Laboratório de Materiais e Construção Civil do curso de Engenharia Civil da UNIPAMPA. Através da britagem, foi obtido um material, cuja curva granulométrica foi adaptada conforme requisitos normativos para curva ótima de brita tipo 1. Os ensaios realizados são: absorção de água e índice de vazios, resistência à compressão simples, módulo de elasticidade, resistência à tração por compressão diametral e absorção por capilaridade. Os resultados encontrados indicam uma melhoria na resistência à compressão média quando incorporado cerâmica vermelha, assim como uma diminuição na absorção de água e índice de vazios, devido ao efeito de empacotamento gerado pela quebra de alguns agregados de cerâmica durante o processo de mistura. Por outro lado, quando incorporado apenas resíduo de concreto, esses resultados não foram tão satisfatórios.

Palavras-Chave: Resíduo de Construção e Demolição, Resíduo de Concreto, Resíduo de Cerâmica Vermelha, Substituição, Concreto.

ABSTRACT

Over the years, the consumer market has been modernized, in a sagacious search for the new, thus making the civil construction industry more demanding. For this, the structures are in constant demolition, renovation and construction, thus there is a great demand and waste in construction materials. However, waste is often not properly disposed of, resulting in damage to the environment. Examples of this are the consumption of too much concrete, where it generates its Concrete Waste (CW) and the Waste generated by the consumption of Red Ceramic (RCW), which is popularly used in Brazil. In this way, a solution in order to minimize the problems caused by the improper disposal of CW and RCW, proposes its reuse in the making of concrete, thus enabling a more sustainable bias to civil construction, as it offers an adequate adequate waste. With this, the experimental work procedure aims to correct the partial substitution of conventional coarse aggregate for recycled aggregate of CW and RCW in the mechanical properties and durability of a conventional concrete in the following substitutions: 100% G1, 75% G1 25% CW, 50% G1 50% CW, 50% G1 40% CW 10% RCW, 50% G1 25% CW 25% RCW. The reuse of the CW and RCW was carried out through crushing, using a jaw crusher, of discarded material in the Materials and Civil Construction Laboratory of the Civil Engineering course at UNIPAMPA. Through crushing, a material was added, whose granulometric curve was adapted according to normative requirements for the optimum type 1 crushing curve. The tests performed are: water absorption and voids index, simple compression resistance, elasticity module, tensile strength by diametrical compression and absorption by capillarity. The results found indicate an improvement in the resistance to medium compression when red ceramic is incorporated, as well as a decrease in water absorption and voids index, due to the packaging effect generated by the breaking of some ceramic aggregates during the mixing process. On the other hand, when incorporating only concrete waste, these results were not so satisfactory.

Keywords: Construction and Demolition Waste, Concrete Waste, Red Ceramic Waste, Substitution, Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Variabilidade do RCD.....	18
Figura 2– Hierarquia para gestão de resíduos	21
Figura 3– Ciclo de reciclagem de RCD	24
Figura 4 – Sequência adotada para os procedimentos metodológicos	36
Figura 5 – Processo de obtenção e armazenamento do agregado reciclado.	37
Figura 6 - Fluxograma de ensaios de caracterização dos materiais	38
Figura 8 – Agregados graúdos	41
Figura 9– Resíduo de cerâmica vermelha após abrasão “Los Angeles”	42
Figura 11 – Concretagens 1º etapa.....	46
Figura 12 – Concretagens 2º etapa.....	47
Figura 14 – Ensaio de Slump Test	49
Figura 15– Dimensões dos corpos de prova.....	50
Figura 16– Moldes para os corpos de prova em concreto.	51
Figura 17 – Pratos da máquina de compressão.....	53
Figura 18 – Ensaio de resistência a tração	54
Figura 19 – Corpos de provas submersos em uma lâmina d’água	57
Figura 20 – Visualização da lâmina d’água média – 1º Etapa.....	69
Figura 21 - Visualização da lâmina d’água média – 2º Etapa	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	40
Gráfico 2– Distribuição granulométrica da brita 1.....	43
Gráfico 3 – Resultado final das concretagens	62
Gráfico 4 – Resultados médios de resistência à tração por compressão diametral. .	64
Gráfico 5 – Absorção e índice de vazios	67
Gráfico 6 - Absorção por capilaridade	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Tipos e função de aditivos.....	27
Tabela 2 – Propriedades do concreto influenciadas pelo agregado.....	30
Tabela 3- Comparação das propriedades do concreto com agregados reciclados não contaminantes em relação às do concreto com agregado natural de composição semelhante.....	33
Tabela 4 – Caracterização do agregado miúdo.....	39
Tabela 5– Distribuição granulométrica do agregado miúdo.	39
Tabela 6 - Caracterização dos agregados graúdos.....	41
Tabela 7 – Distribuição granulométrica: Brita 1, RC e RCV	42
Tabela 8– Ensaios químicos, físicos e mecânicos do cimento Portland CP V – ARI	44
Tabela 9 – Composição do concreto.....	45
Tabela 10 – Resultados de adição de aditivo superplastificante	48
Tabela 11– Classe de Consistência	49
Tabela 12- Resultados obtidos no Slump Test.....	49
Tabela 13 – Resistência a compressão – 1ª Etapa.....	59
Tabela 14 - Módulo de elasticidade – 1º Etapa	60
Tabela 15 - Resistência a compressão – 2ª Etapa.....	61
Tabela 16 - Módulo de elasticidade – 2ª Etapa	61
Tabela 17 – Resistência à tração por compressão diametral – 1º Fase.....	63
Tabela 18 – Resistência à tração por compressão diametral – 2º Fase.....	64
Tabela 19 – Índice de vazios.....	65
Tabela 20 - Índice de vazios - 2º Fase	66
Tabela 21 – Resultado de capilaridade – Referência.....	68
Tabela 22 – Resultado de capilaridade – 75% Brita 1 25% RC	68
Tabela 23 – Resultado de capilaridade – 50% Brita 1 50% RC	69
Tabela 24 – Resultado de capilaridade – 50% Brita 1 40% RC 10% RCV.....	70
Tabela 25 -Resultado de capilaridade – 50% Brita 1 25% RC 25% RCV	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3R's - Reduzir, Reciclar e Reutilizar

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Agregado Convencional

AR – Agregado Reciclado de concreto

B1 – Brita 1

cm - centímetros

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Corpo de Prova

CREA – Conselho Nacional de Engenharia

C.V. – Coeficiente de Variação

D.P. – Desvio Padrão

g - gramas

hrs - Horas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPEA – Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada

MPa – Mega Pascal

MPa/s – Mega Pascal / Segundos

NBR – Norma Brasileira

NBR – Norma Brasileira

PGRCC – Projeto de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PMGI – Plano Municipal de Gestão Integrada

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RC – Resíduo de Concreto

RCC – Resíduo de Construção Civil

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

RCV – Resíduo de Cerâmica Vermelha

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SLR – Sistema Logística Reversa

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.1 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa.....	14
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Resíduo de Construção Civil (RCC).....	16
2.1.1 Variabilidade dos Resíduos de Construção Civil	18
2.1.2 Gerenciamento	21
2.1.3 Redução, Reutilização e Reciclagem de RCC.....	24
2.2 Propriedades do concreto	26
2.2.1 Características dos agregados para concreto.....	28
2.2.2 Utilização de agregados reciclados em concreto	31
3 METODOLOGIA	36
3.1 Materiais utilizados	36
3.1.1 Obtenção do agregado graúdo reciclado.....	37
3.1.2 Caracterização dos materiais.....	38
3.1.2.1 Agregado miúdo.....	38
3.1.2.2 Agregados graúdos: convencional, reciclado de concreto e reciclado de cerâmica vermelha	40
3.1.2.3 Cimento	43
3.2 Especificação do traço, procedimento de mistura, substituição, moldagem e cura.....	44
3.2.1 Traço.....	45
3.2.2 Procedimento de mistura e substituição	46
3.2.3 Moldagem e cura do concreto.....	50
3.1 Ensaios.....	51
3.3.1 Resistência à compressão simples e módulo de elasticidade.....	52
3.3.3 Resistência à tração por compressão diametral	53
3.3.4 Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica	55
3.3.5 Determinação da absorção de água por capilaridade.....	57
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	59
4.1 Ensaio de compressão	59
4.2 Ensaio de tração por compressão diametral	63
4.3 Absorção e índice de vazios	65
4.4 Determinação da absorção de água por capilaridade.....	67
5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73

REFERÊNCIAS.....	75
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

De acordo com levantamentos realizados em diversas cidades brasileiras, os resíduos de construção representam cerca de 60% de todos os resíduos sólidos urbanos, ou seja, este valor é muito superior ao do resíduo domiciliar (GAEDE, 2008, p. 12). Além de ser um dado altíssimo, tem-se a preocupação com o descarte desse material, já que muitas vezes é realizado de maneira irregular, afetando logradouros, poluindo afluentes, estimulando problemas respiratórios e promovendo a poluição visual do ambiente.

Tendo em vista esses impasses, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), adotou medidas através da Resolução 307 (BRASIL, 2002), na qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil orientando sobre medidas que devem ser tomadas para a redução, a reutilização e a reciclagem dos resíduos produzidos nos canteiros de obras.

Em 02 de agosto de 2010, a Lei 12.305 ratificou a Resolução 307/2002, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), reunindo o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, visando o gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A partir de conceitos de reciclagem, têm-se que analisar produtos que contenham resíduos de uma maneira que possa competir com o mercado já difundido. Uma solução inteligente para os Resíduos da Construção Civil (RCC), é o seu reaproveitamento em canteiros de obras, pois não haveria o descarte inadequado e nem a necessidade de abundante extração de matéria prima do meio ambiente.

O Resíduo de Construção e Demolição (RCD) possui um grande potencial de aproveitamento, podendo ser utilizados para regularização de terreno para base e sub-base, aproveitamento com agregado miúdo em argamassa em concreto e o aproveitamento com agregado graúdo. Assim, o enfoque dessa pesquisa é o reaproveitamento de Resíduo de Concreto (RC) e o Resíduo de Cerâmica Vermelha como agregado graúdo em concreto convencional, através de substituições parciais, onde haverá inicialmente, apenas a substituição de concreto e após uma análise substituirá o resíduo de cerâmica vermelha, realizando a comparação entre os valores

de mistura e o valor do concreto referência, onde esse contará apenas com o agregado convencional (brita 1).

1.1 Objetivo Geral

Têm se como objetivo geral, analisar o comportamento mecânicos e de durabilidade de um concreto convencional, mediante a substituição combinada de agregado graúdo natural por agregado proveniente de resíduos de construção e demolição.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Verificação da resistência a compressão simples do concreto mediante a substituição parcial do agregado graúdo;
- Verificação do módulo de elasticidade do concreto mediante a substituição parcial do agregado graúdo;
- Verificação da tração por compressão diametral do concreto mediante a substituição parcial do agregado graúdo;
- Verificação da absorção de água por capilaridade do concreto mediante a substituição parcial do agregado graúdo;
- Verificação da absorção e índice de vazios do concreto mediante a substituição parcial do agregado graúdo;
- Comparação de resultados obtidos nas misturas com RCC, com obtidos através de concreto convencional, confeccionado com agregado graúdo natural.

1.2 Justificativa

Entre as atividades com maior impacto sobre o meio ambiente, a construção civil é uma das predominantes. O esforço global para alcançar a sustentabilidade deve incluir o setor da construção e todos os setores associados ao seu ciclo de vida (CSILLAG, 2007, p. 18).

Segundo o relatório de 2018 publicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, restringir o aquecimento global para 1,5°C necessitará de mudanças rápidas, abrangentes e sem precedentes em todos os aspectos da sociedade (IPCC, 2018).

De acordo com John (2000, p. 48-49) a reciclagem é uma das condições para atingir o desenvolvimento sustentável, sob ponto de vista socioeconômico. A reciclagem de resíduos de construção é uma das formas de redução do seu impacto ambiental, um dos maiores na sociedade.

Desta forma, um estudo mais aprofundado sobre utilização de resíduos de construção civil é de tamanha importância. Neste trabalho será realizada a análise das propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto, mediante a substituição do agregado proveniente do Basalto por agregado proveniente de resíduos de concreto e resíduo de cerâmica vermelha.

Assim, visa-se compreender as possíveis substituição de RCD em concreto convencional, analisando se: a substituição afetará o desempenho significativamente? Quanto o concreto com RCD resistirá em relação ao convencional? O módulo de elasticidade será afetado?

A definição das porcentagens de agregado convencional e de agregado reciclado, será realizada após a obtenção dos resultados mecânicos com combinação de agregado convencional e de agregado reciclado de concreto. Dessa maneira, tem-se a possibilidade de determinação de porcentagem ideal de substituição, sem que haja perdas significativas no desempenho mecânico do concreto.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será dissertado tópicos importantes sobre o tema a ser discutido nesse trabalho, onde será realizado a análise da ideia central, tais como a definição de resíduos da construção civil, variabilidade do resíduo da construção civil, seus gerenciamentos, a redução, reutilização e reciclagem de RCC, as propriedades do concreto, características de agregados para concreto e a utilização de agregado reciclado em concreto.

2.1 Resíduo de Construção Civil (RCC)

Dentro da sociedade a função primordial da construção civil é transformar o ambiente natural no ambiente construído, adequado para ao desenvolvimento das mais diversas atividades (JOHN, 2000, p. 16). Entretanto, o processo acelerado de urbanização acarretada uma preocupação global. O volume de resíduos gerados pela construção civil e sua gestão inadequada é um problema agravante, pois esse, além de poluir o meio ambiente, também usufrui dele de maneira demasiada.

No entanto, de acordo com Gehrke (2012, p. 23) os espaços urbanos não toleram mais soluções emergenciais e não preventivas para impactos causados por resíduos da construção civil. A insustentabilidade da gestão corretiva e a ausência de gerenciamento, em todo o processo gerador de RCC, apontam a necessidade de novas políticas, estruturadas em estratégias sustentáveis e integradas com a administração municipal e a sociedade civil (SILVA, 2007 p. 56).

Atualmente no Brasil, a produção e disposição final dos entulhos tornam-se um dos principais problemas para governos municipais. Aspectos como constantes aumentos nos custos de limpeza pública, degradação de ambientes e esgotamento de áreas de descarte tem levado poder público, sociedade, mas principalmente, pesquisadores da área, refletirem sobre possíveis alternativas de gestão (MAEQUES NETO, 2010, p. 2).

De acordo com Barros (2012, p. 1)., existe uma incompreensão em relação ao termo “resíduos”, pois esses são costumeiramente designados com lixo, no qual não

há a possibilidade de reaproveitamento, reutilização ou reciclagem. Resíduo corresponde a qualquer substância ou material, que ganhou o acréscimo do adjetivo sólido, afim de diferenciar os resíduos sólidos dos líquidos (MARQUES NETO, 2005, p.49).

Corroborando com isso, Fernandes (2013, p. 27) ressalta que o RCC, por estar comumente inserido dentro dos limites urbanos, vem sendo abordado erroneamente com RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) nas municipalidades.

