

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JULIANE DOS SANTOS SIRTOLI

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA**

GUARAPUAVA

2022

JULIANE DOS SANTOS SIRTOLI

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF CONCRETE WITH THE PARTIAL
REPLACEMENT OF COARSE AGGREGATE BY RED CERAMIC WASTE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Msc. Marcela Maier Farias Czap

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JULIANE DOS SANTOS SIRTOLI

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 27/junho/2022

Marcela Maier Farias Czap
Mestra em Construção Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dyorgge Alves Silva
Mestre em Estruturas e Construção Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gessica Katalyne Bilcati
Mestra em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

Dedico este trabalho aos meus pais, Jose Airton e Cleonice, a toda minha família por todo o apoio recebido, e ao meu esposo, Fabricio, pelo seu incentivo e pela paciência comigo naqueles dias tão atarefados que precederam a entrega deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e a sabedoria que concedeu a mim, por tudo o que já conquistei e o que ainda irei conquistar.

Aos meus pais, Jose Airton e Cleonice, os maiores mestres da minha vida, e meu irmão Vinícios, que sempre acreditaram em mim, apesar das circunstâncias mostrem o contrário, e todo o incentivo a não desistir desta jornada.

Sou grata ao meu marido, Fabricio, que nunca me recusou amor, apoio e incentivo. Obrigada por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse. Sem você ao meu lado o trabalho não seria concluído.

Agradeço a minha orientadora, Professora Mestra Marcela Czap, que cedeu seu tempo e sabedoria para me guiar da melhor forma possível na conclusão desde trabalho.

A técnica de laboratório de materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Guarapuava, Rafaela Salvador, por toda orientação e disponibilidade e apoio prestados em todos os momentos no laboratório.

Aos meus amigos de curso, especialmente Tabata Morozini, com quem convivi intensamente estes últimos anos, pelo companheirismo, pelo compartilhamento de tantos momentos de descobertas e aprendizado ao longo deste percurso.

A esta Universidade, seu corpo docente, servidores e colaboradores, pela oportunidade de uma graduação de nível superior de excelência e qualidade.

Por fim, agradeço a todos que estiveram presente na minha caminhada acadêmica até aqui, contribuindo para o término desta etapa de minha vida.

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o
que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o
que era antes.
(Martin Luther King).

RESUMO

A indústria da construção civil é uma grande geradora de resíduos, denominados de resíduos de construção e demolição (RCD). Por isso há uma preocupação com a correta destinação desses resíduos e a geração de impactos ambientais decorrentes. Tendo em vista que os recursos naturais estão cada vez mais escassos, é desejável que a reutilização de resíduos, no desenvolvimento dos materiais, seja uma iniciativa recorrente, tanto no setor privado quanto no setor público. Essas alternativas podem colaborar para o desenvolvimento sustentável na construção civil. A utilização dos resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em concretos, na substituição dos agregados graúdos, brita, é uma das possibilidades de reutilização dos RCDs. Diante disto, este trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade do emprego de RCV na substituição parcial do agregado graúdo em concretos convencionais. Foram elaborados traços para concretos de referência, e com substituição parcial do agregado graúdo, em diferentes porcentagens, por RCV. Posteriormente foram realizados ensaios nos concretos tanto no estado fresco quanto endurecido, para avaliação de seu desempenho. Ao final do projeto foram analisados todos os resultados obtidos, e conclui-se que há perda de resistência no concreto conforme o aumento de RCV na mistura, há também uma maior absorção de água do concreto devido a cerâmica vermelha ser um material mais poroso que a pedra brita, podendo-se assim, este concreto ser utilizado para vedação e contra piso, sem fins estruturais.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha; Construção sustentável; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry is a major generator of waste, called construction and demolition waste (CDW). That is why there is a concern with the correct destination of this waste and the generation of environmental impacts that result from it. Given that natural resources are becoming increasingly scarce, it is desirable that the reuse of waste in the development of materials becomes a recurring initiative in both the private and public sectors. These alternatives can contribute to sustainable development in civil construction. The use of red ceramic waste (RCV) in concrete, in the substitution of coarse aggregates, gravel, is one of the possibilities of reusing CDW. Given this, this work aims to evaluate the possibility of using RCV in the partial replacement of coarse aggregate in conventional concretes. Traces were elaborated for reference concretes, and with partial replacement of coarse aggregate, in different percentages, by RCV. Subsequently, tests were performed on both fresh and hardened concrete to evaluate their performance. At the end of the project all the results obtained were analyzed, and it was concluded that there is a loss of strength in the concrete as the RCV increases in the mixture, there is also a greater absorption of water in the concrete because the vermelite ceramic is a more porous material than the gravel, so this concrete can be used for sealing and counterfloor, without structural purposes.

Keywords: Red ceramics; Sustainable construction; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fluxograma de desenvolvimento do projeto o de pesquisa.....	25
Figura 2. Curva de Abrams.....	37
Fotografia 1. Cimento utilizado para dosagem do concreto (CP II-Z-32)	26
Fotografia 2. Peneiras utilizadas para o ensaio de granulometria.....	29
Fotografia 3. Máquina abrasão de "Los Angeles"	32
Fotografia 4. Ensaio de consistência do concreto (<i>Slump Test</i>)	41
Fotografia 5. Abatimento do concreto - <i>Slump Test</i>	42
Fotografia 6. Moldagem dos CP's.....	45
Fotografia 7. Identificação dos CP's.....	46
Fotografia 8. Armazenamento dos CPs em tanque com solução de cal hidratada	46
Fotografia 9. Máquina de compressão dos CP's	48
Fotografia 10. Rompimento do CP.....	48
Fotografia 11. Slump teste de concreto firme.....	54
Fotografia 12. Slump Test concreto plástico	55
Gráfico 1. Curva granulométrica e zonas de utilização do agregado miúdo	50
Gráfico 2. Curva granulométrica e zonas de classificação do agregado graúdo	51
Gráfico 3. Força aplicada no ensaio de compressão dos CP's.....	57
Gráfico 4. Resistência à compressão dos CP's.....	57
Quadro 1. Classificação do Cimento Portland.....	16
Quadro 2. Distribuição granulométrica	17
Quadro 3. Fatores que influenciam a trabalhabilidade	18
Quadro 4. Descrição das classes dos RCD	20
Quadro 5. Ensaio realizados para caracterização dos agregados.....	28
Quadro 6. Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto	36
Quadro 7. Classificação da areia segundo o módulo de finura	38
Quadro 8. Limite de abatimento no Slump Test	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Carga abrasiva para ensaio de abrasão de "Los Angeles"	33
Tabela 2. . Massa mínima da amostra para ensaio de determinação de umidade total.....	34
Tabela 3. Consumo de água de acordo com o valor do abatimento e dimensão máxima do agregado graúdo	37
Tabela 4. Volume do agregado de acordo com o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima do agregado.....	38
Tabela 5. Idades de rompimento dos CP's.....	47
Tabela 6. Análise granulométrica agregado miúdo.....	50
Tabela 7. Análise granulométrica agregado graúdo natural e reciclado.....	51
Tabela 8. Comparativo das propriedades de caracterização dos agregados graúdos natural e reciclado.....	52
Tabela 9. Quantitativo de materiais	53
Tabela 10. Traços de concreto	53
Tabela 11. Propriedades do concreto fresco	55
Tabela 12. Forma aplicada e resistência a compressão dos CP's	56
Tabela 13. Média aritmética da resistência a compressão	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	EMBASAMENTO TEÓRICO	15
3.1	Concreto	15
3.1.1	Constituintes do concreto	15
<u>3.1.1.1</u>	<u>Cimento Portland</u>	<u>15</u>
<u>3.1.1.2</u>	<u>Agregados</u>	<u>16</u>
<u>3.1.1.3</u>	<u>Água</u>	<u>17</u>
3.1.2	Propriedades do concreto	17
<u>3.1.2.1</u>	<u>Estado fresco</u>	<u>18</u>
3.1.2.1.1	<i>Trabalhabilidade</i>	18
3.1.2.1.2	<i>Consistência</i>	18
<u>3.1.2.2</u>	<u>Estado endurecido</u>	<u>18</u>
3.1.2.2.1	<i>Resistência a compressão</i>	19
3.2	Resíduos de construção e demolição (RCD)	19
3.2.1	Definição	19
3.2.2	Classificação	20
3.2.3	Destinação	20
3.2.4	Resíduo de cerâmica vermelha (RCV)	21
3.3	Dosagem do Concreto	22
3.3.1	Método ABCP	22
3.4	Concreto produzido com RCV	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Materiais	26
4.1.1	Cimento	26
4.1.2	Agregados naturais	26
4.1.3	Resíduo de cerâmica vermelha (RCV)	26
4.1.4	Água	27
4.2	Métodos	27
4.2.1	Caracterização dos agregados naturais e reciclado	28
<u>4.2.1.1</u>	<u>Determinação da composição granulométrica</u>	<u>28</u>

4.2.1.2	<u>Determinação da massa unitária e volume de vazios</u>	<u>29</u>
4.2.1.3	<u>Agregado graúdo e RCV - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água</u>	<u>30</u>
4.2.1.4	<u>Ensaio de abrasão de “Los Angeles”</u>	<u>32</u>
4.2.1.5	<u>Determinação do teor de umidade total.....</u>	<u>33</u>
4.2.1.6	<u>Agregado miúdo - Determinação da massa específica</u>	<u>34</u>
4.2.1.7	<u>Agregado miúdo - Determinação da absorção de água</u>	<u>35</u>
4.2.2	Dosagem do concreto	35
4.2.2.1	<u>Fixação da relação água/cimento (a/c).....</u>	<u>36</u>
4.2.2.2	<u>Consumo de água (C_a).....</u>	<u>37</u>
4.2.2.3	<u>Consumo de cimento (C).....</u>	<u>37</u>
4.2.2.4	<u>Consumo de agregados (C_m; C_b e C_{RCV})</u>	<u>38</u>
4.2.2.5	<u>Traço do concreto.....</u>	<u>40</u>
4.2.3	Concreto no estado fresco	40
4.2.3.1	<u>Consistência do concreto</u>	<u>41</u>
4.2.3.2	<u>Massa específica, rendimento e teor de ar do concreto fresco</u>	<u>42</u>
4.2.4	Moldagem e cura dos corpos de prova	44
4.2.5	Concreto no estado endurecido	47
4.2.5.1	<u>Resistência a compressão</u>	<u>47</u>
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	Caracterização dos agregados.....	50
5.1.1	Composição granulométrica.....	50
5.1.2	Propriedades agregado graúdo natural e reciclado.....	52
5.2	Dosagem do concreto	53
5.3	Concreto no estado fresco	53
5.3.1	Slump test – abatimento do concreto	53
5.3.2	Massa específica do concreto	55
5.4	Concreto no estado endurecido.....	56
6	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Os RCVs representam de 5% a 20% dos resíduos de construção e demolição gerados no Brasil, dado que varia dependendo do nível de controle tecnológico das indústrias. É válido salientar que a indústria de cerâmica vermelha, no Brasil, ainda é bastante artesanal e possui pouca tecnologia em comparação com as demais categorias construtivas, por este motivo não é muito eficaz em técnicas de controle de qualidade, apresenta grande geração de resíduos, e um descuido considerável com a destinação destes resíduos (ANICER, 2020).

Tendo em vista a importância da reutilização de RCD, com o propósito de removê-los do meio ambiente e com a possibilidade de utilizá-los como matéria-prima para outros materiais, nota-se uma variedade de possibilidades para a reutilização do RCV, incorporando-o em outros materiais construtivos. Diversos estudos já comprovam a eficácia da reutilização deste resíduo em aterros para pavimentação, mas algumas pesquisas indicam a possibilidade de que ele pode também ser, utilizado em argamassas, concretos ou na fabricação do cimento (ARAÚJO, 2017; CASTRO *et al.*, 2017; MEDEIROS *et al.*, 2016; MORAIS *et al.*, 2020; QUADIR, 2018).

Pesquisas demonstram que a substituição parcial dos agregados graúdos por RCV, na fabricação de concretos, reduzem a resistência mecânica e provocam um aumento na retração e na porosidade. Já com a substituição dos agregados miúdos (areia) pelos RCV verificou-se melhorias nessas propriedades (CABRAL *et al.*, 2009).

Testes em laboratórios comprovam que a substituição dos agregados graúdos e miúdos pelos de RCV, gerado principalmente pela quebra no transporte da cerâmica, nos teores de 20% e 40% apresentam uma melhora significativa na trabalhabilidade e no ganho de resistência aos 28 dias (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Pesquisas também nos mostram que a substituição parcial dos agregados graúdos pelos RCV pode melhorar a cura interna no concreto, visto que a cerâmica vermelha retém mais água devido a sua grande capacidade de absorção e, assim, disponibiliza gradativamente, água para as reações de hidratação (FIGUEIREDO, VARGAS, 2016).

Diante disto, este estudo visa analisar o desempenho de concretos com a substituição parcial do agregado graúdo por resíduos de cerâmica vermelha, com o objetivo de reduzir custos, e impactos ambientais ligados ao uso destes materiais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O projeto de pesquisa tem como objetivo geral analisar o desempenho de concretos com a substituição parcial do agregado graúdo natural por resíduos de cerâmica vermelha.

2.2 Objetivos específicos

- I. Caracterizar o agregado de RCV utilizado;
- II. Avaliar características de concretos, no estado fresco e endurecido, produzidos com a substituição parcial do agregado graúdo natural pelos agregados produzidos com RCV;

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Concreto

O concreto é uma mistura composta essencialmente por cimento, agregados e água, podendo conter aditivos químicos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, desde que sejam utilizados em proporções adequadas (HELENE; ANDRADE, 2010). O Concreto também é definido como uma pedra artificial que se molda a qualquer forma no estado fresco, e no seu estado endurecido atinge uma elevada resistência (LIMA, *et al.*; 2013).

Um dos materiais estruturais mais importante existente hoje na atualidade é o concreto, que está presente na construção de casas de alvenaria, edifícios, rodovias, obras de arte (pontes, viadutos, túneis), usinas hidrelétricas e obras de saneamento (PEDROSO, 2009). O concreto é o segundo material mais produzido no mundo, perdendo apenas para a água potável (SANTOS, 2013).

3.1.1 Constituintes do concreto

3.1.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland surgiu em 1824, na Inglaterra, uma criação de Joseph Aspdin. O material apresentava certa semelhança quanto a cor e dureza de uma pedra originária da ilha Portland, a qual era muito usada nas construções, por este motivo o inglês patenteou o material como cimento Portland (AMBROZSWICZ, 2012).

A contribuição do cimento para os concretos e argamassas está voltada quanto a sua resistência mecânica. Além disso, por ser composto por finas partículas promove a retenção da água na mistura e a plasticidade. Quando maior a quantidade de cimento presente na mistura, maior será a retração, por outro lado, maior também será a aderência à base. De acordo com essas características os cimentos são classificações em diferentes tipos e por normas específicas, de acordo com o Quadro 1 (SZLAK *et al.*, 2002).

Quadro 1. Classificação do Cimento Portland

Denominação	Sigla	Norma
Portland comum	CP I	NBR – 5732
Portland composto com escória	CP II-E	NBR - 11578
Portland composto com pozolana	CP II-Z	NBR - 11578
Portland composto com filler	CP II-F	NBR - 11578
Portland de alto forno	CP III	NBR - 5735
Portland pozolânico	CP IV	NBR - 5736
Portland de alta resistência inicial	CP V – ARI	NBR - 5733

Fonte: SZLAK *et al.* (2002)

3.1.1.2 Agregados

Segundo a ABNT NBR 9935, os agregados são matérias granulares, geralmente inertes, sem forma e volume definidos (ABNT, 2011).

Para construção civil, os agregados são utilizados para produção de argamassas e concretos, preenchendo 85% do volume e, assim, reduzindo o custo da obra sem causar prejuízo à resistência mecânica dos elementos das edificações (PINHEIRO, 2020).

Segundo a ABNT NBR 7211 classifica-se os agregados em miúdo e graúdo, de acordo com o tamanho dos grãos (ABNT, 2009):

- Agregado miúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm.
- Agregado graúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm.

Os agregados mais utilizados na construção civil são: rachão, gabião, brita graduada, brita corrida, pedra (ou brita) 1, pedra (ou brita) 2, pedra (ou brita) 3, pedra (ou brita) 4, pedra (ou brita) 5, pedrisco (ou brita 0), pó de pedra e areia. Esses materiais são classificados de acordo com a distribuição granulométrica descritas pela ABNT NBR 7211 (2009), conforme o Quadro 2 (PINHEIRO, 2020).

Quadro 2. Distribuição granulométrica

Material	Faixa granulométrica (mm)
Agregado miúdo	
Pó de pedra ou areia	150µm a 4,75 (ótimo)
	150µm a 6,3 (utilizável)
Agregado graúdo	
Pedrisco limpo (pedra 0)	4,75 a 12,5
Pedrisco misto	150µm a 12,5
Pedra 1	9,5 a 25
Pedra 2	19 a 31,5
Brita graduada	150µm a 25
Brita corrida	150µm a 45
Pedra 3	25 a 50
Pedra 4	37,5 a 75
Rachão gabião	75 a 125
Rachão	125 a 450

Fonte: adaptado de NBR 7211 (2009)

3.1.1.3 Água

A água é utilizada com duas funções: (1) para possibilitar a reação de hidratação e endurecimento do cimento Portland e; (2) para homogeneizar a mistura. Para cada traço de concreto, se estabelece uma quantidade distinta de água a fim de proporcionar trabalhabilidade adequada, de acordo com a sua finalidade, e de garantir a resistência requerida (ABCP, 2002).

Recomenda-se, para a elaboração de misturas com o cimento Portland, a utilização de água potável. Não é aconselhado a utilização de águas contaminadas ou com excesso de sais solúveis. A água para o amassamento de argamassas e concretos deve seguir as recomendações da NBR NM 137 (1997) (SZLAK *et al.*, 2002).

3.1.2 Propriedades do concreto

O endurecimento do concreto pode ser dividido em dois estágios: fresco e endurecido. O primeiro é quando o material se encontra em um estado plástico, e o segundo é quando o material começa a desenvolver resistência (ABNT, 2015).

O estado fresco tem uma duração de 1 a 5 horas e é o intervalo de tempo necessário para que o concreto possa ser misturado, transportado, lançado e adensado. Já o estado endurecido se inicia com a hidratação do cimento Portland, proporcionando a rigidez do concreto através do desenvolvimento de cristais

gradativamente, até obter a resistência característica de projeto, aos 28 dias de idade. (HELENE; ANDRADE, 2010).

3.1.2.1 Estado fresco

3.1.2.1.1 *Trabalhabilidade*

O concreto no estado fresco destaca-se quando a sua trabalhabilidade. Um concreto com boa trabalhabilidade é aquele que apresenta características adequadas aos métodos de lançamento, adensamento e acabamento conforme o tipo de obra em que irá ser aplicado (BAUER, 2014).

Fatores internos e externos podem afetar a trabalhabilidade do concreto, os quais estão relacionados no Quadro 3 (Petrucci, 1998).

Fatores internos	Fatores externos
Consistência, a qual está ligada ao fator água/cimento.	O tipo de mistura, manual ou mecanizada.
O traço do concreto, em relação a proporção entre o agregado e o cimento.	Tipo de transporte, lançamento e adensamento.
A proporção da granulometria do concreto, relação entre agregado miúdo e graúdo.	Tamanho e armadura da peça a ser concretada.
Forma e tamanho dos grãos dos agregados.	
Uso ou não de aditivos.	

Fonte: Petrucci (1998)

3.1.2.1.2 *Consistência*

A consistência do concreto pode ser medida através de alguns ensaios laboratoriais, dentre eles, ensaios de abatimento, penetração, escorregamento, compactação e remoldagem (BAUER, 2014).

3.1.2.2 Estado endurecido

O entendimento das propriedades, possibilidades e limitações do concreto no estado endurecido permite escolher o traço adequado para a aplicação em suas obras (BAUER, 2014).

O concreto no seu estado endurecido tem como principal propriedade a resistência à compressão, porém a durabilidade e permeabilidade também são consideradas de grande importância.

3.1.2.2.1 Resistência a compressão

A resistência à compressão é uma propriedade que tem forte relação com a qualidade do concreto, e ainda é a principal propriedade determinada nos projetos estruturais (NEVILLE, 2016).