Conforme a análise de estudo realizada por Christófori *et al.* (2016, p.636), o resíduo de construção civil possui geralmente um alto potencial de reciclagem, e pode ser reaproveitado, reutilizado ou reciclado como forma de minimizar os nocivos impactos ambientais. Conforme menciona a Lei nº 12.305/2010, o termo resíduo sólido é designado como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final procede-se, nos estados sólido ou semissólido (BRASIL, 2010).

A Resolução nº 307 do CONAMA define que: (BRASIL, 2002)

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.

Considerando que RCC's apresentam um elevado potencial de reciclagem e a baixa periculosidade, não reaproveitá-los significa perder uma grande alternativa de materiais que possa competir no mercado atual. Sabe-se que o uso de RCC como material alternativo pode contribuir para reduzir a retirada de matéria prima de fontes não renováveis e minorar os gastos e impactos associados a extração de agregados naturais (CARNEIRO, 2001 *apud.* FERNANDES, 2013 p. 21)

Além de danos ambientais, o resíduo da construção pode afetar nos custos de uma obra. Segundo Zanna (2014, p.18-19), até recentemente a falta de legislação

severa acarretava em descartes sem critérios e custos desprezados tornando-se um ônus de toda a sociedade, devido ao impacto ambiental e aos custos reais do descarte inadequado de RCC.

2.1.1 Variabilidade dos Resíduos de Construção Civil

Um dos grandes desafios quanto a utilização do RCC é sua grande variabilidade (Figura 1), uma vez que o seu controle está sujeito a intensas variações. Tais variabilidades dão-se segundo a região geradora e quanto ao clima local. Como exemplo, Carneiro (2001 *apud*. FERNANDES, 2013 p. 27) declara que em países desenvolvidos as construções prediais geram muito plástico e papel devido as embalagens dos materiais, já em países em desenvolvimento, há resíduos provenientes das etapas construtivas (como concreto, blocos, argamassa, azulejo, tijolos, etc.) muitas vezes em decorrência das altas perdas durante o processo construtivo.

Figura 1- Variabilidade do RCD



Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Resolução nº307 proposta pelo CONAMA (BRASIL, 2002) definiu-se quatro tipos de classificação dos resíduos, são essas:

I - Classe A

- De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

II - Classe B

- São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; Redação dada pela Resolução nº 469 (BRASIL, 2015).

III - Classe C

- São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; Redação dada pela Resolução nº 431 (BRASIL, 2011).

IV - Classe D

- São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. Redação dada pela Resolução nº 348 (BRASIL, 2004).

Os resíduos sólidos provenientes de canteiros de obras, em geral, resíduos classe A e classe B, segundo a classificação proposta pelo CONAMA nº 307, são os resíduos com possibilidades de serem absorvidos por processos de reciclagem (BRASIL, 2002). Resíduos provenientes da classe B, ou seja, papel, papelão, metal, plástico,

entre outros, podem ser absorvidos por processos de reciclagem por indústrias externas à construção civil. Já os resíduos classe A (maior porção) podem ser absorvidos pela cadeia principal da construção. Estes, quando reciclados, podem servir na execução de bases e sub-bases de pavimentação, na confecção de blocos para vedação, entre outros (BLUMENSCHNEIN, 2007, p 14).

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos de acordo com seus potenciais de poluição ao meio ambiente e a saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Essa classificação estabelece que:

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

O resíduo gerado na construção civil é formado por concreto e argamassa, denominados popularmente como “resíduos cinza” (ARAÚJO *et. al*, 2016, p. 21). Também faz parte da formação de resíduo de construção civil o resíduo de cerâmica vermelha (RCV). O setor cerâmico equivale a 1,0 % do PIB brasileiro, sendo que só a cerâmica vermelha estrutural representa cerca de 40% desse valor e 4,8% da indústria da construção civil (IBGE 2008 *apud*. POSSA; ANTUNES, 2016, p. 3).

Uma pesquisa realizada pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) em 2006, na cidade de Criciúma, mostra que quebras de tijolos são muito significativas tanto na fase de assentamento como na fase de instalação hidrossanitário de uma construção. A quebra se dá no manuseio, no transporte, na alocação em locais inapropriados e no corte do mesmo, feito na maioria das vezes sem nenhum procedimento adequado. (POSSA; ANTUNES, 2016, p. 149).

Segundo Araújo *et al*. (2016, p. 18), há várias aplicações, distintas conveniências e proveitos para o RCD, e quando o processo é eficiente, pode ser amplamente aplicado a construção civil. Porém, ainda não existem normativas ou legalidades adequadas que trazem a homogeneidade dos agregados reciclados, nem da sua absorção no mercado. Para a utilização, necessita-se de um controle de qualidade com finalidade de diminuir-se a variabilidade e de aumentar a qualidade e a credibilidade do produto (ANGULO, 2005 p. 23). Assim, as normativas nacionais

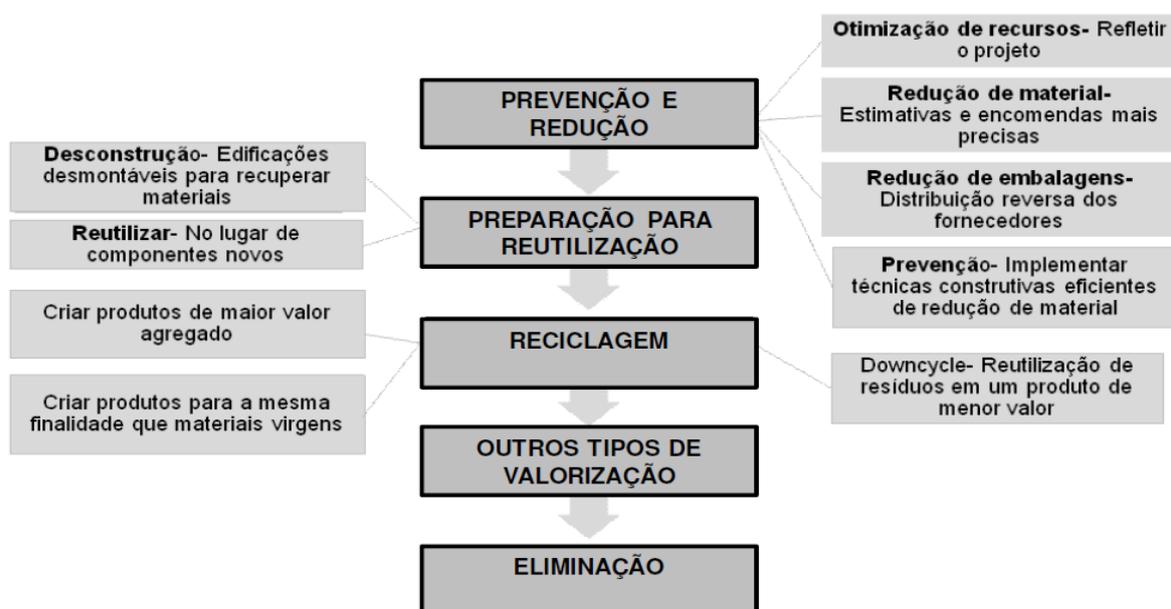
concedem o uso dos agregados reciclados apenas em concretos de baixa resistência e responsabilidade (ARAÚJO *et al.* 2016, p. 18).

Quanto melhor selecionados forem os resíduos, maiores serão as chances de produzir um agregado de qualidade, segundo BLUMENSCHHEIN (2007, p. 14). Os resíduos classe A, por exemplo, uma vez processados podem produzir agregados com potencial de substituição do cascalho, brita e areia. Por esse motivo não devem estar misturados a resíduos orgânicos, gesso e outras substâncias que possam influenciar suas propriedades, afetando seu desempenho como agregado.

2.1.2 Gerenciamento

Conforme a Resolução 307 proposta pelo CONAMA (BRASIL, 2002) o gerenciamento de resíduos é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, com um planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em projetos. Na Figura 2, pode-se analisar a hierarquia para a gestão de resíduos sólidos.

Figura 2- Hierarquia para gestão de resíduos



Fonte: Adaptado de KIBERT *et al.* apud. Gehrke (2012, p. 33)

Considerando a necessidade por implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil, a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), a qual apresenta como principais propostas diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil, estabelece prazos para que as prefeituras municipais e pelo Distrito Federal, em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

Entretanto, para um bom gerenciamento de resíduos, o decreto 7.404/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, torna-se um auxílio para o cumprimento da Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12.305 (BRASIL, 2010) onde os geradores de resíduos são os responsáveis pela designação adequada desse. Fernandes (2013, p. 48), salienta que ocorrem meios motivacionais usados em outros países para o cumprimento do SLR, destacam-se a cobrança de altas taxas de deposição nos aterros e a responsabilização do fabricante pelo resíduo gerado por seu produto.

Segundo Pinto (2005, p. 9), as soluções para a gestão dos RCC devem integrar a atuação dos órgãos públicos municipais, geradores de resíduos e transportadores.

Com a normalização ambiental, não é mais possível o descartar resíduos de forma indiscriminada, deve-se dar aos mesmos uma destinação final adequada ou, sempre que possível, buscar a sua reutilização (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Para a Resolução nº 307 (BRASIL 2002), gerenciamento de resíduos sólidos é o conjunto de ações exercidas, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, sendo direto ou indiretamente, de acordo com PMGI ou com PGRS, exigidos na forma da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010).

O CONAMA, também determina que os RCC não deverão ser assentados em aterros de RSU, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei (BRASIL, 2002).

Araújo *et al.* (2016, p.17), comenta que o custo e a falta de locais adequados para descarte de materiais são fatores que deveriam despertar interesse nas empresas em promover e patrocinar pesquisas em reciclagem de RCD.

Morais (2006, p. 39), enfatiza que o descarte inadequado do RCC é um dos maiores problemas na gestão dos municípios, pois esse ocasiona impactos significativos no meio ambiente urbano, comprometendo a paisagem, o tráfego, a drenagem urbana, além de atrair resíduos não inertes que contribuem para a multiplicação de vetores de doenças.

Segundo as normas vigentes, as empresas devem prezar pela minimização de impactos como geração de poeira, ruído, drenagem, impermeabilização entre outros causados pelo processamento dos resíduos, circulação de carroceiros, caçambeiros e outros transportadores. Também, de acordo com elas é fundamental o licenciamento ambiental dos empreendimentos, no qual são requisitos os estudos de minimização dos impactos na área de entorno, a proteção das águas superficiais e subterrâneas, a anuência da população vizinha, o obedecendo às leis ambientais e de uso e ocupação do solo (QUADROS, 2014, p.4).

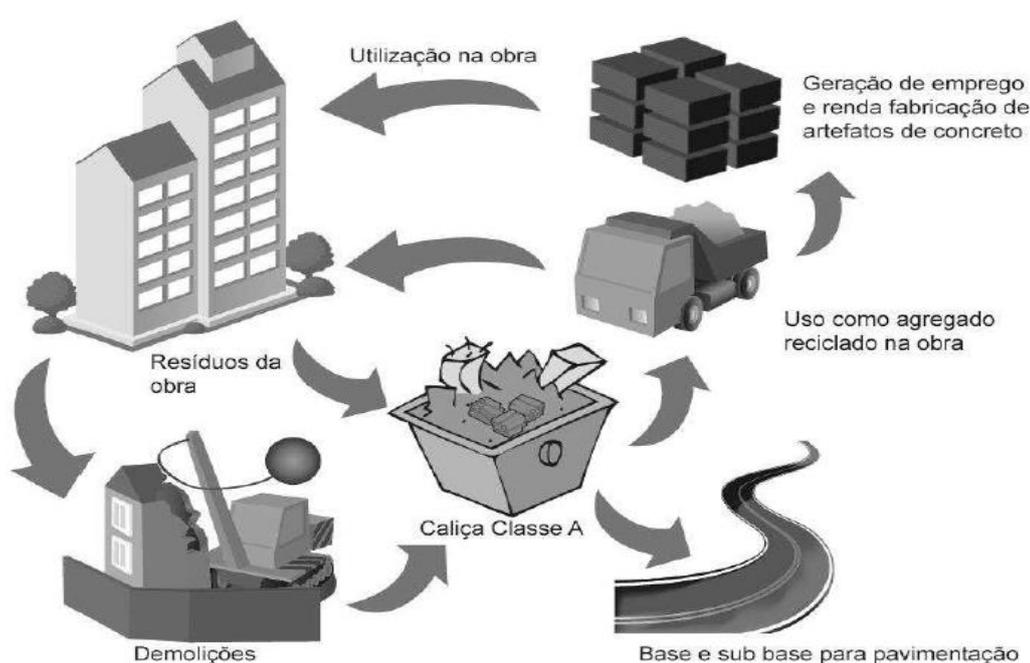
Os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados das seguintes formas, CONAMA, Resolução nº 307 (BRASIL, 2002)

- Classe A: Deverá ser reutilizado ou reciclado na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos posterior. Redação dada pela Resolução nº 448 (BRASIL, 2012);
- Classe B: Deverá ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- Classe C: Deverá ser armazenado, transportado e destinado em conformidade com as normas técnicas específicas;
- Classe D: Deverá ser armazenado, transportado e destinado em conformidade com as normas técnicas específicas. Redação dada pela Resolução nº 448 (BRASIL, 2012).

2.1.3 Redução, Reutilização e Reciclagem de RCC

A estratégia dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), procura tratar os materiais de acordo com suas particularidades, enquanto que técnicas, como o aterramento, consideram os RCC como uma massa uniforme, que é tratada em conjunto (MILANEZ, 2002, p. 21). Na Figura 3 é possível observar um ciclo de reciclagem de RCD.

Figura 3– Ciclo de reciclagem de RCD



Fonte: BIGOLIN (2013, p. 37)

John (2000, p. 16) afirma que nenhuma sociedade conseguirá atingir o desenvolvimento sustentável sem que o setor da construção civil passe por profundas transformações, através de uma reeducação sobre o inadequado descarte.

Na classificação de resíduos gerados pela construção civil, estão nos primeiros lugares as cerâmicas e tijolos, argamassas, concretos e gesso. Numerosos estudos, qualificam os principais resíduos gerados como sendo de alto potencial reciclável. (QUADROS, 2014, p. 17).

Segundo o CONAMA na Resolução nº 307 (BRASIL, 2002) a reutilização nada mais é que o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo

e a reciclagem sendo o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.

A Resolução citada anteriormente, também ratifica a ideia que deve haver o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo, as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos, as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação, estando isso abrangido no Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (BRASIL, 2002).

Segundo Grigoli (2000, *apud*. MARQUES NETO, 2005 p. 51-52), na fase executiva de algumas obras, há a possibilidade de fazer uso de matérias reciclados, na forma de argamassa, concreto, assentamentos de pedaços de blocos cerâmicos e outros. Podendo ser utilizada em:

- Assentamentos de batentes, de contramarcos e esquadrias metálicas e de blocos cerâmicos;
- Enchimento de rasgos em paredes, de rebocos internos e de degraus de escadas;
- Chumbamentos de tubulações hidráulicas, de tubulações elétricas e de caixas elétricas;
- Execução de shafts para passagem de tubulações;
- Contrapiso interno de unidades habitacionais;
- Concreto de pisos para abrigos de automóveis leves;
- Drenos de floreiras e de escoamento de água da chuva;
- Estaqueamento de fundações de muros com pequenas cargas;
- Vigas e Pilares de concreto com baixa solicitações;
- Contrapiso e enchimento de casas de máquinas e áreas comuns de tráfego.