Os fatores que podem interferir na resistência à compressão do concreto são (PETRUCCI, 1998):

- a) Relação água/cimento na mistura;
- b) Idade do concreto;
- c) Forma e granulometria dos agregados;
- d) Forma e tamanho dos corpos de prova;
- e) Velocidade e duração da carga durante um ensaio de compressão.

3.2 Resíduos de construção e demolição (RCD)

3.2.1 Definição

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados em construções, reformas ou demolições, e são compostos por diversos materiais, como: blocos cerâmicos, concreto em geral, madeiras, argamassa, gesso, dentre outros (ANGULO *et al*, 2011).

Os RCD são produzidos em todas as etapas da construção civil, com grande geração de resíduos, se fazendo presente do início ao fim da obra (KARPINSKI, *et al*, 2009).

No Brasil, os procedimentos a serem aplicados no controle e destinação dos RCD devem ser seguidos de acordo com a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, de 05 de julho de 2002, com o intuito de reduzir os resíduos gerados pela construção civil (TESSARO; SÁ; SCREENIN, 2012).

De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), os resíduos de construção e demolição são:

[...] os provenientes de construção, 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 (CONAMA, 2002).

3.2.2 Classificação

Os RCD são classificados em A, B, C e D. No Art. 3º da Resolução nº 307/2002 do CONAMA, está definido os materiais que compõe cada classe, como descrito no Quadro 4.

Quadro 4. Descrição das classes dos RCD

Classe	Descrição
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem. Componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.) argamassa e concreto. De processo de fabricação e demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas em canteiros de obras.
B	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias e aplicações economicamente viáveis que permitam reciclagem.
D	Resíduos perigosos, vindos do processo de construção, como tintas solventes, óleo e outros materiais contaminados ou prejudiciais à saúde. Demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, entre outros. Telhas e materiais que contenham amianto ou outros produtos prejudiciais a saúde.

Fonte: adaptado da Resolução nº 302 do CONAMA (2002)

3.2.3 Destinação

Os RCD descartados de maneira inadequada poluem o solo, degradam paisagens, constituem ameaças à saúde pública. O acúmulo desses resíduos em local inapropriado atrai resíduos não-inertes, oferecendo, água, alimento e abrigo para animais peçonhentos, tornando o local um nicho ecológico de muitas espécies de vetores patogênicos (SCHNEIDER, 2003).

Para avaliar o nível de impacto que os RCD causam ao meio ambiente é possível fazer uma hierarquia da disposição dos resíduos, apresentadas da seguinte forma (KARPINSKI, *et al*, 2009):

1. Redução da geração de resíduos: alternativa com maior eficácia, com ponto de vista econômico;
2. Reutilização dos resíduos: processo com o mínimo de energia, simples movimentação de materiais de uma aplicação para outra;

3. Reciclagem dos resíduos: transformação dos resíduos em novos produtos;
4. Compostagem dos resíduos: transformação da parte orgânica em húmus para o tratamento do solo;
5. Aterramento dos resíduos: utilizado quando não há mais como reaproveitar os resíduos.

No Brasil, são gerados cerca de 47 milhões de toneladas por ano de RCD, e dentre estes resíduos grande parte poderia ser reutilizada como adições minerais para concretos e argamassas, entre eles, o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) (ABRELPE, 2021).

A redução dos impactos ambientais causados pelos RCD é uma tarefa complexa, por isso, é primordial agir em várias frentes de maneira combinada e simultânea (JOHN, 2000).

3.2.4 Resíduo de cerâmica vermelha (RCV)

Chama-se cerâmica à pedra artificial proveniente da moldagem, secagem e cozedura de argilas, ou misturas contendo argilas. Nos materiais cerâmicos a argila fica aderida a uma pequena quantidade de vidro, o qual é gerado pela ação do calor de cozimento sobre os componentes da argila (BAUER, 2014).

A cerâmica vermelha é todo material que apresenta coloração avermelhada, como tijolos, telhas, blocos, elementos vazados, tubos, argila expandida e utensílios domésticos (ABCERAM, 2016). Os materiais cerâmicos são um dos mais utilizados na construção civil, presentes em diversas etapas de uma obra (PÉREZ; *et al*, 2010).

A composição das cerâmicas consiste na queima em altas temperaturas de 900° a 1100° C, da argila com algumas impurezas presentes, como matéria orgânica e ferro. Em seguida do processo de queima, as cerâmicas apresentam a coloração avermelhada em virtude da presença de ferro na composição da argila (ISAIA, 2010).

A utilização da cerâmica vermelha corresponde a 4,8% na indústria da construção civil no Brasil. Os resíduos gerados por essa atividade chegam em torno de 70 milhões de toneladas por ano, sendo estes: segmentos de peças cerâmicas oriundas das perdas no processo de fabricação, transporte e manuseio, e também gerados na construção civil. (ANICER, 2020).

Os blocos cerâmicos são utilizados em grandes quantidades por empresas na área da construção civil, por este motivo é de vital importância a adoção de métodos eficazes para o controle de perdas para esses blocos, buscando diminuição da

geração de resíduos e redução dos impactos ambientais causados pelos mesmos (DINIZ; *et al*, 2013).

Os RCV pertencem aos resíduos classe A, de acordo com a Resolução nº 307/2002 do CONOMA. Este resíduo pode ser reutilizado ou reciclado na forma de agregado, tanto graúdo como miúdo, sendo preparados de forma adequada para utilização ou reciclagem futura. Os resíduos de Classe A são considerados inertes, porém, podem ser analisados e, apresentando atividade pozolânica, serem considerados não inertes (ALCANTARA, 2012).

3.3 Dosagem do Concreto

A dosagem do concreto consiste em selecionar os componentes mais adequados, dentre os materiais disponíveis, e determinar a combinação mais econômica para produção do concreto, com características mínimas de desempenho, onde os requisitos mais importantes são a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, e a resistência em seu estado endurecido (METHA & MONTEIRO, 1994 apud DURAN & FRACARO, 2011).

No decorrer dos anos, surgiram diversos métodos de dosagem propostos por diversos pesquisadores, dentre eles SNCF, ACI, ABCP, IBRACON, etc., e ainda, não há um consenso sobre um método que poderia embasar a elaboração de uma norma brasileira. A ABNT NBR 12655:2015 é a norma brasileira mais diretamente ligada ao tema, a qual consolida condições exigíveis para o preparo, controle e recebimento do concreto (BAUER, 2019).

3.3.1 Método ABCP

O Método ABCP consiste em uma adaptação do método de dosagem da *American Concrete Institute* (ACI), o qual fornece uma aproximação da quantidade de materiais e implica primeiramente na caracterização desses para a realização da dosagem do concreto (AMBROZEWICZ, 2012).

De acordo com o método, primeiramente são determinadas as características dos materiais utilizados na confecção do concreto. Para o cimento é considerado a tipologia utilizada, a massa específica e a resistência a compressão aos 28 dias indicada pelo fabricante. Já para os agregados são realizados ensaios de granulometria, no qual obtém-se o módulo de finura do agregado miúdo e a dimensão

máxima do agregado graúdo, além de ensaios para obtenção da massa específica, como (BAUER, 2014):

- Massa específica do cimento;
- Resistência normal à compressão do cimento aos 28 dias de idade;
- Massa específica dos agregados graúdos e miúdos;
- Massa unitária compactada seca dos agregados graúdos;
- Dimensão máxima característica dos agregados;
- Módulo de finura dos agregados miúdos.

3.4 Concreto produzido com RCV

O RCV nada mais é que uma argila calcinada, e por este motivo pode atuar como pozolana, sendo de interesse na reutilização desse material para a dosagem de concretos e argamassas (GONÇALVEZ; FILHO; FAIRBAIRN, 2006).

Além de contribuir para a redução de impactos ambientais, a reutilização desses resíduos contribui para viabilizar construções sustentáveis, visto que reduz a extração de recursos naturais e também evita o acúmulo de uma boa parcela de resíduos em aterros. Netto (2006) verificou um ganho significativo no desempenho de concretos e argamassas que utilizam RCV na dosagem, tanto no seu estado fresco como endurecido, melhorando suas propriedades mecânicas e durabilidade.

Wada (2010), apresentou uma dissertação sobre a incorporação de resíduos de cerâmica vermelha no concreto para uso em estacas moldadas in loco. De acordo com a sua pesquisa, foram realizados testes com a substituição parcial do agregado miúdo, pelo RCV em proporções de 20, 40, 60 e 80%. Com base em todas as análises e comparações foi comprovado o aumento da resistência do concreto com o uso dos resíduos nos primeiros 7 dias de cura e seu aumento no decorrer das idades de cura, mostrando resultados positivos para os estudos.

Stroher, *et al* (2017), afirmam em seu estudo, denominado “Utilização da Cerâmica de Entulho na Substituição do agregado Graúdo do Concreto”, que quanto maior a presença de cerâmica no concreto, maior será a quantidade de água, ou seja, quanto maior a porcentagem de substituição do agregado graúdo natural por RCV maior será a relação água/cimento, provando assim, que a cerâmica vermelha absorve mais água que a pedra brita e, conseqüentemente, há perda de resistência no concreto.

Substituições de 50% do agregado graúdo pelo RCV em concretos não apresentam resultados favoráveis, apresentando valores de resistência inferiores a 20 MPa, o mínimo exigido pela norma para concreto estrutural, tornando este concreto inadequado para fins estruturais, porém ainda útil para obras em que não há necessidade de altas resistências à compressão, como por exemplo, execução de calçadas (Stroher, *et al*, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desempenho de concretos com a substituição parcial do agregado graúdo pelo RCV, os quais foram coletados por resíduos de blocos cerâmicos, foi avaliado através de ensaios laboratoriais realizados na UTFPR, campus Guarapuava.

Utilizou-se o método experimental e análise objetiva de seus resultados para elaboração desde projeto de pesquisa.