2.2 Propriedades do concreto

O concreto com cimento Portland é definido pela NBR 12655 (ABNT, 2006) como:

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). Para os efeitos desta Norma, o termo “concreto” se refere sempre a “concreto de cimento Portland”

Atualmente, têm-se a possibilidade de inúmeros tipos de concretos (Concreto de alto desempenho, permeável, reciclado, autoadensável, etc.), porém, todos produzidos a partir do conceito básico (cimento, água e agregados), sendo apenas diferenciados por inserção de fibras, pigmentos, aditivos, entre outros, afim de atingir a propriedade físicas, mecânicas e durabilidade requeridas para o concreto (HELENE; ANDRADE, 2010, p. 920).

Segundo Pinheiro (2007, p. 3), após o endurecimento do concreto, esse apresenta um comportamento frágil, isso é rompe com pequenas deformações, uma boa resistência à compressão e baixa resistência à tração, essa sua insuficiência em relação à tração pode ser trabalhada através da inserção de armaduras.

Quanto a sua massa e específica pode ser dividido em três categorias, segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), sendo essas:

- Concreto Leve: concreto endurecido que, quando seco em estufa, apresenta massa específica não menor que 800 kg/m³, mas que não excede 2 000 kg/m³;
- Concreto Normal: concreto endurecido que, quando seco em estufa, apresenta massa específica maior do que 2 000 kg/m³, mas não excede 2 800 kg/m³;
- Concreto Pesado: Concreto endurecido que, quando seco em estufa, apresenta massa específica maior do que 2 800 kg/m³.

Segundo a NBR 12655, o concreto deve apresentar como principais propriedades mecânicas: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidades. Todas essas determinadas a partir de ensaios específicos. A resistência de um concreto depende de vários fatores, entre eles: (ABNT, 2015)

- Caracterização dos materiais componentes do concreto;
- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço de concreto;
- Elaboração do concreto.

A ASTM C 125 define aditivo (ou adição) como sendo qualquer material que não seja água, agregado, cimentos hidráulicos ou fibras, usado como ingrediente de concreto ou argamassa e são adicionados a massa imediatamente antes ou durante a mistura (MEHTA e MONTEIRO, 2008, p. 289).

Mehta e Monteiro (2008, p. 289) também evidenciam que há 20 finalidades importantes para as quais esses materiais são usados, sendo essas: aumento da plasticidade do concreto sem aumentar o consumo de água, reduzir a exsudação e a segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, acelerar as taxas de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, redução das taxas de evolução do aquecimento e aumentar a durabilidade do concreto em condições específicas de exposição. Na Tabela 1 está demonstrado os tipos de aditivos e suas funções.

Tabela 1– Tipos e função de aditivos

TIPO	FUNÇÃO
Tipo P	Aditivo plastificante
Tipo R	Aditivo retardador
Tipo A	Aditivo acelerador
Tipo PR	Aditivo plastificante retardador
Tipo PA	Aditivo plastificante acelerador
Tipo IAR	Aditivo incorporador de ar
Tipo SP	Aditivo superplastificante
Tipo SPR	Aditivo superplastificante retardador
Tipo SPA	Aditivo superplastificante acelerador

Fonte: Adaptada NBR 11768 (ABNT, 2011).

2.2.1 Características dos agregados para concreto

A definição do agregado é determinante nas propriedades do concreto, isso ocorre pela sua taxa de ocupação é de até 75% do volume total do concreto, tornando-se algo vantajoso, já que o agregado é economicamente mais barato que o cimento. (NEVILLE e BROOKS, 2013, p.41 *apud* ZORTEA, 2014).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) corrobora com a definição de agregados, estabelecendo que esse é um material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o preparo de argamassa e concreto.

Agregado leve pode-se definir como de baixa massa específica, menor ou igual à 1800 kg/m^3 e agregados pesados (densos) com massa específica, maior ou igual a 3000 kg/m^3 (NBR 12655 ABNT, 2015).

A NBR 7211 (ABNT, 2009), define características exigíveis para a designação de agregado graúdo e miúdo, são essas:

- Agregado miúdo: cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira 0,075mm em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR 3310-1 (ABNT, 2010);
- Agregado graúdo: cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR 3310-1 (ABNT, 2010).

Conforme Metha e Monteiro (2008, p. 259) as características relevantes do agregado para a composição do concreto incluem: distribuição granulométrica, porosidade, forma e textura superficial, resistência a compressão, absorção de água, módulo de elasticidade e composição mineralógica da rocha fonte, condições de exposição em que a rocha foi submetida antes de produzir o agregado e do tipo de equipamento utilizado para a produção.

Metha e Monteiro (2008, p. 274) também definem as características dos agregados e suas importâncias. Pois, geralmente, as características dos agregados

além de afetarem a dosagem do concreto, também afetam esse no estado fresco e no estado endurecido.

A seguir, Metha e Monteiro (2008 p. 275-284) definiram as propriedades dos agregados e sua influência no desenvolvimento do concreto.

- Massa específica e Massa unitária: para a dosagem do concreto é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas. A massa unitária surge devido a impossibilidade do empacotamento das partículas do agregado juntas, de maneira que não deixe espaço vazio entre elas.
- Absorção e Umidade superficial: os dados quanto essas duas propriedades são necessários para corrigir as proporções de água e de agregado da mistura de concreto produzidas a partir de materiais estocados.
- Resistência a compressão, Resistência á abrasão e Módulo de elasticidade: Essas propriedades são inter-relacionadas e são altamente influenciadas pela porosidade, Agregados de origem natural são, geralmente, densos e resistentes, portanto, são raramente considerados um fator limitante da resistência e das propriedades elásticas do concreto.
- Sanidade: Um agregado é considerado instável quando a variação volumétrica no agregado, induzidas por intemperismo resultam na deterioração do concreto.
- Dimensões máximas e Composição granulométrica: É a distribuição de dimensões das partículas de um material granular, entre várias faixas granulométricas, normalmente, expressas em termos de porcentagem acumulada maior ou menor do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras, ou da porcentagem de entre certa faixa de aberturas de uma série de peneiras. O motivo mais importante para analisarmos essa propriedade é devido a sua influência na trabalhabilidade do concreto e a ao custo desse. Agregados de granulometria contínua, produzem misturas mais trabalháveis e econômicas.

- Forma e Textura superficial: Essas possuem maior influência no estado fresco do concreto do que no estado endurecido. Comparada as partículas lisas e arredondadas, as partículas de texturas ásperas, angulosas e alongadas, possuem uma exigência maior de pasta de cimento para produzir misturas de concreto trabalháveis e, portanto, um custo mais elevado.
- Substâncias Deletérias: Essas aparecem como componentes minoritários tanto para o agregado miúdo quanto para o graúdo, porém podem afetar adversamente a trabalhabilidade, a pega e o endurecimento e as características de durabilidade do concreto.

A seguir, na Tabela 2, têm-se representado as propriedades do concreto influenciadas pelo agregado.

Tabela 2 – Propriedades do concreto influenciadas pelo agregado

Propriedades do concreto	Características relevantes do agregado
Resistência mecânica	Resistência mecânica
	Textura superficial
	Limpeza
	Forma dos grãos
	Dimensão Máxima
Retração	Módulo de elasticidade
	Forma dos grãos
	Textura superficial
	Limpeza
	Dimensão Máxima
Massa Unitária	Massa específica
	Forma dos grãos
	Granulometria
	Dimensão Máxima
Resistência a derrapagem	Tendência de polimento
Economia	Forma dos grãos
	Granulometria
	Dimensão Máxima
	Beneficiamento requerido
	Disponibilidade

Fonte: Sbrighi Neto (1999) apud. Valverde (2001, p. 3).

2.2.2 Utilização de agregados reciclados em concreto

A utilização de material reciclado permite que as jazidas não sejam exploradas desnecessariamente, diminuindo o impacto ambiental das extrações. (Martinez-Molina *et al.*, 2015, p. 241).

Brito Filho (1999 *apud.* CORDEIRO *et al.* 2017, p. 255) considera que os materiais gerados e descartados pelas obras de construção civil são verdadeiras jazidas de matérias-primas a serem exploradas. Muitos estudos demonstram que o agregado reciclado pode ser utilizado em concretos, argamassas, pré-moldados, entre outros (LEITE, 2001; CABRAL, 2007; LOVATO, 2007 *apud.* CORDEIRO *et al.* 2017, p. 255).

A falta de padronização com relação à caracterização do material e a dificuldade de controle de produção são empecilhos que dificultam o maior emprego desse material. Com isso a NBR 9935 (ABNT, 2011) definiu que os agregados reciclados de resíduos da construção civil é o material obtido de processo de beneficiamento de resíduos de construção ou demolição da construção civil, que já foram separados por triagem e pertencentes à classe 'A' (de construção, demolição, reformas e reparos, de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto) (ZORTEA, 2014).

Para a caracterização dos agregados reciclados, alguns métodos podem ser utilizados, tais como: análise química, mineralógica, termogravimétrica, granulométrica, separação por densidade empregando líquidos densos, determinação da massa específica aparente e da absorção de água (ANGULO, 2005, p. 7).

Dentre as propriedades citadas, as que mais apresentam relevância na influência da resistência do concreto são a massa específica e a absorção de água. Já que estudos anteriores provaram que a separação por densidade é uma técnica eficiente para separar os agregados reciclados em subgrupos de diferentes porosidades, obtendo-se concreto com diferentes comportamentos mecânicos e absorção de água similar. (ANGULO, 2005, p. 7)

Esses estudos indicam que há uma densidade mínima em torno de 2,2 a 2,3 kg/dm³. Logo, a partir desse limite, os agregados reciclados possuem teores elevados de rochas e teores baixos de cerâmica vermelha, ocasionando comportamento

mecânico semelhante ao dos concretos com agregados naturais (ANGULO, 2005, p. 7).

Carrijo (2005, p. 22) analisou a influência da massa específica dos agregados reciclados no comportamento mecânico e nas propriedades físicas do concreto estrutural. Através de diferentes faixas de separação de densidade, obteve-se agregados reciclados de comportamento mais homogêneo para poder possibilitar a utilização dos agregados em situações de maior controle.

A utilização do RCD como agregado no concreto torna-se viável contanto que suas características físicas sejam pré-determinadas, em como a sua atuação em meio a outros materiais, como a pasta cimento do concreto. (ZORTEA, 2014, p. 34).

De acordo com Cabral (2007, p. 114) de maneira geral, os concretos provenientes de agregados reciclados apresentam uma trabalhabilidade inferior, comparados aos que a dos concretos com agregados natural, para uma mesma relação teor de materiais secos/pasta. Isso ocorre devido à maior absorção dos agregados reciclados, tornando-se a mistura mais seca e, conseqüentemente, com uma trabalhabilidade inferior. Outro motivo relevante seria devido aos processos de britagem e moagem, os agregados reciclados tornam-se mais angulares, com uma razão superfície/volume maior que a dos conhecidos agregados naturais, que são mais esféricos e de superfície mais lisa.

Cabral (2007, p. 104) também enfatiza que as características físicas, químicas e mecânicas dos agregados reciclados dependem de uma série de fatores, como a composição do resíduo e o tipo de equipamento utilizado para britar o mesmo, entretanto, de uma maneira geral, os agregados reciclados são mais porosos, menos densos e considerados mais fracos que os agregados naturais.

Zortea (2014, p. 35) afirma que o desempenho final do concreto torna-se satisfatório já que há uma melhor aderência do agregado e a pasta, também, proporciona um melhor fechamento dos poros por cristas de hidratação, permitindo-se uma melhor união com o concreto, resultando em um bloco heterogêneo mais consolidado.

Segundo Metha e Monteiro (2008, p. 270) agregados graúdos provenientes de RCD, estão sendo utilizados com sucesso, apesar de cobertos de pasta de cimento. Revisões de estudos anteriores indicaram que, comparadas as dosagens de concreto reciclado com a dosagem de concreto natural, as de concreto reciclados em geral

apresentam no mínimo dois terços da resistência a compressão e módulo de elasticidade e apresentam satisfatórios valores de trabalhabilidade e de durabilidade.

Na Tabela 3 pode-se identificar comparações entre a utilização de agregado reciclado e agregado convencional no concreto.

Tabela 3- Comparação das propriedades do concreto com agregados reciclados não contaminantes em relação às do concreto com agregado natural de composição semelhante.

Comparação das propriedades do concreto com agregados reciclados não contaminantes em relação às do concreto com agregado natural de composição semelhante	
Resistência de aderência agregado-argamassa:	
Agregado graúdo (principalmente: pedregulhos de concreto antigo)	Comparável à de controle
Agregado miúdo (principalmente: argamassa de concreto antigo)	55% daquela de controle
Resistência a compressão	64-100% daquela de controle
Módulo de elasticidade estático na compressão	60-100% daquela de controle
Resistência à flexão	80-100% daquela de controle
Resistência ao congelamento-degelo	Comparável à de controle
Coeficiente linear de expansão térmica	Comparável ao de controle
Varição de comprimento de corpos de prova de concreto (armazenados por 28 dias a 90% de umidade relativa e 23°C)	Comparável às de controle
Abatimento pelo tronco de cone	Comparável ao de controle

Fonte: Frondistou – Yannas, S.A., Progress in Concrete Technology, V.M. Malhotra, ed. CANMET, Ottawa, p. 672, 1980, *apud*. Metha e Monteiro (2018, p. 271).

Também, de acordo com Metha e Monteiro (2008, p. 270) o principal desafio na utilização do agregado reciclado é o seu custo de britagem, graduação, controle do pó e separação dos constituintes indesejados.

Cabral et al. (2008, p 182-195) estudou a influência do tipo de agregado reciclado de RCD sobre o módulo de deformação de concreto produzidos com agregados reciclados, esse utilizou-se de agregados reciclados de concreto, argamassa e de cerâmica vermelha e uma relação água/cimento entre 0,4 e 0,8.

Cabral et al. (2008, p 182-195) esse executou 128 traços e analisou-se rigorosamente a massa unitária do agregado reciclado, o objetivo da determinação da

massa unitária foi descobrir qual dos agregados utilizados gerava um melhor empacotamento, ou seja, qual se distribuía melhor, deixando o mínimo de vazios em um determinado volume. Primeiramente foi feita uma compensação do volume dos agregados reciclados a serem utilizados nos traços pré-determinados, já que a simples substituição da massa do agregado natural pela massa do agregado reciclado iria resultar traços com volumes maiores de agregados reciclados, uma vez que a massa específica dos agregados reciclados é menor que a massa específica dos agregados naturais, demandando assim mais água e cimento para produzir traços equivalentes ao traço de referência.

Também Cabral et al. (2008, p 182-195) determinou-se qual seria a massa de água que seria adicionada antes das concretagens aos agregados reciclados para que estes a absorvessem, evitando assim que uma grande parte da água de amassamento fosse absorvida pelos agregados, o que perturbaria o processo e hidratação. Os resultados obtidos foram de concretos com RCD apresentaram módulos de deformação inferiores aos do concreto produzido com agregados naturais. E agregados graúdos reciclados exercem uma maior influência sobre o módulo de deformação que os agregados miúdos reciclados. O agregado de RCV exerceu a maior influência sobre o módulo de deformação do concreto com ele confeccionado.

Araújo et al. (2016, p. 16-34) realizou substituições de agregados graúdos com os seguintes teores: 0%, 19%, 43%, 75%, 100%. Fez-se o uso de um aditivo superplastificante para melhorar a trabalhabilidade da mistura. Para o traço de referência, o volume de aditivo, em relação à massa de cimento, foi de 0,35%, enquanto no traço com 100% de substituição, esse volume chegou a 1,2%.

Além disso Araújo et al. (2016, p. 16-34) realizou um tratamento mecânico do agregado reciclado, afim de obter-se um material de melhor qualidade. Esse utilizou-se do aparelho abrasão "Los Angeles" de maneira que realiza-se a limpeza superficial do agregado dos agregados graúdos naturais que compõem o agregado reciclado. Assim, o agregado reciclado resultou em uma recuperação de cerca de 53% de agregados de melhor qualidade, e apresentavam maior massa específica e menor absorção que os agregados convencionais, resultando em um menor consumo de aditivo quando comparado aos traços com agregado reciclado bruto. Porém, após o

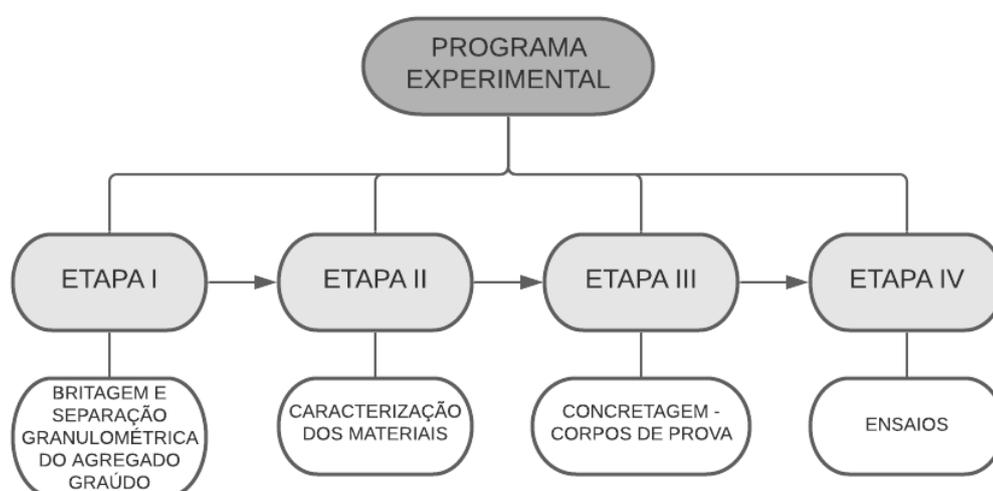
tratamento, eles apresentavam uma composição granulométrica próxima de uma Brita 0 e havendo uma deficiência de distribuição entre os grãos.

Segundo Araújo *et al.* (2016, p. 16-34) é possível a substituição de até 100% do agregado natural pelo reciclado, sem que prejudique a resistência mecânica do concreto e com redução de apenas 12% no módulo de elasticidade, assim há possibilidade de utilizar-se em concretos com fins estruturais.

3 METODOLOGIA

No capítulo 3 está descrito de forma detalhada as etapas desenvolvidas para a concretização da pesquisa. Primeiramente, são apresentados a obtenção e os materiais utilizados para a sua execução. Em seguida, os ensaios de caracterização adotados, apresentando também as etapas de dosagem, mistura, moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto e por fim os ensaios mecânicos. Explica-se de que maneira ocorre a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de concreto e o reciclado de cerâmica vermelha. Os ensaios de caracterização dos materiais e confecção dos corpos de prova, foram realizados no Laboratório de Construção Civil da UNIPAMPA situado em Alegrete/RS. A Figura 4 esquematiza a subdivisão proposta no trabalho, explicada nos itens subsequentes.

Figura 4 – Sequência adotada para os procedimentos metodológicos



Fonte: Elaboração própria.

3.1 Materiais utilizados

Nesse subcapítulo são descritos os ensaios realizados para a caracterização do material seguindo as normas técnicas correspondentes.

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova de concreto são:

- Agregado miúdo natural (areia);
- Agregado graúdo natural (brita de origem basáltica tipo 1);

- Agregado reciclado de concreto;
- Agregado reciclado de cerâmica vermelha;
- Aditivo Superplastificante;
- Água proveniente da rede pública;
- Cimento Portland CP V.

3.1.1 Obtenção do agregado graúdo reciclado

Os agregados reciclados de concreto foram obtidos através de corpos de provas e os agregados reciclados da cerâmica vermelha através da quebra de blocos cerâmicos, ambos descartados no Laboratório de construção civil.

Para a obtenção dos agregados reciclados ocorreu o processo de britagem realizado pelo britador mandíbula ocorreu a separação granulométrica através do agitador mecânico e peneiramento. Assim foi obtido diversas faixas granulométricas, onde essas foram armazenadas separadamente em tonéis. Esse processo está apresentado através da Figura 5.

Figura 5 – Processo de obtenção e armazenamento do agregado reciclado.



(a) Britador mandíbula



(b) Agitador mecânico

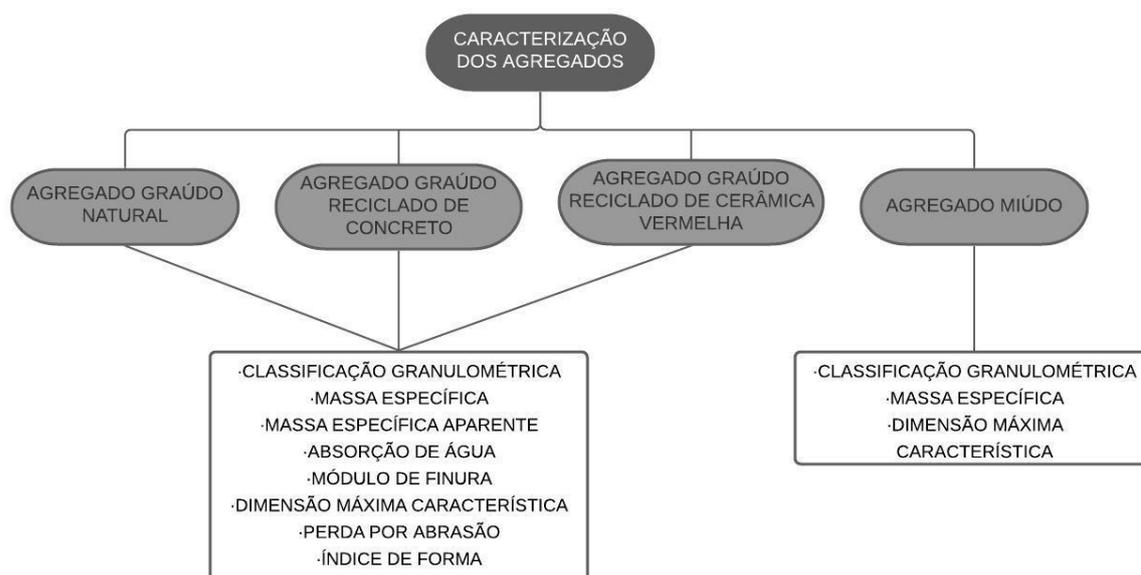


(c) Armazenamento

3.1.2 Caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização dos materiais referente aos agregados estão apresentados no diagrama da Figura 6, respeitando suas respectivas NBR's. Para os agregados graúdos realizou-se ensaios mais aprofundados já que esse é o principal eixo do trabalho. Os ensaios realizados para a caracterização do agregado miúdo também estão presentes no fluxograma. Já para o cimento Portland CP V ARI os ensaios já estão pré-determinados pelo próprio fabricante do material.

Figura 6 - Fluxo grama de ensaios de caracterização dos materiais



Fonte: Elaboração própria

3.1.2.1 Agregado miúdo

A areia natural utilizada é proveniente de Manoel Viana/RS onde essa atende os requisitos da NBR 7211/09 (ABNT, 2009). Na Tabela 4, está representado a caracterização do material utilizado, assim como a NBR regente.

Tabela 4 – Caracterização do agregado miúdo

TABELA DE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL		
Massa específica (γ)	2,69 g/cm³	NBR 9776 (ABNT, 1988)
Módulo de finura	2,06	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Dimensão máxima característica	4,75 mm	NBR 7211 (ABNT, 2009)

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 5 encontra-se a distribuição granulométrica do agregado miúdo a qual é regida pela NBR 72211 (ABNT, 2009) e seus limites granulométricos regidos pela NBR 248 (ABNT, 2003).

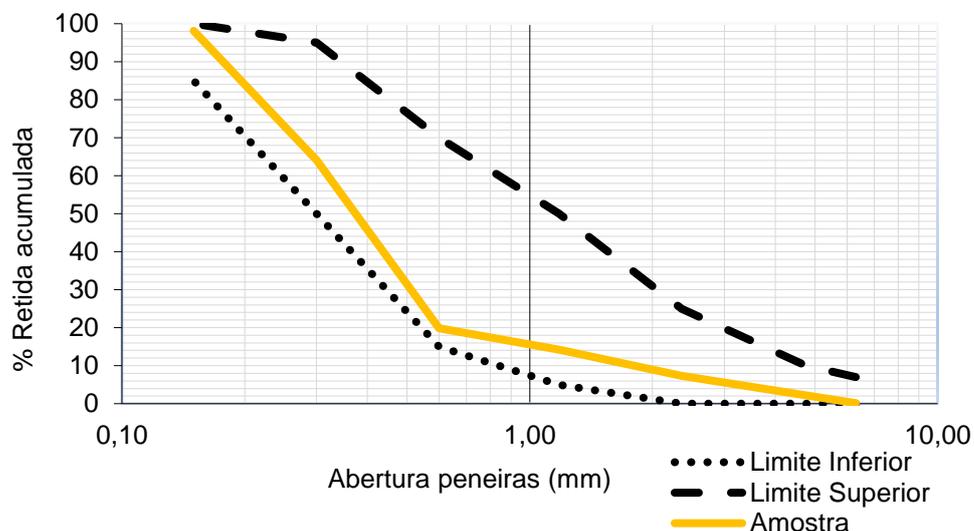
Tabela 5– Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA AGREGADO MIÚDO			
Peneira (mm)	Zona Granulométrica (d/D)		% Retida Acumulada
	AREIA		
	6,3/0,15		Areia
6,3	0	7	0,14
4,75	0	10	2,16
2,36	0	25	7,36
1,18	5	50	14,18
0,6	15	70	19,82
0,3	50	95	64,12
0,15	85	100	98,12
Fundo	-	-	100

Fonte: Adaptada da NBR 7211 (ABNT, 2009)

No Gráfico 1 está representado a distribuição granulométrica do agregado miúdo mencionado na Tabela 6 e seus respectivos limites granulométricos.

Gráfico 1– Distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Elaboração própria.

3.1.2.2 Agregados graúdos: convencional, reciclado de concreto e reciclado de cerâmica vermelha

Os agregados graúdos a serem utilizados obedecem a NBR 7211/09 (ABNT, 2009) e estão apresentados na Figura 7. Por não possuir uma norma técnica específica para agregados reciclados para concreto adotou-se as mesmas de agregado graúdo convencional. A Tabela 6 mostra os resultados da caracterização dos materiais utilizados, assim como a NBR's regentes.

Figura 7 – Agregados graúdos



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6 - Caracterização dos agregados graúdos

TABELA DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS				
Ensaio	Convencional	RC	RCV	Normas técnicas
Massa específica (d)	2,71 g/cm³	2,32 g/cm³	1,78 g/cm³	NBR 9776 (ABNT, 1988)
Massa específica aparente (da)	2,87 g/cm³	2,61 g/cm³	2,27 g/cm³	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
Absorção de água (A)	2,02%	4,83%	11,98%	NBR 53 (ABNT, 2009)
Módulo de finura	7,1	7,04	7,01	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Dimensão máxima característica	19 mm	25 mm	25 mm	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Perda por abrasão (P)	16,80%	23,53%	100%	NBR NM 51 (ABNT, 2001)
Índice de forma	2,63	2	2,52	NBR 7809 (ABNT, 2008)

Fonte: Elaboração própria

Conforme a Tabela 6, a cerâmica vermelha, diferentemente dos outros materiais ensaiados, possuiu perda total após a finalização dos ciclos realizados no

equipamento de abrasão Los Angeles conforme determina a NBR 51 (ABNT, 2001). O material obtido após o ensaio está apresentado na Figura 8.

Figura 8– Resíduo de cerâmica vermelha após abrasão “Los Angeles”



Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 7, encontram-se as distribuições granulométricas dos agregados convencional, reciclado de concreto e reciclado de cerâmica vermelha, respectivamente, esse regidos pela NBR 72211 (ABNT, 2009) e seus limites granulométricos regidos pela NBR 248 (ABNT, 2003).

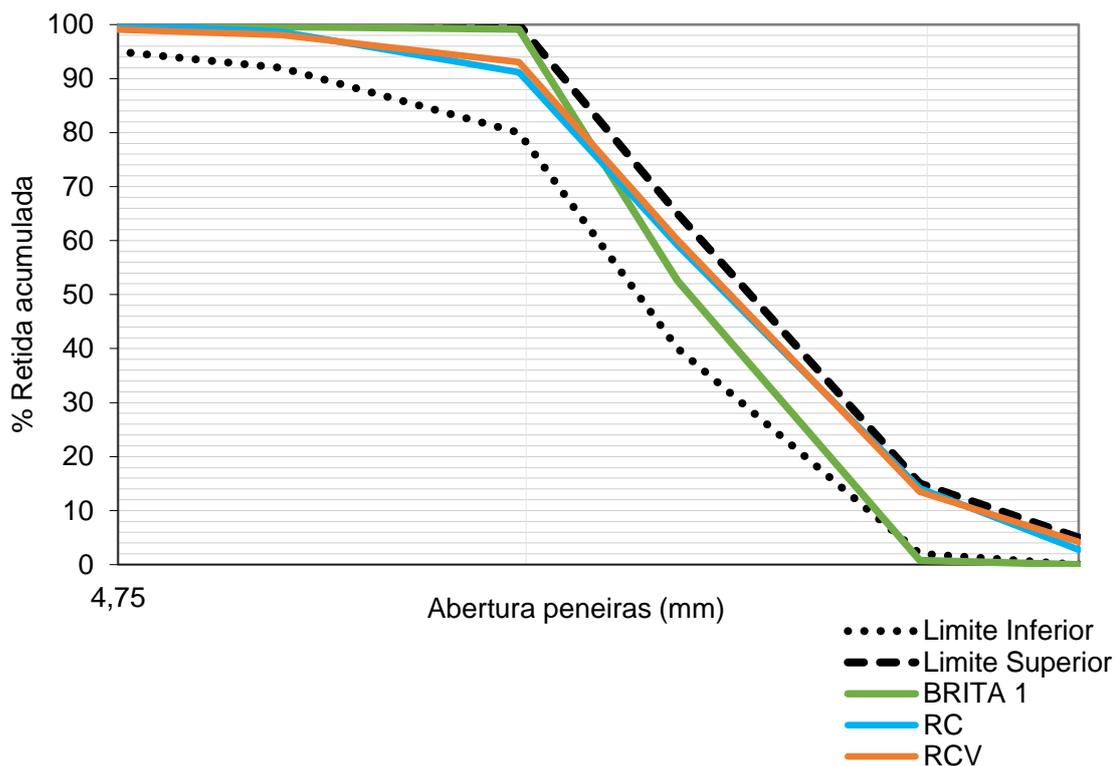
Tabela 7 – Distribuição granulométrica: Brita 1, RC e RCV

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA					
Peneira (mm)	Zona Granulométrica (d/D)		% Retida Acumulada		
	BRITA 1		BRITA 1	RC	RCV
	0	5			
25	0	5	0	2,75	2,75
19	2	15	0,75	14,15	14,15
12,5	40	65	52,59	59,15	59,15
9,5	80	100	99,14	91,17	91,17
6,3	92	100	99,6	98,69	98,69
4,75	95	100	99,65	100	100
Fundo	-	-	100	100	100

Fonte: Adaptada da NBR 7211 (ABNT, 2009).