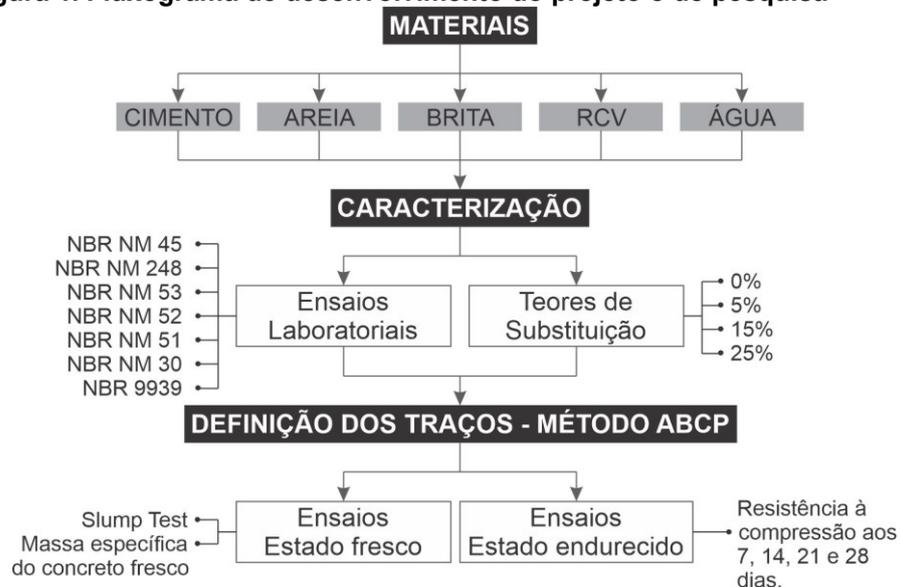
No decorrer do desenvolvimento do projeto identificou-se o desempenho do material, utilizando o agregado reciclado em seu traço, em comparação com materiais tradicionais naturais utilizados na construção civil, por meio de testes de resistência mecânica.

As atividades desenvolvidas nesta pesquisa foram os seguintes:

1. Coleta dos RCV;
2. Preparação e caracterização do material reciclado;
3. Definição dos traços de concreto pelo método ABCP;
4. Ensaios laboratoriais seguindo as recomendações das Normas Brasileiras;
5. Análise dos resultados obtidos.

A Figura 1 demonstra os processos desenvolvidos no decorrer do projeto.

Figura 1. Fluxograma de desenvolvimento do projeto o de pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2022)

4.1 Materiais

4.1.1 Cimento

Para o estudo utilizou-se o Cimento Portland CP-II-Z-32 da marca Votoran (Fotografia 1), composto por 94-76% de clínquer + sulfatos de cálcio, 6-14% de material pozolânico e 0-10% de material carbonático, normatizado pela NBR 11578 (ABNT, 1991).

Fotografia 1. Cimento utilizado para dosagem do concreto (CP II-Z-32)



Fonte: Autoria Própria (2022)

A escolha do material deu-se pelo fato de ser um cimento largamente empregado em concretos na região de Guarapuava-PR.

4.1.2 Agregados naturais

Os agregados naturais, tanto o miúdo (areia) quanto o graúdo (brita), foram fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, os quais foram manuseados e transportados de acordo com as recomendações da NBR 16915: agregados – amostragem (ABNT, 2021).

Para ambas as amostras a caracterização deu-se seguindo ensaios laboratoriais regidas por normas brasileiras, no laboratório de materiais da Universidade.

4.1.3 Resíduo de cerâmica vermelha (RCV)

O RCV foi obtido através de blocos cerâmicos disponibilizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Guarapuava.

Os blocos cerâmicos foram quebrados e posteriormente colocados na máquina de abrasão de Los Angeles juntamente com bolas de ferro fundido, com o objetivo de desgastar o resíduo para obtenção da granulometria desejada.

Para obtenção da granulometria correta, após o desgaste na máquina de abrasão de Los Angeles, os resíduos passaram por peneiramento, conforme recomendado pela NBR 7211: Agregados para concreto – especificação. Os resíduos que passaram pela peneira com malha de 19mm e ficaram retidos na peneira de malha 9,5mm foram os utilizados, os chamados agregados graúdos.

4.1.4 Água

Utilizou-se água fornecida pela Universidade Tecnológica federal do Paraná, proveniente da rede de abastecimento de água da cidade de Guarapuava-Pr, a Sanepar – Companhia de Saneamento do Paraná.

4.2 Métodos

A metodologia deste estudo iniciou-se com a caracterização dos materiais. Posteriormente, a partir do método ABCP, efetuou-se a dosagem do concreto, primeiramente um traço de referência, seguido dos traços com substituições do agregado graúdo natural por RCV. Feito isso, avaliou-se as propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido.

Obteve-se o traço de referência a partir de diversos ensaios de caracterização dos materiais, apresentado no Quadro 5, a partir desses resultados obteve-se os traços do concreto com substituições de 5, 15 e 25 % do agregado graúdo natural por RCV.

Stroher, *et al* (2017), afirma que concretos com substituições em até 50% do agregado graúdo por RCD há perda de resistência, e que, comparando substituições de 25 a 50% a diferença é mínima, portanto para este estudo optou-se por teores de substituição até 25%.

Quadro 5. Ensaio realizados para caracterização dos agregados

Norma Brasileira	Ensaio	Agregado
ABNT NBR NM 248 (2003)	Determinação da composição granulométrica	Graúdo e miúdo natural; RCV
ABNT NBR NM 45 (2006)	Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios	
ABNT NBR NM 53 (2009)	Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água	Graúdo natural; RCV
ABNT NBR NM 51 (2000)	Agregado graúdo – ensaio de abrasão de “Los Angeles”	
ABNT NBR 9939 (2011)	Agregado graúdo – determinação do teor de umidade total – método de ensaio	
ABNT NBR 9776 (1987)	Agregados– determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman	Miúdo natural
ABNT NBR NM 30 (2001)	Agregado miúdo – determinação da absorção de água	

Fonte: Autoria Própria (2022)

4.2.1 Caracterização dos agregados naturais e reciclado

4.2.1.1 Determinação da composição granulométrica

O ensaio para determinação da composição granulométrica deu-se a partir das recomendações da ABNT NBR NM 248 (2003) – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

Realizou-se este ensaio para as amostras de agregados naturais graúdo e miúdo e para o RCV, onde, primeiramente, as amostras foram colocadas em estufa a 110°C até estarem totalmente secas, ou seja, sem alteração em seu peso. Encaixou-se as peneiras de malhas, 3,35 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm e 150 µm (Fotografia 2.a), para a amostra do agregado miúdo, e de malhas 25,4mm; 19,1mm; 12,7 mm; 9,5 mm; 6,35 mm e 4,75 mm (Fotografia 2.b), para as amostras de agregado graúdo e RCV, no agitador mecânico.

Fotografia 2. Peneiras utilizadas para o ensaio de granulometria



Fonte: Autoria Própria (2022)

Promoveu-se a agitação mecânica do conjunto de peneiras por, aproximadamente, 10 minutos, para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grãos das amostras. Posteriormente, os materiais retidos em cada peneira foram pesados em uma balança digital com precisão de 0,01g. Os resultados de cada amostra foram utilizados para obtenção das curvas granulométricas.

4.2.1.2 Determinação da massa unitária e volume de vazios

O ensaio para determinação da massa unitária e volume de vazios deu-se a partir das recomendações da ABNT NBR NM 45 (2006) – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

Seguindo a Norma Brasileira, para o procedimento do ensaio, utilizou-se o “método C”, o qual é empregado para determinar a massa unitária de material no estado solto. Realizou-se este ensaio para as amostras de agregados naturais graúdo e miúdo e para o RCV.

Com isto, deu-se início ao procedimento pesando o recipiente vazio, em seguida encheu-se o recipiente com as amostras até que o mesmo transbordasse, efetuou-se o arrasamento do material e por fim realizou-se uma nova pesagem.

Para determinação da massa unitária das amostras, efetuou-se o cálculo a partir da Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

Para determinação do volume de vazios das amostras, efetuou-se o cálculo a partir da Equação 2.

$$E_V = \frac{100[(d_1\rho_{ap}) - \rho_w]}{d_1\rho_w} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

E_V é o índice de volume de vazios nos agregados, em porcentagem;

d_1 é a massa específica relativa do agregado seco, determinada conforme as NM 52 e NM 53;

ρ_w é a massa específica de água, em quilogramas por metro cúbico;

ρ_{ap} é a massa unitária média do agregado, em quilogramas por metro cúbico.

4.2.1.3 Agregado graúdo e RCV - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água

O ensaio para determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água deu-se a partir das recomendações da ABNT NBR NM 53 (2009) – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Realizou-se este ensaio para as amostras de agregados naturais graúdo e para o RCV.

Deu-se início ao procedimento pesando o recipiente vazio, o qual consiste em um cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35mm, com capacidade para 4dm³ a 7dm³ para agregados de dimensão máxima característica de 37,5mm. Em seguida, encheu-se o recipiente com as amostras e submergiu-se em água à temperatura ambiente por um período de 24 horas.

Após este período retirou-se as amostras da água e, com um pano absorvente, as mesmas foram secas até que toda a água visível fosse eliminada,

pesou-se novamente o recipiente com a amostra, e então as amostras foram levadas a estufa a uma temperatura de aproximadamente 105°C por 24 horas, e por fim realizou-se a última pesagem das amostras.

Para determinação da massa específica do agregado seco, efetuou-se o cálculo a partir da Equação 3.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

d é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a é a massa em água da amostra, em gramas.

Para determinação da massa específica do agregado seco na condição saturado superfície seca, efetuou-se o cálculo a partir da Equação 4.

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

d_s é a massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a é a massa em água da amostra, em gramas.

Para determinação da massa específica aparente, efetuou-se o cálculo a partir da Equação 5.

$$d_a = \frac{m}{m - m_a} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

d_a é a massa específica aparente, em gramas por centímetro cúbico;

m é a massa ao ar da amostra seca em estufa, em gramas;

m_a é a massa em água da amostra, em gramas.

O cálculo para absorção de água das amostras efetuou-se através da Equação 6.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m é a massa ao ar da amostra seca em estufa, em gramas.

4.2.1.4 Ensaio de abrasão de "Los Angeles"

Através da ABNT NBR NM 51 (2000) - agregado graúdo – ensaio de Abrasão de "Los Angeles", calculou-se a porcentagem de perda por abrasão dos agregados graúdos naturais e RCV.

Deu-se início ao ensaio pesando amostras de aproximadamente 5 e 4,5 quilogramas do agregado graúdo natural e RCV, aproximadamente.