Na Gráfico 2 está representado o gráfico de distribuição granulométrica dos agregados graúdos convencional mencionados nas Tabela 7 e seus respectivos limites granulométricos.

Gráfico 2– Distribuição granulométrica da brita 1.



Fonte: Elaboração própria.

3.1.2.3 Cimento

O cimento Portland utilizado neste trabalho foi CP V ARI, o qual é ideal para concretos que precisam adquirir resistência com rapidez. Suas características e propriedades estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8– Ensaios químicos, físicos e mecânicos do cimento Portland CP V – ARI

TABELA DE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL			
Químicos			
Ensaio	UN.	Resultado	Exigências
Perda ao Fogo – PF	%	4,1	≤ 6,5 - NM 18/12
Óxido de Magnésio - MgO	%	6,2	≤ 6,5 - NM 21/12
Trióxido de Enxofre - SO ₃	%	3,2	≤ 4,5 - NM 16/12
Resíduo Insolúvel - RI	%	0,8	≤ 3,5 - NM 15/12
Físicos			
Ensaio	UN.	Resultado	Exigências
Índice de Finura - #75 µm (nº 200)	%	0	≤ 6,0 - NBR 11579/13
Resíduo na Peneira - # 325	%	0,6	não aplicável - NBR 9202/85
Área Específica (Blaine)	cm ² /g	4976	≥ 3.000 - NM 76/98
Água de consistência normal	%	30,3	não aplicável - NM 43/03
Início de Pega	minutos	224	≥ 60 - NM 63/03
Fim de Pega	minutos	286	≤ 600 - NM 65/03
Expansibilidade à quente	mm	0,3	≤ 5,0 - NBR 11582/12
Massa Específica	g/cm ³	3,1	não aplicável - NM 23/01
Mecânicos - NBR 7215/96			
Ensaio	UN.	Resultado	Exigências
Resistência à compressão - 1 dia	MPa	24,2	14
Resistência à compressão - 3 dias	MPa	35,5	24
Resistência à compressão - 7 dias	MPa	40,9	34
Resistência à compressão - 28 dias	MPa	48,7	não aplicável

Fonte: Dados fornecidos pela empresa Votorantim, 2018.

3.2 Especificação do traço, procedimento de mistura, substituição, moldagem e cura

A segunda etapa da metodologia é estruturada a partir do traço adotado, o procedimento de mistura, juntamente com as substituições empregadas, moldagem e cura do concreto. Todos os procedimentos mencionados acima foram realizados no Laboratório de Construção Civil da Universidade Federal do Pampa – Alegrete/RS.

3.2.1 Traço

Para a elaboração dos corpos de prova em concreto utilizou-se um traço de referência, sem substituição, de 1:3:4 em massa (cimento, areia e brita) esse utilizado para todas as concretagens realizadas.

A relação água/cimento (a/c) inicialmente adotada foi de 0,48, porém essa ao longo do processo de confecção, no qual realizou-se duas concretagens testes, foi descartada. Percebeu-se que essa relação poderia não suprir as necessidades quando ocorresse as substituições do agregado graúdo convencional pelo reciclado, já que devido à quebra do agregado reciclado, ocorrida durante o processo de mistura, ele pode proporcionar uma quantidade maior de finos, dessa forma solicitando uma maior quantidade de água na mistura. Assim, ocorreu a adequação da relação a/c no valor de 0,58.

Também para a execução dos corpos de prova em concreto utilizou-se de um aditivo superplastificante, isso devido a rugosidade dos agregados reciclados, o que tende a diminuir a trabalhabilidade do concreto. Para o aditivo superplastificante - ADVA CAST 525 é indicado o valor de utilização entre 0,15% até 0,8% sobre a massa de concreto. Esse foi inserido de maneira gradual conforme a necessidade percebida. A seguir, através da Tabela 9 apresenta-se a composição das concretagens realizadas em kg/m³.

Tabela 9 – Composição do concreto

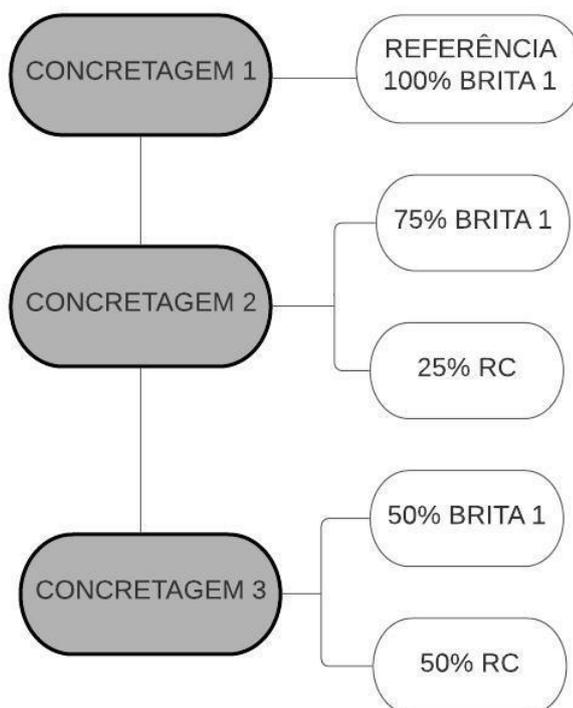
Composição do concreto (kg/m³)					
Composição	Ref.	75% B1 25% RC	50% B1 50% RC	50% B1 40% RC 10%RCV	50% B1 25% RC 25%RCV
Cimento	281,29	281,29	281,29	281,29	281,29
Areia	843,87	843,87	843,87	843,87	843,87
Brita1	1125,15	829,39	543,61	543,61	543,61
RC	0,00	276,46	543,61	262,47	400,59
RCV	0,00	0,00	0,00	262,47	133,53
Água	163,15	163,15	163,15	163,15	163,15

Fonte: Elaboração própria.

3.2.2 Procedimento de mistura e substituição

A etapa de execução do concreto é regida pela NBR 12655/15 (ABNT, 2015), realizada em duas etapas. A primeira etapa está representada na Figura 9.

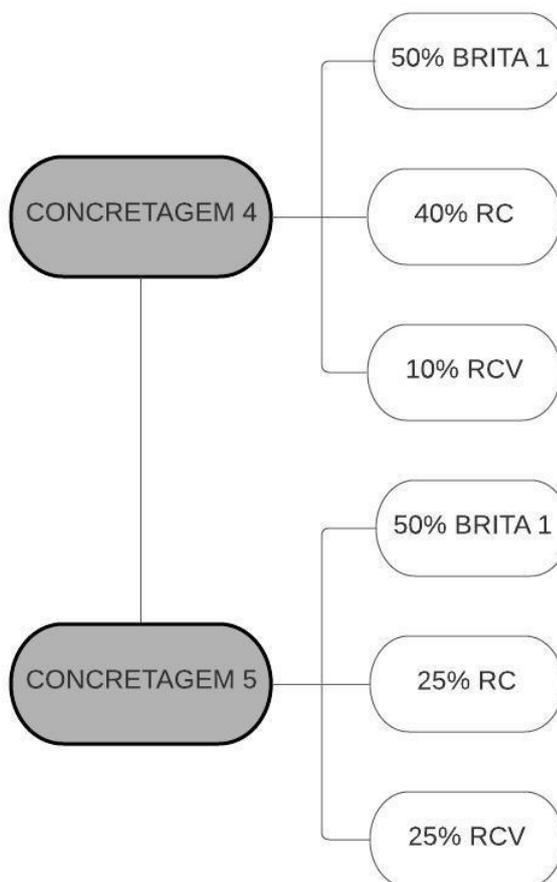
Figura 9 – Concretagens 1º etapa



Fonte: Elaboração própria.

Após a realização da primeira etapa e dos resultados obtidos e analisados, que estão apresentados no item 4 realizou-se a segunda etapa (Figura 10). A etapa dois acrescentou-se o agregado graúdo reciclado de cerâmica vermelha. Com os resultados, onde percebeu-se um desempenho satisfatório na substituição de 50% Brita 1 50% RC, foi estabelecido que as novas concretagens seriam realizadas através dessa substituição de agregado reciclado.

Figura 10 – Concretagens 2º etapa.



Fonte: Elaboração própria.

Para todas as concretagens respeitou-se a seguinte ordem de colocação de materiais na betoneira:

1. Agregados graúdos;
2. Quantidade parcial da água;
3. Cimento;
4. Areia;
5. Restante da água;
6. Aditivo.

Os agregados reciclados foram imersos em água por 24 horas, após isso submetidos a secagem de sua superfície, ou seja, estavam saturados com superfície seca.

Conforme os resultados de *Slump Test* realizados durante a concretagem, analisou se era ou não necessário a adição do aditivo, esses adicionados de forma gradual. Sabe-se por estudos realizados na revisão bibliográfica que quando ocorresse a adição de agregados reciclados a trabalhabilidade do concreto iria decair, já que ocorre uma maior absorção de água, assim tornando a mistura mais seca.

Para as concretagens com substituição, fez-se o uso de aditivo superplastificante, onde esse respeita a NBR 11768/19 (ABNT, 2019). Conforme recomendado pelo fabricante o aditivo é adicionado ao concreto em porcentagens de 0,15% a 0,8% sobre a massa de cimento. Para a primeira concretagem (100% Brita 1) não possui necessidade de adição do aditivo. Os valores de adição estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados de adição de aditivo superplastificante

RESULTADOS DE ADIÇÃO DE ADITIVO	
100% Brita 1	Não possui adição
75% Brita 1 - 25% RC	8 g
50% Brita 1 - 50% RC	26 g
50% Brita 1 - 40% RC - 10%RCV	58 g
50% Brita 1 - 25% RC - 25%RCV	36 g

Fonte: Elaboração própria.

Para o *slump test* respeitou-se a NBR 67 (ABNT, 1998) onde essa estabelece a consistência pelo abatimento do tronco de cone (Figura 11). O procedimento baseia-se no operador encher o molde dos corpos de prova em 3 camadas, sendo essas com aproximadamente 1/3 da altura total do molde. Essas camadas são compactas com 25 golpes, esses sendo feitos pelo mesmo operador, para não ocorrer mudanças bruscas na intensidade da força aplicada nos golpes. Na Tabela 11 está demonstrado as consistências do concreto de acordo com a NBR 7212 (ABNT, 2012), na Tabela 12 encontra-se os resultados obtidos em cada concretagem.

Tabela 11– Classe de Consistência

Classe	Abatimento (A) mm
S10	$10 \leq A < 50$
S50	$50 \leq A < 100$
S100	$100 \leq A < 160$
S160	$160 \leq A < 220$
S220	$A \geq 200$

Fonte: NBR 7212 (ABNT, 2012).

Figura 11 – Ensaio de Slump Test



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12- Resultados obtidos no Slump Test

Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	
Concretagem	Abatimento (mm)
Ref.	70
75% RC e 25% B1	65
50% RC e 50% B1	60
40% RC, 10% RCV e 50% B1	95
25% RC, 25% RCV e 50% B1	90

Fonte: Elaboração própria.

Para a realização dos ensaios na primeira etapa onde contempla a concretagem dos corpos de prova da mistura de referência e das substituições de apenas resíduo de concreto (RC) foram moldados 10 corpos de provas. Utilizou-se das mesmas amostras para os ensaios de absorção e índice de vazios e os de absorção por capilaridade.

Para a segunda etapa de concretagem, onde foi incorporado o resíduo de cerâmica vermelha, concretou-se 14 corpos de provas, a adição de 4 corpos de prova foi devido ao tempo necessário para a finalização dos ensaios, pois o período estava reduzido, então separou-se as amostras dos ensaios de absorção e índice de vazios e os de absorção por capilaridade.

3.2.3 Moldagem e cura do concreto

Para a moldagem e cura dos corpos de prova em concreto obedeceu-se a NBR 5738 (ABNT, 2015) onde essa estabelece os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. As dimensões dos corpos de provas cilíndricos adotados são de 10 x 20 cm e estão representadas na Figura 12.

Figura 12– Dimensões dos corpos de prova.



Fonte: Elaboração própria

Para a moldagem utilizou-se os moldes disponíveis no Laboratório de Construção Civil, esses foram untados com uma fina camada de óleo antes de serem

moldados, Figura 13. Os corpos de prova foram moldados em duas camadas de 12 golpes, considerando o adensamento manual de acordo com a NBR 5738/15 (ABNT, 2015).

Os corpos de provas foram desmoldados após 24 horas de cura inicial, e armazenados em um local úmido por 28 dias até ocorrer sua cura completa.

Os corpos de prova foram retificados para o ensaio de compressão, proposto no item 3.3.1. A retificação consiste na remoção de uma fina camada do material, por meio mecânico, proporcionando assim uma superfície livre de ondulações ou abaulamento.

Figura 13– Moldes para os corpos de prova em concreto.



Fonte: Elaboração própria.

3.3 Ensaio

A seguir são apresentados os ensaios realizados neste trabalho referentes ao comportamento mecânico dos concretos resistência à compressão, módulo de

elasticidade, resistência à tração por compressão diametral, bem como alguns ensaios referentes a sua estrutura de poros (absorção de água por capilaridade, absorção por imersão e índices de vazios).

Para este trabalho os ensaios possuem como objetivo comparar as características do concreto com agregado graúdo convencional substituído por agregado reciclado. A seguir, estão descritos os ensaios realizados.

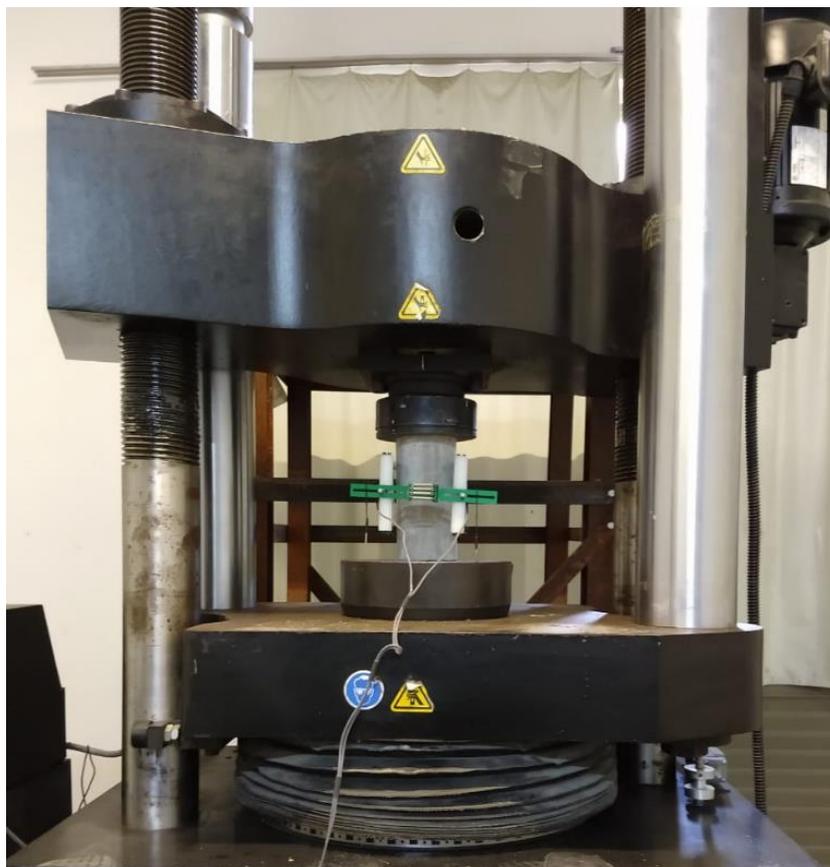
3.3.1 Resistência à compressão simples e módulo de elasticidade

Através do ensaio para a determinação da resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos determina-se também o módulo de elasticidade, o qual é executado segundo as recomendações da norma NBR 5739 (ABNT, 2007). Até o momento de execução do ensaio os corpos de prova devem permanecer no processo de cura úmida ou saturada.

Precedente a execução do ensaio deve-se preparar a base dos corpos de provas, conforme estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2007). As amostras foram todas rompidas após 28 dias de cura.

A norma estabelece que para o rompimento dos corpos de prova as faces dos pratos (Figura 14) devem ser limpas e secas antes da amostra ser colocada na posição de ensaio. O corpo de prova deve ser posicionado no centro do prato inferior. A prensa hidráulica utilizada é da fabricante Instron e possui capacidade de carga de 1500 kN.

Figura 14 – Pratos da máquina de compressão



Fonte: Elaboração própria.

A velocidade de carregamento adotada foi de 0,05 mm/min, não podendo sofrer nenhum ajuste. Assim que o corpo de prova começa a se deformar rapidamente, ele está chegando perto de sua ruptura.

Além dos dados de resistência à compressão esse ensaio fornece o Modulo de Elasticidade, obtido através da relação entre tensão e deformação. A deformação foi medida através de extensômetro do tipo Clip-gage, também da marca Instron.

3.3.3 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio para a determinação da resistência à tração por compressão diametral é realizado segundo as recomendações da norma NBR 7222 (ABNT, 2010), onde após seu tempo de cura o corpo de prova é submetido ao ensaio.

O corpo de prova é devidamente instrumentado, de forma que seu plano axial, coincida com o eixo de aplicação da carga. A norma recomenda que entre os pratos

da máquina e os corpos de prova em ensaio, deve ser inserido duas tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, essas devem ser usadas apenas para estabelecer os eixos, assim como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Ensaio de resistência a tração



Fonte: Elaboração própria.

Após, ajusta-se os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo de prova. Deve-se aplicar uma carga contínua em sem choques, com crescimento constante de tensão de tração.

A velocidade recomendada é de $0,05 (\pm 0,02)$ MPa/s até a ruptura do corpo de prova. Após isso, aplica-se a carga obtida na equação 1 e têm-se o resultado final de resistência a tração por compressão diametral.

$$f_{t,D} = \frac{2 \cdot F}{p \cdot d \cdot L} \quad (1)$$

Onde:

$f_{t,D}$ = Resistência a tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 MPa;

F = Carga máxima obtida no ensaio (kN);

P = PI (aproximadamente 3,14);

d = diâmetro do corpo de prova (mm);

L = Altura do corpo de prova (mm).

3.3.4 Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica

O ensaio para a determinação da absorção de água por imersão e Índices de vazios é realizado segundo as recomendações da norma NBR 9778 (ABNT, 2009). O procedimento baseia-se em determinar a massa da amostra seca em estufa à temperatura de (105 ± 5) °C. Essa determinação é feita em tempos de 24, 48 e 72 horas. Após a secagem, realiza-se o resfriamento da amostra ao ar seco à temperatura de $23 (\pm 2)$ °C e assim afere-se seu peso. Em seguida ocorre a imersão da amostra em água. Nesse processo o corpo de prova deve ser mantido com aproximadamente 1/3 de seu volume imerso nas primeiras 4 horas, e 2/3 nas próximas 4 horas, devendo ser completamente imerso nas 64 horas restantes. Deverá ser apontado a massa, decorridas 24 h, 48 h e 72 h de imersão.

Completada a saturação em água, deve-se levar a amostra a ebulição, esse processo baseia-se em adotar um recipiente cheio d'água que deve ser progressivamente levado à ebulição, devendo começar depois de 15 min e antes do 30 min, esse processo deve durar 5 horas. Na sequência deixa-se o corpo de prova resfriar e após isso, determina-se a massa na balança hidrostática. Com esse procedimento poderá ser obtido as seguintes características:

- Absorção de água por imersão é definida pela seguinte equação (2):

$$\frac{M_{sat}-M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

M_{sat} - Massa do corpo de prova saturado

M_s – Massa do corpo de prova seco em estufa

- Índice de vazios é determinado pela seguinte equação 3:

$$\frac{M_{sat}-M_s}{M_{sat}-M_i} \cdot 100 \quad (3)$$

- Massa específica amostra seca é definida pela seguinte equação 4:

$$\frac{M_s}{M_{sat}-M_i} \quad (4)$$

- Massa específica amostra saturada é estabelecida pela seguinte equação:

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

Onde:

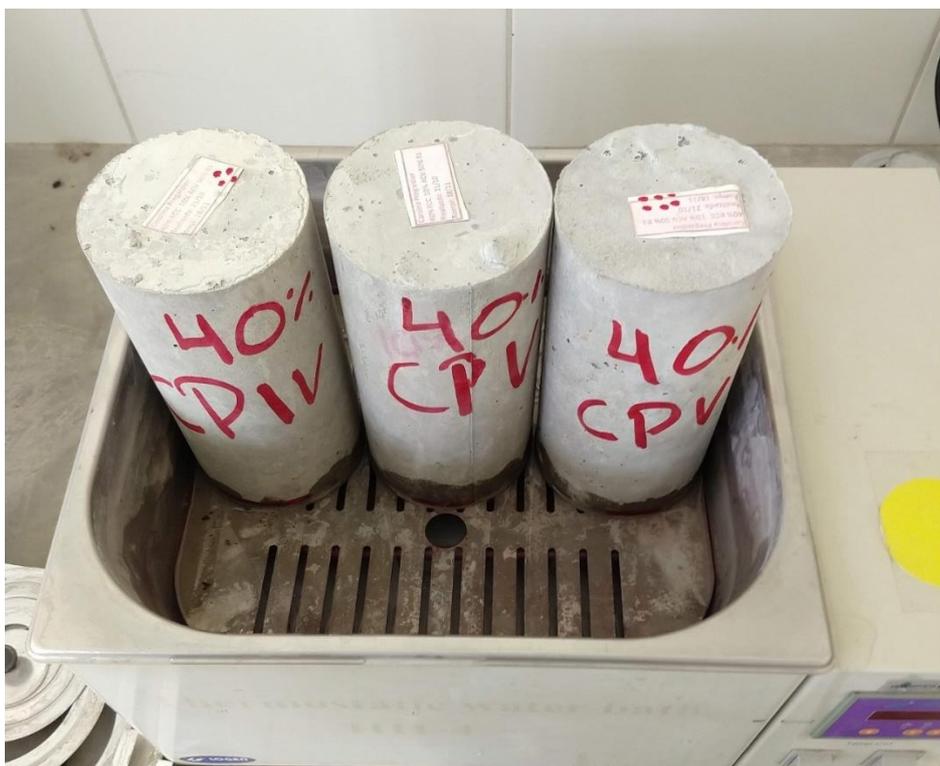
- M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado;
- M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa;
- M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

3.3.5 Determinação da absorção de água por capilaridade

Esse ensaio é regido pela NBR 9779 (ABNT, 2012) onde essa estabelece o modo para determinação da absorção de água, através da ascensão capilar de concreto endurecidos e argamassas endurecidas.

Primeiramente, é necessário colocar os corpos de provas a serem ensaiados em estufas à temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Após seu resfriamento, obtém-se a massa da amostra em estado seco. Na sequência, posiciona-se as amostras em um suporte, onde não haja nenhuma ondulação, e preenche-se com água até o nível de aproximadamente 5 mm acima da face inferior do corpo de prova (Figura 16). Assim, afere-se as medidas e 3, 6, 24, 48 e 72 horas.

Figura 16 – Corpos de provas submersos em uma lâmina d'água



Fonte: Elaboração própria.

Assim que a última etapa for finalizada deve-se romper as amostras por compressão diametral, para que se obtenha a distribuição da água no interior dos corpos de prova.

A absorção de água por capilaridade (C) será expressa através da seguinte equação (6):

$$C = \frac{A-B}{S} \text{ (g/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

Onde:

C – Absorção de água por capilaridade (g/cm²)

A – Massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado (g)

B - Massa do corpo-de-prova seco, assim que este atinja a temperatura de (23 ± 2) °C (g)

S - Área da seção transversal (cm²).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Esse capítulo apresenta os resultados obtidos nas propriedades dos concretos através das substituições de agregado convencional por agregado reciclado de cerâmica vermelha e de concreto, no estado endurecido.

4.1 Ensaio de compressão

A Tabela 13 apresenta os resultados de resistência à compressão para cada corpo de prova (CP) e para cada combinação. O agregado natural é referenciado como “Brita 1” e o agregado reciclado de concreto de “RC”.

Tabela 13 – Resistência a compressão – 1ª Etapa

Ensaio de compressão - NBR 5739 (ABNT, 2007)

CP's	Referência	75% Brita 1 25% RC	50% Brita 1 50% RC
CP I	20,93 MPa	23,03 MPa	24,14 MPa
CP II	24,34 MPa	17,57 MPa	14,76 MPa
CP III	26,56 MPa	20,18 MPa	23,40 MPa
Média	23,94 MPa	20,26 MPa	20,77 MPa
Desvio Padrão	2,32 MPa	2,23 MPa	4,26 MPa
Coef. Variação	9,67%	11,01%	20,50%

Fonte: Elaboração própria.

Após, 178 dias¹ da concretagem de 50% Brita 1 e 50% RC, realizou-se um quarto rompimento, onde esse obteve-se o valor de 20,09 MPa. Uma vez que o cimento utilizado é o cimento CP-V, os valores de resistência à compressão não variam significativamente com a idade de ruptura após 28 dias.

O módulo de elasticidade foi obtido através dos resultados identificados em cada corpo de prova ensaiado, através dos rompimentos realizados na primeira etapa conforme apresentado na Tabela 14.

¹ Essa grande diferença de tempo sucedeu-se devido a pandemia provocada pelo vírus Covid-19.

Tabela 14 - Módulo de elasticidade – 1º Etapa

MÓDULO DE ELASTICIDADE			
CP's	Referência	75% Brita 1 25% RC	50% Brita 1 50% RC
CP I	25,69 GPa	37,83 GPa	35,19 GPa
CP II	36,49 GPa	33,87 GPa	35,10 GPa
CP III	30,48 GPa	31,76 GPa	37,21 GPa
Média	30,89 GPa	34,49 GPa	35,83 GPa
Desvio Padrão	4,42 GPa	2,52 GPa	0,97 GPa
Coef. Variação	14,31%	7,30%	2,72%

Fonte: Elaboração própria.

Através da análise dos resultados médios de resistência à compressão axial e de desvio padrão, observou-se que os resultados para as substituições de 25% e de 50% do agregado convencional por resíduo de concreto (RC), apresentaram uma perda de resistência, comparados à mistura de referência, porém não obteve-se em uma diferença expressiva entre as substituições considerando o desvio padrão obtido.

Após essa análise optou-se por realizar substituição da fração de agregado reciclado de concreto por cerâmica vermelha (RCV) na porcentagem de 50% brita 1 e 50% RC. Assim ocorreu mais duas substituições, essas sendo de 50% brita 1, 40% RC e 10% RCV e na sequência a substituição com 50% Brita 1, 25% RC e 25% RCV. Os resultados de resistência a compressão e módulo de elasticidade estão apresentados na Tabela 15 e na Tabela 16.

Assim para uma melhor visualização elaborou-se o Gráfico 3, onde esse apresenta a média de todos os resultados obtidos.