As amostras foram colocadas no tambor da máquina "Los Angeles", a qual consiste em um cilindro, oco, de aço com aproximadamente 500mm de comprimento e 700mm de diâmetro (Fotografia 3), juntamente com a carga abrasiva, 12 esferas para a amostra de RCV e 11 esferas para a amostra de agregado graúdo natural.

Fotografia 3. Máquina abrasão de "Los Angeles"



Fonte: Autoria Própria (2022)

Definiu-se o número de esferas de acordo com o Tabela 1, retirada da NBR NM 51.

Tabela 1. Carga abrasiva para ensaio de abrasão de "Los Angeles"

Graduação	Número de esferas	Massa da carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15
E	12	5000 ± 25
F	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 25

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 51 (2000)

Como as graduações das amostras eram A e B, girou-se o tambor em uma velocidade entre 30 e 33 rpm até completar 500 rotações. Posteriormente retirou-se o material do tambor e fez-se o peneiramento do mesmo no agitador mecânico na peneira com abertura 2mm, o material retido foi lavado em água corrente e deixado em estufa a, aproximadamente, 105°C por 24 horas, por fim, pesou-se as amostras.

A porcentagem de perda por abrasão dos agregados calculou-se através da Equação 7.

$$P = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

P é a perda por abrasão, em porcentagem;

m é a massa da amostra seca, em gramas;

m_1 é a massa do material retido na peneira com abertura de malha de 2mm, em gramas.

4.2.1.5 Determinação do teor de umidade total

O ensaio para determinação de umidade total deu-se a partir das recomendações da ABNT NBR 9939 (2011) – Agregados – Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado gráudo. Realizou-se este ensaio para as amostras de agregados naturais gráudo e para o RCV.

Inicialmente pesou-se as amostras de acordo com o Tabela 2, com isto as amostras foram colocadas em estufa a 100°C por 2 horas, assim realizou-se a última pesagem.

Tabela 2. . Massa mínima da amostra para ensaio de determinação de umidade total

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (g)
9,5	1500
12,5	2000
19	3000
25	4000
38	6000
50	8000
76	13000

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9939 (2011)

Obteve-se o teor de umidade total através da Equação 8.

$$h = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

h é o teor de umidade total, em porcentagem;

M_i é a massa inicial da amostra, em quilogramas;

M_f é a massa final da amostra seca, em quilogramas;

4.2.1.6 Agregado miúdo - Determinação da massa específica

Seguiu-se as recomendações da ABNR NBR 9776 (2003) – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman, para determinação da massa específica do agregado miúdo.

Primeiramente colocou-se água no frasco até a marca de 200 cm³, deixando-o em repouso, para que a água aderida as faces internas escorressem totalmente; em seguida introduziu-se 500 gramas do agregado miúdo seco e efetuou-se uma agitação no frasco para que se eliminasse qualquer bolha de ar existente. Por fim, leu-se o nível atingido pela água no gargalo do frasco.

Após o ensaio realizado efetuou-se o cálculo da massa específica do agregado miúdo através da Equação 8.

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

γ é a massa específica do agregado miúdo, em quilogramas por centímetro cúbico;

L é a leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

4.2.1.7 Agregado miúdo - Determinação da absorção de água

O ensaio para determinação da absorção de água do agregado miúdo deu-se a partir das recomendações da ABNT NBR NM 30 (2000) – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.

Primeiramente pesou-se uma amostra de, aproximadamente, 1 quilograma do agregado miúdo, a qual foi colocada em um recipiente e coberta com água e deixada em repouso por 24 horas.

Após este período a amostra foi retirada da água e espalhada em uma superfície plana, proporcionando uma secagem uniforme, posteriormente a amostra foi colocada em um molde tronco-cônico metálico até a sua superfície, efetuando-se assim 25 golpes com uma haste de compactação metálica e por fim retirou-se o molde.

Como ainda havia umidade superficial, o agregado se conservou com a forma do molde, então repetiu-se o ensaio até que a amostra do agregado desmoronasse, chegando assim na condição de saturado superfície seca, e realizou-se a pesagem da amostra.

Obteve-se a absorção de água do agregado miúdo mediante a Equação 9.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturado e de superfície seca, em gramas;

m é a massa da amostra seca, em gramas.

4.2.2 Dosagem do concreto

Para este estudo utilizou-se a metodologia de dosagem publicada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em 1984 por meio do Estudo Técnico (ET-67) “Parâmetros de Dosagem de Concreto” da autoria do Eng. Públio Penna Firme Rodrigues, a qual apresenta características experimentais.

Considerou-se tabelas e gráficos elaborados a partir de informações experimentais, os quais permitem a utilização dos agregados que se enquadram nos limites propostos pela norma ABNT NBR 7211 (2009) – Agregados para concreto.

A Dosagem do Concreto pelo Método ABCP contemplou-se em uma série de etapas que se iniciou pela caracterização dos materiais constituintes, dispondo de

informações como massa específica (δ) do cimento e sua resistência aos 28 dias. Bem como Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo, dimensão máxima do agregado graúdo natural e RCV, massas específicas reais (δ) e massas unitárias (γ) dos agregados naturais e RCV.

4.2.2.1 Fixação da relação água/cimento (a/c)

Realizou-se a fixação deste parâmetro tomando como referência os critérios de resistência mecânica requerida pelo concreto nas idades de interesse a partir da ABNT NBR 12655 (2022) – Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento.

Primeiramente efetuou-se o cálculo da resistência de dosagem através da Equação 10.

$$f_{cm,28} = f_{ck,28} + 1,65 \times s_d \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

$f_{cm,28}$ é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de 28 dias, expressa em megapascals (MPa);

$f_{ck,28}$ é a resistência característica do concreto à compressão, aos 28 dias, expressa em megapascals (MPa);

s_d é o desvio-padrão da dosagem, aos 28 dias, expresso em megapascals (MPa).

Adotou-se o desvio-padrão de acordo com o Quadro 6, o qual a condição de preparo enquadrado-se em A, de acordo com as recomendações da ABNT NBR 12655, ou seja, é aplicável a todas as classes de concreto.

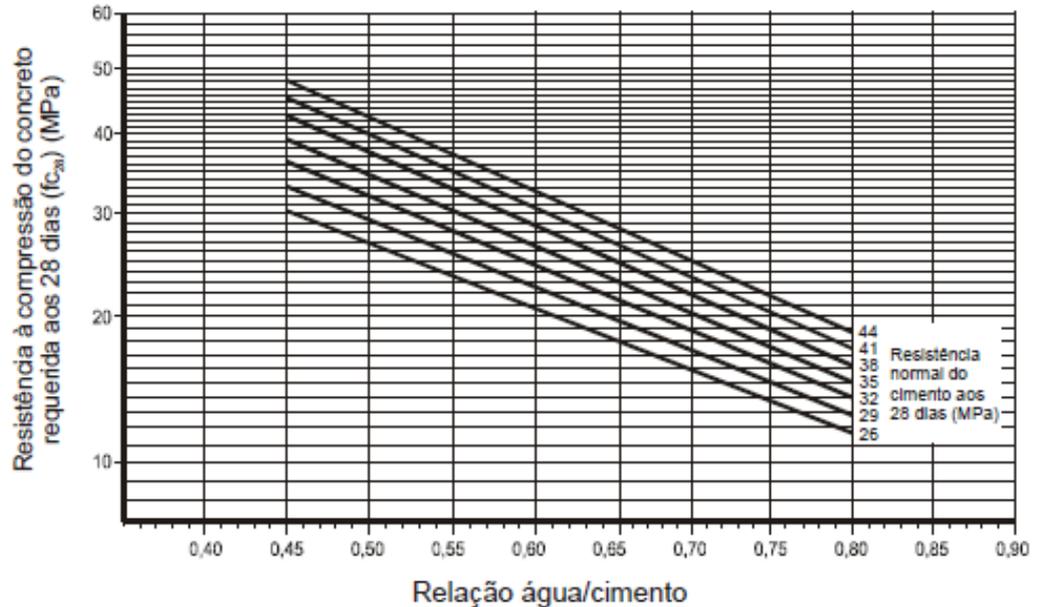
Quadro 6. Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Desvio Padrão (MPa)
A – o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.	4,0
B – o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.	5,5
C – o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da consistência do concreto.	7,0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12655 (2022)

Com isto, efetuou-se os cálculos e através da Curva de Abrams (Figura 2), obteve-se a relação água/cimento.

Figura 2. Curva de Abrams



Fonte: Rodrigues (1998)

4.2.2.2 Consumo de água (C_a)

A quantidade de água necessária para que a mistura fresca adquira uma determinada consistência, deu-se através do Tabela 3, a qual depende da granulometria, forma e textura dos grãos.

Tabela 3. Consumo de água de acordo com o valor do abatimento e dimensão máxima do agregado graúdo

Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Rodrigues (1998)

4.2.2.3 Consumo de cimento (C)

Feita a estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto e fixada a relação água/cimento, obteve-se o consumo de cimento através da Equação 11.

$$C = \frac{C_a}{(a/c)} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

C é o consumo de cimento, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

C_a é o consumo de água, em litros por metro cúbico (L/m^3);

(a/c) é a relação água cimento.

4.2.2.4 Consumo de agregados (C_m , C_b e C_{RCV})

Determinou-se um teor ótimo do agregado graúdo e RCV na mistura por meio da relação agregado graúdo/miúdo determinados experimentalmente pela ABCP, apresentados na Tabela 4, a qual apresenta os volumes compactados do agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do diâmetro máximo característico do agregado graúdo e o módulo de finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 4. Volume do agregado de acordo com o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima do agregado

MF (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,370	0,365	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,365	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues (1998)

Definiu-se o MF através do somatório das porcentagens retidas acumuladas do agregado miúdo pelo ensaio de granulometria (NBR NM 248), com isto definiu-se também a sua classificação (Quadro 7).

Quadro 7. Classificação da areia segundo o módulo de finura

MF	Classificação
MF > 3,90	Muito grossa
3,30 < MF < 3,90	Grossas
2,40 < MF < 3,30	Médias
MF < 2,40	Finas

Fonte: Autoria Própria (2022)

A partir do ensaio de granulometria do agregado graúdo natural e RCV definiu-se ainda a dimensão máxima característica dos agregados.

A partir dos dados obtidos na Tabela 4, calculou-se o consumo do agregado graúdo natural e reciclado através das Equações 12 e 13, respectivamente.

$$C_b = (V_b \times \gamma_b) \times (1 - \%_{RCV}) \quad (\text{Equação 12})$$

$$C_{RCV} = V_{RCV} \times \gamma_{RCV} \times \%_{RCV} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

C_b é o consumo do agregado graúdo natural (brita), em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

V_b é o volume do agregado graúdo natural (brita), retirado da Tabela 4, em metro cúbico (m^3);

γ_b é a massa unitária do agregado graúdo natural (brita), determinada conforme a NM 45, expressa em quilograma por metro cúbico (Kg/m^3);

$\%_{RCV}$ é a percentagem de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV;

C_{RCV} é o consumo do agregado graúdo reciclado (RCV), em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

V_{RCV} é o volume do agregado graúdo reciclado (RCV), retirado da Tabela 4, em metro cúbico (m^3);

γ_{RCV} é a massa unitária do agregado graúdo reciclado (RCV), determinada conforme a NM 45, expressa em quilograma por metro cúbico (Kg/m^3).

Com os consumos de água, cimento e agregados graúdos definidos, obteve-se o volume do agregado miúdo a partir da Equação 14.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C}{\bar{\delta}_C} + \frac{C_b}{\bar{\delta}_b} + \frac{C_{RCV}}{\bar{\delta}_{RCV}} + \frac{C_a}{\bar{\delta}_a} \right) \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

V_m é o volume do agregado miúdo natural (areia), em metro cúbico (m^3);

C é o consumo de cimento, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

$\bar{\delta}_C$ é a massa específica do cimento, fornecida pelo fabricante, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

C_b é o consumo do agregado graúdo natural (brita), em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

$\bar{\delta}_b$ é a massa específica do agregado graúdo natural (brita), determinada conforme a NM 53, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

C_{RCV} é o consumo do agregado graúdo reciclado (RCV), em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3);

$\bar{\delta}_{RCV}$ é a massa específica do agregado graúdo reciclado (RCV), determinada conforme a NM 53, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m³);

C_a é o consumo de água, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m³);

$\bar{\delta}_a$ é a massa específica da água, a qual tem seu valor já estabelecido de 998,20 Kg/m³.

Definido o volume de agregado miúdo natural obteve-se, por fim, o consumo do mesmo através da Equação 15.

$$C_m = V_m \times \delta_m \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

C_m é o consumo de agregado miúdo (areia), em quilogramas por metro cúbico (Kg/m³);

$\bar{\delta}_m$ é a massa específica do agregado miúdo, determinada conforme a NM 53, em quilogramas por metro cúbico (Kg/m³).

4.2.2.5 Traço do concreto

Definiu-se, para este estudo, quatro traços de concreto, sendo eles:

- Traço de referência: sem substituição do agregado graúdo natural pelo RCV;
- Traço com substituição de 5% do agregado graúdo natural pelo RCV;
- Traço com substituição de 15% do agregado graúdo natural pelo RCV;
- Traço com substituição de 25% do agregado graúdo natural pelo RCV;

A representação dos traços de concreto, com relação ao unitário do cimento, apresentou-se de acordo com a Equação 16.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_{RCV}}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (\text{Equação 16})$$

4.2.3 Concreto no estado fresco

Com base no método ABCP e determinados todos os consumos dos materiais efetuou-se a mistura do concreto a partir das recomendações da ABNT NBR 12655/2022 – Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento.

Os componentes do concreto foram misturados até formar uma massa homogênea em betoneira, seguindo uma ordem pré-estabelecida, sendo ela,

agregado graúdo natural e reciclado, agregado miúdo natural, 80 % da água, e por fim intercalou-se o cimento e o restante da água.

4.2.3.1 Consistência do concreto

Determinou-se a consistência do concreto através das recomendações da ABNT NBR 16889 (2020) – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, também conhecido como *Slump test*.

Primeiramente colocou-se a placa de base sobre uma superfície rígida, plana, horizontal e livre de vibrações. O molde, após umedecido, foi posicionado sobre a base e o operador posicionou-se sobre as aletas, de forma que o molde se mantivesse estável (Fotografia 4).

Fotografia 4. Ensaio de consistência do concreto (*Slump Test*)



Fonte: Autoria Própria (2022)

Após o posicionamento do material, encheu-se o molde rapidamente com o concreto, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde. Cada camada foi adensada com 25 golpes com o auxílio de uma haste de adensamento. Os golpes da segunda e terceira camada foram efetuados sem penetrarem na camada anterior.

Com o preenchimento completo do molde, realizou-se o rasamento da superfície de concreto com uma colher de pedreiro e efetuou-se a limpeza da placa de base.

Então, levantou-se cuidadosamente o molde do concreto na direção vertical, com um movimento constante e rápido, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral.

Imediatamente após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto, determinado pela diferença entre a altura do molde e a altura média do corpo de prova desmoldado (Fotografia 5).

Fotografia 5. Abatimento do concreto - *Slump Test*



Fonte: Autoria Própria (2022)

O procedimento do ensaio repetiu-se para os quatro traços do concreto.

4.2.3.2 Massa específica, rendimento e teor de ar do concreto fresco

Determinou-se a massa específica, rendimento e teor de ar do concreto fresco a partir das recomendações da ABNT NBR 9833 (2008) – Concreto fresco – determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.

O recipiente utilizado para este ensaio foi um molde de corpo de prova cilíndrico com diâmetro interno de 200 mm, o qual foi pesado para dar início ao procedimento.

Para o enchimento do recipiente o concreto foi colocado em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura total do recipiente, cada camada foi adensada manualmente com 25 golpes, com o auxílio de uma haste de adensamento, o recipiente também foi golpeado suavemente com martelo de borracha várias vezes, até que não se observasse mais marcas deixadas pela haste de adensamento.

Após este procedimento efetuou-se o rasamento da superfície, a limpeza do recipiente e a pesagem do recipiente com o concreto.

Obteve-se o cálculo da massa específica do concreto através da Equação 17.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{r+c} - m_r}{V} 1000 \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

ρ_{ap} é a massa específica aparente do concreto, expressa em quilogramas por metro cúbico (Kg/m³);

m_{r+c} é a massa do recipiente mais o concreto, expressa em quilogramas (kg);

m_r é a massa do recipiente, expressa em quilogramas (kg);

V é o volume do recipiente.

A partir do cálculo da massa específica do concreto fresco, determinou-se o rendimento, consumo do cimento, índice de ar e teor de ar a partir das equações 18, 19, 20 e 21, respectivamente.

$$R = \frac{m_c + m_f + m_{g,n} + m_{g,RCV} + m_a}{\rho_{ap}} \quad (\text{Equação 18})$$

$$C = \frac{m_c}{R} \quad (\text{Equação 19})$$

$$V_t = \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_{g,n}}{\rho_{g,n}} + \frac{m_{g,RCV}}{\rho_{g,RCV}} + \frac{m_a}{\rho_a} \quad (\text{Equação 20})$$

$$I_a = \frac{R}{V_t} \quad (\text{Equação 18})$$

$$A = \left(1 - \frac{1}{I_a}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

R é o rendimento, expresso em metros cúbicos (m³).

m_c é a massa do cimento da betonada, expressa em quilogramas (kg);

m_f é a massa total de agregado miúdo da betonada, na condição de umidade em que foi utilizado para o preparo do concreto, expressa em quilogramas (kg);

$m_{g,n}$ é a massa total de agregado graúdo natural da betonada, na condição de umidade em que foi utilizado para o preparo do concreto, expressa em quilogramas (kg);

$m_{g,RCV}$ é a massa total de agregado graúdo reciclado da betonada, na condição de umidade em que foi utilizado para o preparo do concreto, expressa em quilogramas (kg);

m_a é a massa total de água adicionada na betonada, expressa em quilogramas (kg);

C é o consumo de cimento do concreto, expresso em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

V_t é o volume total dos componentes da betonada, expresso em metros cúbicos (m^3);

ρ_c é a massa específica do cimento, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

ρ_f é a massa específica do agregado miúdo, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

$\rho_{g,n}$ é a massa específica do agregado graúdo natural, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

$\rho_{g,RCV}$ é a massa específica do agregado graúdo reciclado, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

ρ_a é a massa específica da água, que deve ser adotada como sendo igual a $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

I_a é o índice de ar presente na mistura;

A é o teor de ar do concreto, expresso em porcentagem (%).

O procedimento do ensaio repetiu-se para os quatro traços do concreto.

4.2.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

O processo de moldagem e cura dos corpos de prova (CP's) deu-se através da ABNT NBR 5738 (2015) – Concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.

Ao todo foram moldados 48 CP's, 12 para cada traço de concreto, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura cada, conforme Fotografia 6.

Fotografia 6. Moldagem dos CP's



Fonte: Aatoria Própria (2022)

Antes do procedimento de moldagem, os CP's foram lubrificados internamente com óleo mineral, posteriormente encheu-se cada CP em três camadas, cada com aproximadamente um terço de sua altura, cada camada recebeu o abatimento de 25 golpes com a haste de adensamento, também se efetuou batidas com martelo de borracha na lateral do molde de modo que ocorresse o preenchimento completo do mesmo.

Finalizou-se o procedimento de moldagem com o rasamento da superfície com a borda do molde, com o auxílio de uma colher de pedreiro.

Após a moldagem dos CP's, os mesmos foram armazenados em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra ação que viesse perturbar o concreto, durante 24 horas, para obtenção da cura inicial.

Passado este período, os CP's foram retirados dos moldes e identificados com suas respectivas porcentagens de substituição do agregado graúdo por RCV (Fotografia 7).

Fotografia 7. Identificação dos CP's

Fonte: Autoria Própria (2022)

Imediatamente após sua identificação, os CP's foram armazenados em um tanque de solução saturada de hidróxido de cálcio, conhecida comercialmente como cal hidratada, a temperatura ambiente, aproximadamente 23°C (Fotografia 8), onde ficaram até a data de 24 horas antes do ensaio de rompimento a compressão dos mesmos.