Tabela 15 - Resistência a compressão – 2ª Etapa

Ensaio de compressão - NBR 5739 (ABNT, 2007)		
CP'S	50% Brita 1 40% RC 10% RCV	50% Brita 1 25% RC 25% RCV
CP I	21,87 MPa	27,99 MPa
CP II	20,41 MPa	23,37 MPa
CP III	18,77 MPa	28,07 MPa
CP IV	18,06 MPa	26,53 MPa
CP V	20,18 MPa	22,84 MPa
CP VI	-	24,76 MPa
Média	19,86 MPa	25,59 MPa
Desvio padrão	1,33 MPa	2,24 MPa
Coef. Variação	6,71%	8,76%

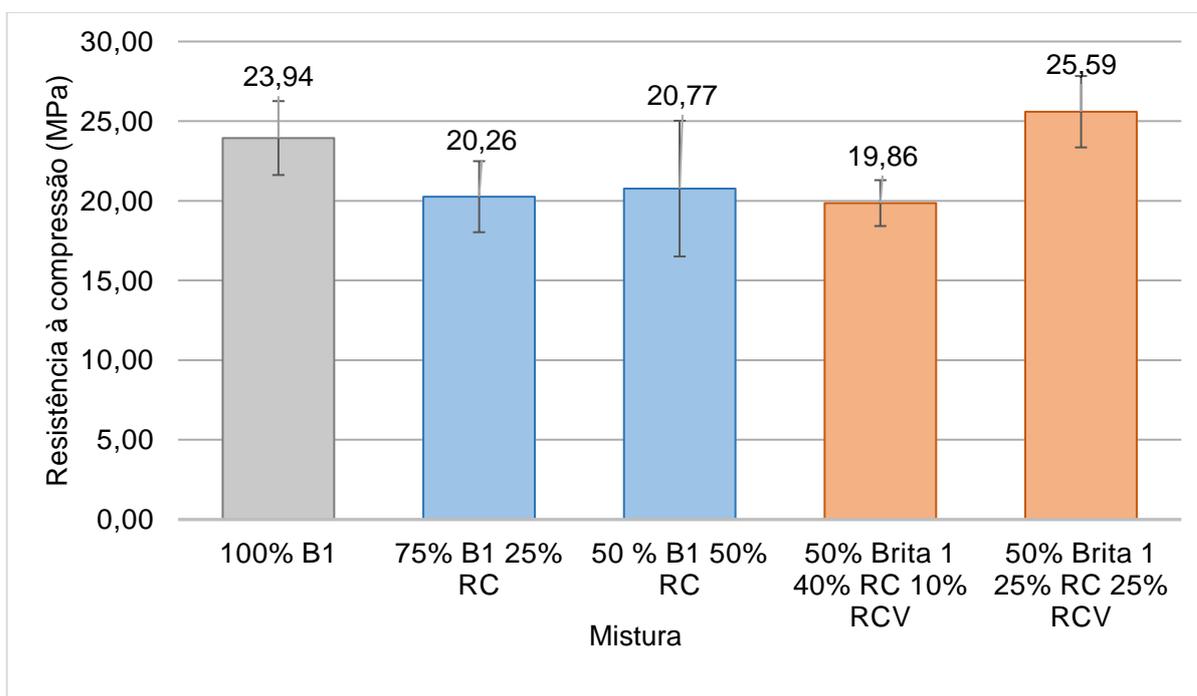
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 16 - Módulo de elasticidade – 2ª Etapa

MÓDULO DE ELASTICIDADE		
CP's	50% Brita 1 40% RC 10% RCV	50% Brita 1 25% RC 25% RCV
CP I	29,03 GPa	22,96 GPa
CP II	26,63 GPa	28,53 GPa
CP III	39,25 GPa	33,54 GPa
CP IV	28,47 GPa	28,80 GPa
CP V	27,54 GPa	22,53 GPa
CP VI	-	30,61 GPa
Média	30,18 GPa	27,83 GPa
Desvio Padrão	4,61 GPa	3,95 GPa
Coef. Variação	15,26%	14,19%

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 3 – Resultado final das concretagens



Fonte: Elaboração própria.

Após deter de todos os resultados, analisa-se que ocorreu uma pequena redução na resistência com a incorporação de RC (25% e 50%) e de 10% de RCV. Por outro lado, com a incorporação de 25% de RCV, o concreto alcançou uma resistência mais elevada comparada as substituições realizadas anteriormente. Acredita-se que ocorreu um fator de empacotamento acarretado pela adição de cerâmica vermelha, já que possivelmente houve a quebra de alguns grãos do agregado durante a concretagem. Isso pode ser evidenciado pelo resultado de abrasão Los Angeles apresentado na Tabela 6, que mostra uma perda de massa de 100% após 500 rotações. O aumento do empacotamento do concreto diminui sua porosidade total, o que pode contribuir no aumento da resistência mecânica. A diminuição do índice de vazios e absorção é confirmada e discutida nos itens 4.3 e 4.1. Esse fato não foi evidenciado para mistura com 10% de RCV, devido à pouca quantidade de cerâmica vermelha incorporada à mistura.

O módulo de elasticidade exibido nas misturas com resíduo de cerâmica vermelha, aproximou-se do concreto referência, indicando um incremento na capacidade de deformação elástica comparado às misturas com apenas resíduo de concreto, que apresentaram-se um pouco mais rígidas. Assim, considerando a

proximidade das tensões de compressão, as misturas com RCV e referência possuem um aumento sutil na capacidade de deformação elástica do concreto, dessa forma diminuindo o módulo de elasticidade.

4.2 Ensaio de tração por compressão diametral

Os resultados obtidos de resistência à tração por compressão diametral, na primeira fase de concretagens estão apresentados a seguir na Tabela 17.

Tabela 17 – Resistência à tração por compressão diametral – 1º Fase

Ensaio de Tração – NBR 7222 (ABNT, 2010)			
CP's	Ref.	75% Brita 1 25% RC	50% Brita 1 50% RC
CP I	3,17 MPa	2,66 MPa	3,20 MPa
CP II	2,66 MPa	1,71 MPa	2,31 MPa
CP III	3,60 MPa	2,58 MPa	2,92 MPa
Média	3,14 MPa	2,32 MPa	2,81 MPa
Desvio padrão	0,38 MPa	0,43 MPa	0,37 MPa
Coef. de Variação	12,24%	18,54%	13,22%

Fonte: Elaboração própria.

Com esses resultados médios de resistência à tração, observou-se que as substituições do agregado convencional por resíduos acarretaram na diminuição nos valores de resistência à tração.

Através dos estudos realizados na metodologia, podemos presumir que os valores de resistência à tração seriam menores que os valores de resistência a compressão, já que o concreto possui um desempenho melhor quando submetido a tração do que quando submetido a compressão.

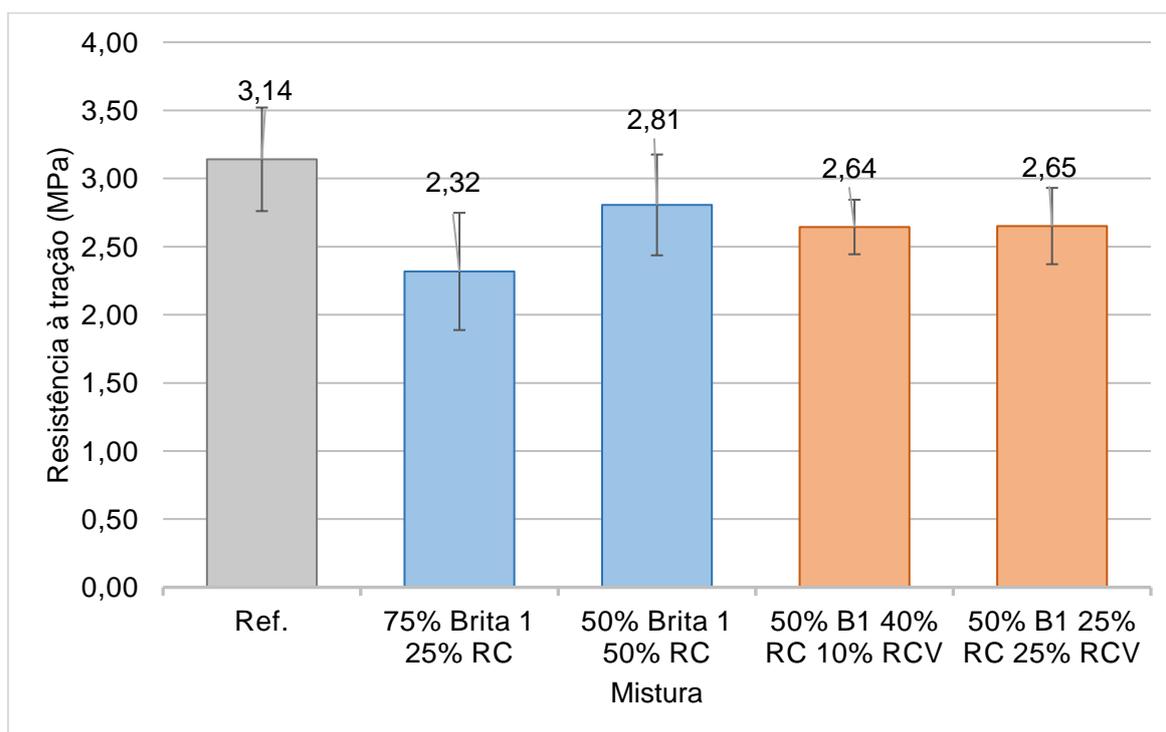
Na segunda etapa de concretagem realizada com as substituições de 50% Brita 1, 25% RC e 25% RCV, e a segunda substituição de 50% Brita1, 40% RC e 10% RCV, encontrou-se novos valores resistências, esses apresentados a seguir na Tabela 16. Para uma melhor compreensão dos resultados elaborou-se o Gráfico 4.

Tabela 18 – Resistência à tração por compressão diametral – 2º Fase

Ensaio de Tração por compressão diametral - NBR 7222 (ABNT, 2010)		
CP's	50% B1 40% RC 10% RCV	50% B1 25% RC 25% RCV
CP I	2,60 MPa	2,12 MPa
CP II	2,34 MPa	2,92 MPa
CP III	2,59 MPa	2,72 MPa
CP IV	2,72 MPa	2,79 MPa
CP V	2,97 MPa	2,69 MPa
Média	2,64 MPa	2,65 MPa
Desvio Padrão	0,20 MPa	0,28 MPa
Coef. de Variação	7,75%	10,40%

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 4 – Resultados médios de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados de tração do concreto, não possuíram grandes variações, da mesma forma que ocorreu para compressão, os valores não parecem variar consideravelmente. Isso corrobora com a explicação de que mais uma vez ocorreu o empacotamento gerado pelo RCV.

4.3 Absorção e índice de vazios

Os resultados alcançados nos ensaios da NBR 9778 (ABNT, 2009) na primeira etapa de concretagens estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Índice de vazios

RESULTADOS MÉDIOS - 1ª ETAPA									
ENSAIOS	Ref.			75% Brita1 25% RC			50% Brita1 50% RC		
	Res.	D.P.	C.V	Res.	D.P.	C.V	Res.	D.P.	C.V
Absorção de água por imersão	5,24%	0,09%	1,80%	6,20%	0,09%	1,52%	6,30%	0,09%	1,38%
Índice de vazios	11,70%	0,34	2,80%	13,40%	0,35%	2,58%	14,70%	0,69%	4,71%
Massa específica	2,22	0,09	4,22%	2,17	0,05	2,18%	2,33	0,12	5,35%
Massa específica da amostra saturada	2,34	0,09	4,04%	2,30	0,09	4,04%	2,47	0,16	6,53%

Fonte: Elaboração própria.

Analisando os resultados obtidos, pode-se constatar que temos um valor crescente na absorção de água e no índice de vazios, conforme acrescentou-se o resíduo de concreto (RC). Através dos estudos de caracterização realizados anteriormente, apresentados na Tabela 6, aponta-se que o resíduo de concreto possui uma maior absorção de água que o agregado graúdo convencional.

Já os resultados de massa específica e massa específica saturada possuíram um decréscimo na substituição inicial e um acréscimo na massa após um valor maior de substituição por resíduo de concreto, os agregados reciclados de concreto

possuem uma massa específica menor que o convencional (Tabela 6) e isso, conseqüentemente, tende a alterar a massa específica do concreto.

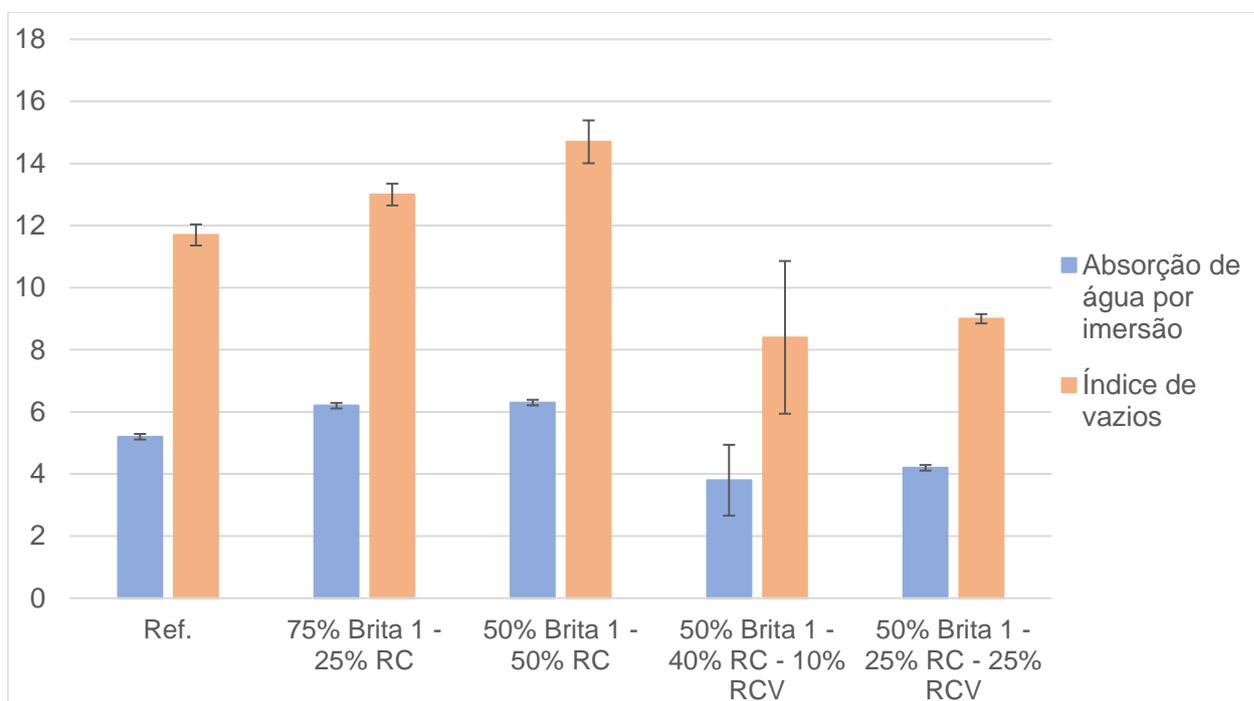
Na Tabela 20 está apresentado os resultados de índice de vazios, absorção de água, massa específica e massa específica aparente, para os concretos que contem a substituição de agregado convencional por resíduo de concreto e de cerâmica vermelha. Também, através do Gráfico 5 encontra-se os resultados finais obtidos no ensaio de Absorção e Índice de vazios.

Tabela 20 - Índice de vazios - 2º Fase

RESULTADOS MÉDIOS - 1ª ETAPA						
ENSAIOS	75% Brita1 40% RC 10% RCV			50% Brita1 25% RC 25% RCV		
	Res.	D.P.	C.V	Res.	D.P.	C.V
Absorção de água por imersão	3,80%	1,14%	30,64%	4,20%	0,09%	2,60%
Índice de vazios	8,40%	2,46%	29,11%	9,00%	0,15%	1,72%
Massa específica	2,26	0,05	2,08%	2,15	0,05	2,18%
Massa específica da amostra saturada	2,34	0	0,00%	2,24	0,05	2,11%

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 5 – Absorção e índice de vazios



Fonte: Elaboração própria.

Após a obtenção de todos os dados pode-se observar que ocorreu uma diminuição nos valores de absorção de água por imersão e de índice de vazios, essa sendo expressiva. Como apontado na Tabela 6, o agregado reciclado de resíduo de cerâmica vermelha possui um valor alto perda por absorção, isso podendo facilitar na produção de finos e esse preencher os vazios presentes no concreto, assim dificultado a absorção de água.