Fotografia 8. Armazenamento dos CP's em tanque com solução de cal hidratada

Fonte: Autoria Própria (2022)

4.2.5 Concreto no estado endurecido

4.2.5.1 Resistência a compressão

A parte final da metodologia deste estudo consiste no rompimento dos CP's para análise da resistência a compressão, o procedimento seguiu as recomendações da ABNT NBR 5739 (2018) – Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

O rompimento dos corpos de prova aconteceu em quatro idades distintas, sendo elas em 7, 14, 21 e 28 dias.

Para cada idade rompeu-se 12 corpos de prova, sendo que destes, a cada grupo de 3 CP's eram de diferentes traços conforme a Tabela 5. Moldou-se 3 CP's para cada porcentagem de substituição a fim de respeitar os requisitos estabelecidos pela NBR 5739, obtendo-se resultados mais precisos para as amostras em questão.

Tabela 5. Idades de rompimento dos CP's

Corpo de Prova	Substituição do agregado gráudo por RCV (%)	Idade de rompimento (dias)
CP1; CP2; CP3	0	7
CP4; CP5; CP6	5	
CP7; CP8; CP9	15	
CP10; CP11; CP12	25	
CP13; CP14; CP15	0	14
CP16; CP17; CP18	5	
CP19; CP20; CP21	15	
CP22; CP23; CP24	25	
CP25; CP26; CP27	0	21
CP28; CP29; CP230	5	
CP31; CP32; CP33	15	
CP34; CP35; CP36	25	
CP37; CP38; CP39	0	28
CP40; CP41; CP42	5	
CP43; CP44; CP45	15	
CP46; CP47; CP48	25	

Fonte: Autoria Própria (2022)

Para a realização do ensaio os corpos de prova foram retirados do tanque em solução de cal hidratada 24 horas antes do rompimento, e deixados armazenados para secagem dos mesmos.

Após este período os corpos de prova foram cuidadosamente centralizados no prato inferior da máquina de compressão (Fotografia 9). A máquina foi ajustada de forma que ocorresse uma aplicação de forças contínuas sem choques e com velocidade de carregamento de aproximadamente 0,45 megapascals por segundo (MPa/s).

Fotografia 9. Máquina de compressão dos CP's



Fonte: Autoria Própria (2022)

Cessou-se o carregamento quando houve queda da força aplicada, indicando assim, o rompimento do corpo de prova (Fotografia 10).

Fotografia 10. Rompimento do CP



Fonte: Autoria Própria (2022)

A resistência à compressão de cada corpo de prova foi calculada através da Equação 22.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (\text{Equação 22})$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, expressa em Newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização dos agregados

5.1.1 Composição granulométrica

A composição granulométrica da areia utilizada para a execução dos traços de concreto deu-se conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Análise granulométrica agregado miúdo

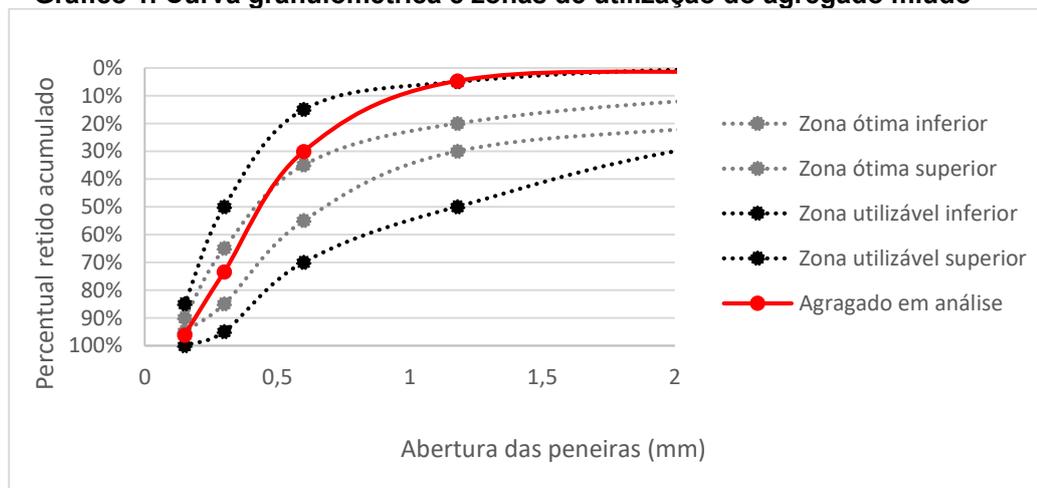
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Retida (%)	Retida acumulada (%)
9,5	0,00	0,00%	0,00%
6,3	0,00	0,00%	0,00%
4,75	3,43	0,69%	0,69%
2,36	2,98	0,60%	1,28%
1,18	17,23	3,44%	4,73%
0,60	126,83	25,36%	30,08%
0,30	216,75	43,33%	73,41%
0,15	113,89	22,77%	96,18%
fundo	19,09	3,82%	100,00%
Total	500,20	100,00%	206,37%
Módulo de Finura (MF):		2,06	Areia Média Fina

Fonte: Autoria Própria (2022)

Nota-se que há maior concentração do agregado miúdo na peneira com abertura de 0,30 mm e um módulo de finura de 2,06, sendo assim, classificada como areia média fina.

A partir dos dados obtidos da Tabela 6, obteve-se a curva granulométrica da areia, apresentada no Gráfico 1.

Gráfico 1. Curva granulométrica e zonas de utilização do agregado miúdo



Fonte: Autoria Própria (2022)

Observa-se, a partir do Gráfico 1, que a areia em análise está apta para o uso no traço dos concretos, pois se enquadra dentro das zonas utilizáveis inferior e superior, conforme estabelece a ABNT NBR 7211.

A Tabela 7 indica a composição granulométrica obtida do agregado graúdo natural e reciclado, RCV.

Tabela 7. Análise granulométrica agregado graúdo natural e reciclado

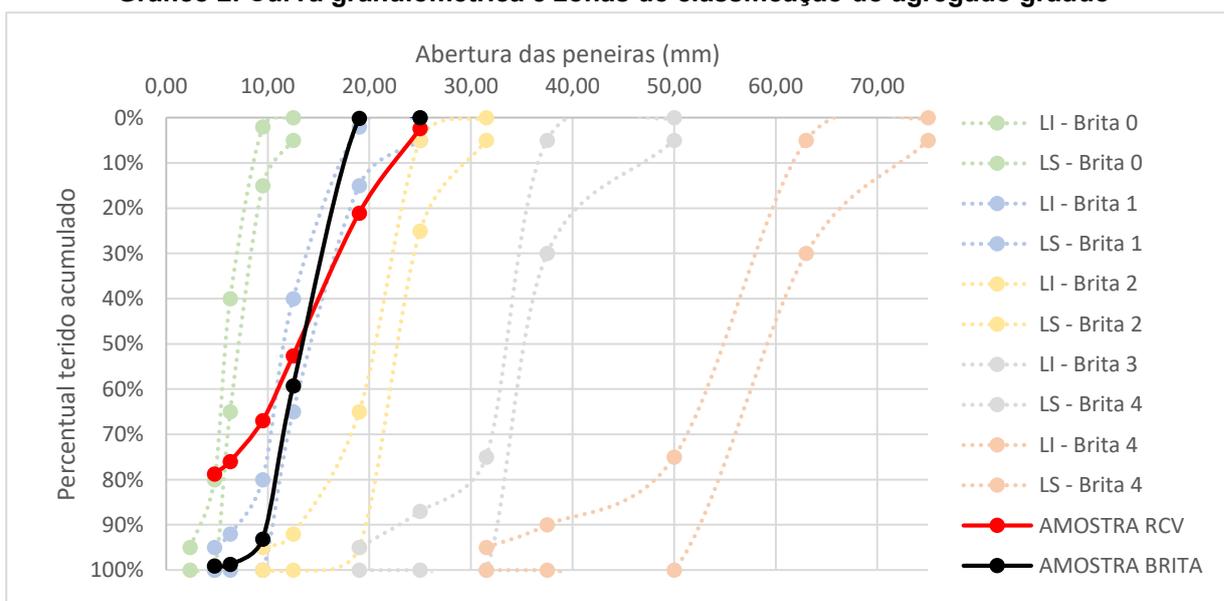
Peneiras (mm)	Agregado graúdo natural			Agregado graúdo reciclado (RCV)		
	Massa retida (g)	Retida (%)	Retida acumulada (%)	Massa retida (g)	Retida (%)	Retida acumulada (%)
25,00	0,00	0,00%	0,00%	400,76	2,36%	2,36%
19,00	36,77	0,13%	0,13%	3.169,20	18,69%	21,05%
12,50	16.514,25	59,12%	59,25%	5.348,74	31,54%	52,59%
9,50	9.457,13	33,86%	93,11%	2.438,47	14,38%	66,98%
6,30	1.575,14	5,64%	98,75%	1.526,24	9,00%	75,98%
4,75	86,70	0,31%	99,06%	468,69	2,76%	78,74%
fundo	262,05	0,94%	100,00%	3.605,22	21,26%	100,00%
Total	27.932,04	100,00%		16.957,32	100,00%	

Fonte: Autoria Própria (2022)

Observa-se, a partir da Tabela 7, que a dimensão máxima do agregado graúdo natural e reciclado é de 19 mm e 25 mm, respectivamente. Nota-se também que há maior concentração de ambas as amostras retidos entre as peneiras de 19 mm e 9,5 mm, as quais foram utilizadas para os traços de concreto.

Com os resultados obtidos na Tabela 7 obteve-se as curvas granulométricas dos agregados graúdo natural e reciclado, apresentadas no Gráfico 2.

Gráfico 2. Curva granulométrica e zonas de classificação do agregado graúdo



Foram utilizados os agregados passantes pela peneira de abertura 19 mm e retidos na peneira de 9,5 mm, portanto ambos os agregados se enquadraram como brita 1, enquadrando-se dentro dos limites inferior e superior, conforme estabelece a ABNT NBR 7211, conseguindo obter então, um agregado graúdo de RCV muito próximo da granulometria do agregado graúdo natural.

5.1.2 Propriedades agregado graúdo natural e reciclado

Foram determinadas algumas propriedades de caracterização dos agregados graúdo natural e reciclado para preparação dos traços de concreto, a Tabela 8 descreve um comparativo entre elas.