Conforme adicionou-se uma quantidade maior de RCV nota-se que houve uma diminuição da massa específica e da massa específica da amostra saturada. Na Tabela 6 apresenta-se um baixo valor de massa específica para agregado reciclado de cerâmica vermelha, corroborando para essa diminuição.

4.4 Determinação da absorção de água por capilaridade

Os resultados de absorção de água por capilaridade para os concretos de referência e com substituição de RC são apresentados na Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23 a seguir.

Tabela 21 – Resultado de capilaridade – Referência

VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE g/cm² - 100% BRITA 1						
Amostra	TEMPO					Lâmina d'água (cm)
	3 hrs	6 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	
CP I	0,00	0,10	0,10	0,20	0,20	6 cm
CP II	0,10	0,10	0,40	0,50	0,70	5 cm
CP III	0,10	0,10	0,30	0,50	0,60	NÃO OBTIDA
Média	0,07	0,10	0,27	0,40	0,50	
D.V.	0,05	0,00	0,12	0,14	0,22	
C.V.	70,71%	0,00%	46,77%	35,36%	43,20%	

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 22 – Resultado de capilaridade – 75% Brita 1 25% RC

VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE g/cm²- 75% BRITA 1 e 25% RC						
Amostra	TEMPO					Lâmina d'água (cm)
	3 hrs	6 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	
CP I	0,38	0,66	1,66	1,85	1,95	11 cm
CP II	0,54	0,89	1,52	1,77	1,87	9 cm
CP III	0,89	1,53	1,56	1,80	1,90	10 cm
Média	0,60	1,03	1,58	1,81	1,91	
D.V.	0,21	0,37	0,06	0,03	0,03	
C.V.	34,81%	35,75%	3,77%	1,80%	1,81%	

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 23 – Resultado de capilaridade – 50% Brita 1 50% RC

VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE						
g/cm² - 50% BRITA 1 e 50% RC						
Amostra	TEMPO					Lâmina d'água (cm)
	3 hrs	6 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	
CP I	0,57	0,91	3,44	3,67	3,80	9 cm
CP II	0,26	0,85	3,05	3,31	3,43	10 cm
CP III	0,50	0,68	3,17	3,36	3,46	NÃO OBTIDA
Média	0,45	0,81	3,22	3,45	3,56	
D.V.	0,13	0,10	0,16	0,16	0,16	
C.V.	30,06%	11,97%	5,07%	4,61%	4,62%	

Fonte: Elaboração própria.

Os valores de lâmina d'água não obtidos foram devido à dificuldade de visualização ou a forma de rompimento que não possibilitou a sua aferição. Na Figura 17 consegue-se visualizar os centímetros médios percolados de água no concreto através desse ensaio.

Figura 17 – Visualização da lâmina d'água média – 1º Etapa



Fonte: Elaboração própria.

Para a segunda etapa do procedimento experimental encontrou-se os resultados apresentados na Tabela 24 e Tabela 25.

Tabela 24 – Resultado de capilaridade – 50% Brita 1 40% RC 10% RCV

VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE g/cm² - 50% BRITA 1 40% RC 10% RCV						
Amostra	TEMPO					Lâmina d'água (cm)
	3 hrs	6 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	
CP I	0,24	0,35	0,42	0,51	0,52	4 cm
CP II	0,28	0,36	0,43	0,46	0,48	NÃO OBTIDA
CP III	0,27	0,34	0,45	0,50	0,51	5 cm
Média	0,26	0,35	0,43	0,49	0,50	
D.V.	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	
C.V.	7,14%	2,88%	3,02%	4,53%	3,20%	

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 25 -Resultado de capilaridade – 50% Brita 1 25% RC 25% RCV

VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE g/cm² - 50% BRITA 1 25% RC 25% RCV						
Amostra	TEMPO					Lâmina d'água (cm)
	3 hrs	6 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	
CP I	0,33	0,39	0,52	0,57	0,65	6 cm
CP II	0,38	0,48	0,59	0,65	0,70	5 cm
CP III	0,33	0,49	0,54	0,56	0,63	4 cm
Média	0,35	0,45	0,55	0,59	0,66	
D.V.	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	
C.V.	6,03%	9,92%	4,91%	6,98%	4,49%	

Fonte: Elaboração própria.

A seguir, na Figura 18 consegue-se analisar uma imagem com as lâminas d'água obtidas dos a partir das médias dos valores apresentados nas Tabelas 24 e 25.

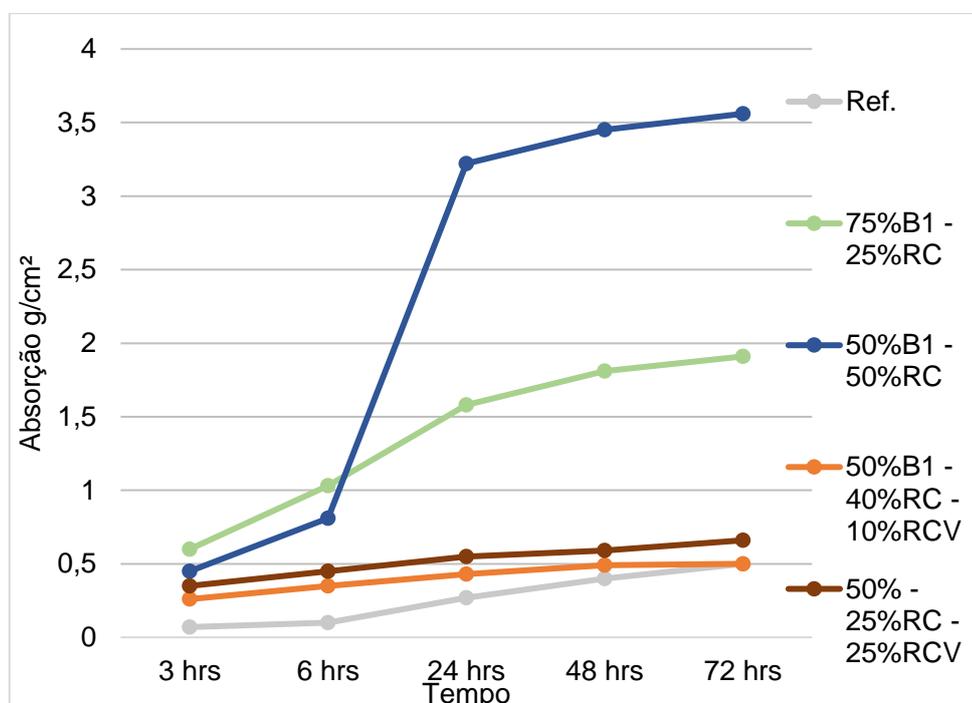
Figura 18 - Visualização da lâmina d'água média – 2º Etapa



Fonte: Elaboração própria.

Com os resultados de absorção por capilaridade apresentados nas tabelas anteriores pode-se obter o Gráfico 6, onde esse apresenta a média dos resultados alcançados durante o ensaio.

Gráfico 6 - Absorção por capilaridade



Fonte: Elaboração própria.

Conforme o Gráfico 6 analisa-se que a maior absorção por capilaridade ocorre para o concreto com 50% B1 e 50% RC, onde esse possui um grande crescimento

entre 6 – 24 horas. O concreto referência e a substituição de RCV apresentam uma estabilidade na absorção de água, já quando ocorreu substituição com apenas RC a absorção de água é ressaltada com o tempo.

A percolação de água, comparando com as substituições de resíduo de concreto, diminuiu conforme a adição de cerâmica vermelha, ratificando a hipótese apresentada anteriormente de que ocorreu um empacotamento de partículas e um possível preenchimento dos vazios pelos finos gerados no processo de mistura.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa apresentada teve por objetivo estudar a influência da substituição parcial de resíduos da construção civil (concreto e cerâmica vermelha), individual e combinada, no comportamento de mecânico e na capacidade de absorção de água e índice de vazios de um concreto convencional

Desta forma subdividiu-se a pesquisa em duas etapas, sendo a primeira composta da substituição gradual de agregado natural (Brita 1) por resíduo de concreto. Nessa etapa adotou-se inicialmente três porcentagens, a primeira sendo a referência (sem resíduo), a segunda composta de 75% Brita 1 e 25% RC; e a terceira de 50% Brita 1 e 50% RC. Após, realizou-se os ensaios mecânicos e avaliou qual substituição seria tomada como referência.

Fixou-se a substituição de 50% de Brita 1 como referência e através dela realizou-se a composição restante com 40%-RC mais 10% RCV; e 25% RC mais 25% RCV. Por meio dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A resistência à compressão do concreto estudado não foi comprometida com a incorporação individual ou combinada de resíduos de concreto e cerâmica vermelha para as substituições avaliadas. Observou-se, ainda, um pequeno acréscimo da resistência média quando incorporado 25% de RCV, devido ao efeito de empacotamento gerado pelos finos produzidos pela quebra de alguns grãos de RCV no processo de mistura;
- O módulo de elasticidade ao adicionar resíduo de concreto aumentou suavemente, já quando incorporado o resíduo de cerâmica vermelha o módulo voltou a apresentar resultados semelhantes aos obtidos na concretagem referência;
- A resistência à tração por compressão diametral reduziu sutilmente com a incorporação individual de resíduo de concreto e combinada de resíduo de concreto e cerâmica vermelha;
- Os resultados de absorção e índice de vazios contribuíram com as hipóteses de empacotamento gerado pelos finos da cerâmica vermelha no processo de mistura, uma vez que houve um decréscimo dos valores em comparação à mistura de referência (sem agregado reciclado);

- Os resultados de absorção de água por capilaridade apresentaram aumento com a incorporação combinada de resíduo de concreto e uma diminuição com o acréscimo de resíduo de cerâmica vermelha. O fator de empacotamento contribuiu para a diminuição da porosidade total e possivelmente na alteração da tortuosidade dos poros capilares.

Como novas hipóteses de aperfeiçoamento para as futuras produções científicas afim de se ter uma maior precisão dos resultados, fica como sugestões:

- Análise de outros teores de substituição dos agregados reciclados de concreto e de cerâmica vermelha;
- Análises com maiores teores de cerâmica vermelha, afim de avaliar até qual substituição é possível obter vantagem com a incorporação desse material;
- Uma comparação mais aprofundada com resíduos provenientes diretamente da construção civil, sem segregação de material.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1996.

____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2011.

____. **NBR 7809**: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio Rio de Janeiro, 2008.

____. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão Rio de Janeiro, 2017.

____. **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1988.

____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009

____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012

____. **NBR 9935**: Agregado: terminologia– Especificações. Rio de Janeiro, 2011.

____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Especificações. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM 51:** Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 2001.

____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009

____. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998

____. **NBR NM ISSO 3310-1:** Peneiras de ensaio- Requisitos técnicos e verificações – Parte: 1. Rio de Janeiro, 2010.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, Daniel Lima et al. Influência de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção em Propriedades Mecânicas do Concreto. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 11, n. 1, 2016.

BARROS, Regina Mambeli. Tratado sobre Resíduos Sólidos: Gestão, Uso e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Ed. **Acta Interciência**, 2012.

BIGOLIN, Morgane. **Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. Manual Técnico: gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras. **Brasília: SEBRAE/DF**, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010.

____. Resolução CONAMA nº. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2002.

____. Resolução CONAMA nº. 348, de 16 de agosto de 2014. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2014.

____. Resolução CONAMA nº. 431, de 25 de maio de 2011. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2011.

____. Resolução CONAMA nº. 469, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e

procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2015.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra et al. Determinação da influência do tipo de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição sobre o módulo de deformação de concretos produzidos com agregados reciclados. **RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 1, n. 2, 2008.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CHRISTÓFORI, João Batista; DE OLIVEIRA, Patrycia Pansini; EMERICK, Larícia Olaria. SUSTENTABILIDADE NA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 636, 2017.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro et al. Avaliação de processos de misturas de concretos com agregados graúdos reciclados. **Ambiente construído: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre. Vol. 17, n. 3**, 2017.

CSILLAG, Diana. **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERNANDES, Maria da Paz Medeiros. **Apreciação de boas práticas visando a geração de um modelo para a gestão municipal dos resíduos da construção civil. 2013. 264 f.** 2013. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GAEDE, Lia Pompéia Faria. Gestão dos resíduos da construção civil no município de Vitória-ES e normas existentes. **Belo Horizonte**, 2008.

GEHRKE, Amanda Elisa Barros. **Indicadores de sustentabilidade como ferramenta de apoio a gestão pública de resíduos da construção civil em municípios de pequeno porte**. 2012.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Org). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2010

IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas). **Relatório de mudanças climáticas**. 2018. Disponível em <<https://www.ipcc.ch/>> acesso: 21/04/2019

JOHN, Vanderley M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. **São Paulo**, v. 102, 2000.

MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. Rima, 2005.

MARQUES NETO, José da Costa; SCHALCH, Valdir. Gestão dos resíduos de construção e demolição: estudo da situação no município de São Carlos-SP, Brasil. **Revista Engenharia Civil**, v. 36, 2010.

MARTÍNEZ-MOLINA, W. et al. Concreto reciclado: uma revisão. **Revista ALCONPAT**, v. 5, n. 3, p. 235-248, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 1ª edição Brasileira. 3ª Edição em inglês. **São Paulo. Brasil**, 2008.

MILANEZ, Bruno. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação**. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MORAIS G. M. D. **Diagnóstico da Disposição Clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em Bairros Periféricos de Uberlândia**: Subsídios para uma Gestão Sustentável. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

PINHEIRO, L. M. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. 2007. 380f. **Escola de Engenharia de São Carlos–USP. SP**, 2007.

PINTO, Tarcísio de Paulo et al. Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP. **São Paulo: Sinduscon**, 2005

POSSA, Suelen Alexandre; ANTUNES Elaine Guglielmi Pavei. Proposta de reutilização do resíduo de cerâmica vermelha proveniente da construção civil e demolições no município de Criciúma. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 22, 2016.

QUADROS S. **Gestão de resíduos para a construção civil** – proposta para lagoa vermelha – RS. Instituto de Pós-graduação ou graduação – Porto Alegre, 2014.

SILVA, Alex FF. **Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de Acordo com a Resolução CONAMA Nº. 307/02–Estudo de Caso para um Conjunto de Obras de Pequeno Porte**. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Minas Gerais, 2007.

VALVERDE F. B. **Agregados para a Construção Civil**. Balanço Mineral Brasileiro 2001. Disponível em < <http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-agregados-para-construcao-civil/view> > acessado> 30/05/2019 00:40:16

ZANNA, Caio Dalla. **Proposta de Sistema Informatizado de Monitoramento e Controle da Gestão de Resíduos Sólidos de Construção Civil para Empresas Construtoras**. 2014. Dissertação de conclusão de curso (Mestrado em Engenharia das Edificações e Saneamento), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

ZORTEA J. **Agregados reciclados de resíduos de construção e demolição: remoção de contaminantes por separação por densidade para utilização em concreto.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 201