Tabela 8. Comparativo das propriedades de caracterização dos agregados graúdos natural e reciclado

Propriedades	NBR	Brita	RCV
Massa específica – agregado seco (g/cm ³)	NM 53	2,89	1,79
Massa específica – agregado saturado (g/cm ³)	NM 53	2,93	2,10
Massa específica aparente (g/cm ³)	NM 53	3,02	2,58
Absorção de água (%)	NM 53	1,58	16,92
Teor de umidade total (%)	NBR 9939	0,20	0,38
Massa unitária (g/cm ³)	NM 45	1,71	0,95
Massa unitária na condição SSS (g/cm ³)	NM 45	1,74	1,12
Volume de vazios (%)	NM 45	99,94	99,95
Abrasão (%)	NM 51	14,46	38,22

Fonte: Autoria Própria (2022)

Observou-se que na massa específica das amostras há uma diferença significativa entre a brita natural e o RCV, de 1,10 g/cm³, ou seja, pode-se afirmar que a brita é mais densa que a cerâmica vermelha, e o resíduo apresenta mais poros e volume de vazios que o agregado natural. Está afirmação se comprovou, ainda, analisando a diferença entre a massa específica com o agregado seco e saturado, pois a brita apresentou resultados semelhantes entre elas, 0,04 g/cm³, já na cerâmica vermelha houve uma diferença de 0,31 g/cm³.

Pôde-se afirmar ainda que o RCV absorveu uma quantidade de água consideravelmente maior do que a brita, cerca de 10 vezes mais, enquanto o agregado natural apresentou 1,58 % de absorção o RCV absorveu 16,92 %, provando, assim, que é um material mais poroso e com maior volume de vazios.

Notou-se também grande diferença quanto a perda por abrasão, enquanto o agregado natural apresentou uma perda de 14,46 % da amostra, o RCV apresentou mais que o dobro de perda, 38,22 %, comprovando ser um material menos resistente.

5.2 Dosagem do concreto

Através do método de dosagem ABCP obteve-se os traços de concreto para teores de substituição de 5, 15 e 25% do agregado graúdo natural pelo RCV.

A Tabela 9 apresenta as quantidades, em massa, dos materiais utilizados para os traços de concreto, cada traço foi calculado para 12 corpos de prova, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, mais 20% da massa para eventuais perdas.

Tabela 9. Quantitativo de materiais

Material	Teores de substituição			
	0%	5%	15%	25%
Relação a/c	0,430	0,430	0,450	0,480
Água (kg)	5,474	5,574	5,824	6,074
Cimento (kg)	12,730	12,730	12,164	11,404
Areia (kg)	13,953	11,754	12,126	12,665
Brita (kg)	21,667	22,850	20,445	18,040
RCV (kg)	0,000	0,789	2,367	3,946

Fonte: Autoria Própria (2022)

Notou-se que houve um aumento significativo de água em cada traço, quanto maior o teor de substituição maior foi o consumo de água, conseqüentemente a relação água/cimento também aumentou.

Os quatro traços de concreto estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Traços de concreto

Substituição	Cimento	Areia	Brita	RCV	Água
0 %	1,000	1,096	1,702	-	0,430
5 %	1,000	0,923	1,795	0,062	0,430
15 %	1,000	0,997	1,681	0,195	0,450
25 %	1,000	1,111	1,582	0,346	0,480

Fonte: Autoria Própria (2022)

5.3 Concreto no estado fresco

5.3.1 Slump test – abatimento do concreto

Para cada traço a relação água/cimento teve que ser ajustada para que se mantivesse a mesma trabalhabilidade em todas as situações, ou seja, no traço de referência e nos demais com substituições do agregado graúdo por RCV.

Quanto maior a porcentagem de RCV na mistura de concreto mais consistente era o concreto, o que não era o desejável, o intuito era ter um abatimento entre 6 a 8 cm, ou seja, um concreto plástico a mole. Ripper (1995) definiu a consistência do concreto de acordo o Quadro 8.

Quadro 8. Limite de abatimento no Slump Test

Tipo de obra/serviço	Consistência trabalhabilidade	Concreto com controle razoável; agregados medidos em volume; vibração manual ou mecânica	
		Mínimo (cm)	Máximo (cm)
Fundações e muros não armados	Firme	2,0	6,0
Fundações e muros armados	Firme a plásticos	3,0	7,0
Estruturas usuais e lastros	Plástico	5,0	7,0
Peças com alta densidade de armadura	Plástico a mole	7,0	9,0
Concreto aparente	Plástico a mole	6,0	8,0
Concreto bombeado até 40 m	Mole	8,0	10,0
Concreto bombeado mais de 40 m	Muito mole	9,0	13,0

Fonte: adaptado de Ripper (1995)

Para os traços de 15 e 25 % de substituição, inicialmente obteve-se um concreto firme, com abatimento inferior a 6 cm (Fotografia 11).

Fotografia 11. Slump teste de concreto firme

Fonte: Autoria Própria (2022)

Após um ajuste da relação água/cimento, aumentando a quantidade de água na mistura, conseguiu-se obter o abatimento desejado, entre 6 e 8 cm para todos os traços, obtendo-se assim um concreto plástico a mole (Fotografia 12).

Fotografia 12. Slump Test concreto plástico



Fonte: Autoria Própria (2022)

5.3.2 Massa específica do concreto

A partir das recomendações da ABNT NBR 9833, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Propriedades do concreto fresco

Propriedade	Teores de substituição			
	0%	5%	15%	25%
Massa específica (kg/m ³)	2.375,41	2.330,85	2.235,36	2.108,03
Rendimento (m ³)	0,02266	0,02304	0,02368	0,02473
Consumo de cimento (kg/m ³)	561,808	552,577	513,762	461,167
Volume total dos componentes da betoneira (m ³)	0,02261	0,02271	0,02296	0,02321
Índice de ar	1,002	1,014	1,031	1,065
Teor de ar (%)	0,218	1,424	3,029	6,142

Fonte: Autoria Própria (2022)

Percebeu-se a partir dos resultados obtidos que a massa específica é inversamente proporcional ao teor de substituição, ou seja, quanto maior a quantidade de RCV menor é a massa específica, isso nos diz que quanto mais resíduos na mistura mais leve é o concreto, comprovando-se assim que não é indicado para fins estruturais, mas ainda é útil para vedação, contra piso, entre outros fins (SCOBAR, 2016).

Outro ponto muito importante é que comprova-se que há uma diferença exorbitante no consumo de cimento, comparando o consumo do traço de referência e com substituição de 25 % há uma diferença de aproximadamente 100 kg/m³, ou seja, com a utilização do RCV há uma maior economia na produção do concreto.

Nota-se, também, o teor que ar na mistura, que aumentou conforme o aumento do RCV, isso já era esperando visto que na caracterização dos agregados constatou-se que a cerâmica vermelha é mais porosa que a brita, apresentando assim maior volume de vazios e absorção de água.

5.4 Concreto no estado endurecido

Efetuuou-se o rompimento dos CP's em 7, 14, 21 e 28 dias e obteve-se a resistência do concreto de acordo com a Tabela 12.

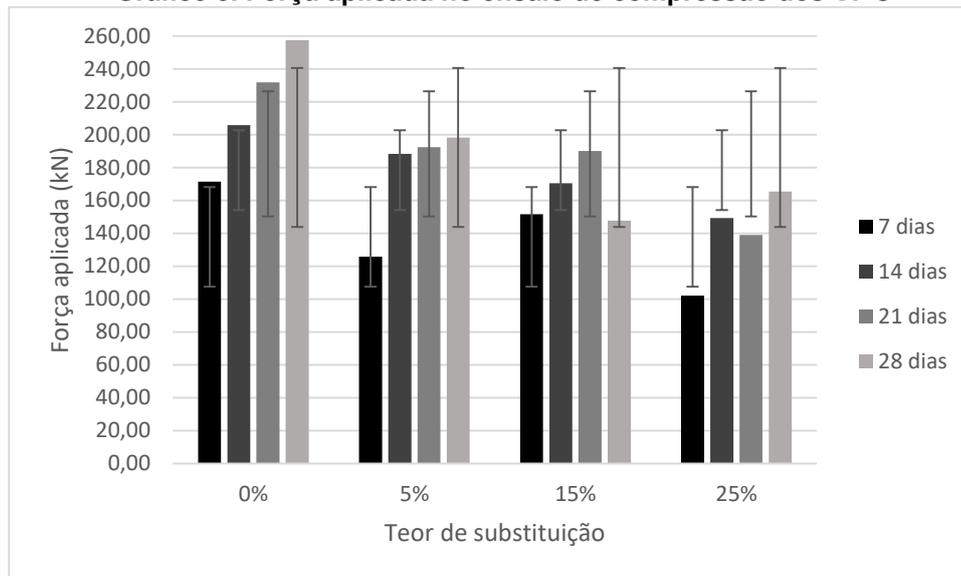
Tabela 12. Forma aplicada e resistência a compressão dos CP's

Corpo de prova	Data de rompimento (dias)							
	7		14		21		28	
	F (kN)	f _c (MPa)	F (kN)	f _c (MPa)	F (kN)	f _c (MPa)	F (kN)	f _c (MPa)
CP – 0% – 1	166,00	21,14	227,23	28,93	246,34	31,36	245,98	31,32
CP – 0% – 2	161,61	20,58	190,23	24,22	222,24	28,30	256,76	32,69
CP – 0% – 3	187,00	23,81	199,81	25,44	227,28	28,94	269,91	34,39
CP – 5% - 1	133,96	17,06	205,03	26,11	159,02	20,25	222,22	28,29
CP – 5% - 2	126,93	16,16	204,04	25,98	253,27	32,25	169,23	21,55
CP – 5% - 3	111,69	14,86	155,80	19,84	165,19	21,03	203,15	25,87
CP – 15% - 1	144,61	18,41	144,06	18,34	206,02	26,23	168,04	21,40
CP – 15% - 2	117,25	14,93	190,74	22,47	179,92	22,91	125,93	16,03
CP – 15% - 3	193,16	24,59	170,30	24,29	184,22	23,46	149,19	19,00
CP – 25% - 1	118,41	15,08	126,63	21,68	140,65	17,91	155,87	19,85
CP – 25% - 2	95,26	12,13	126,63	16,12	159,19	20,27	217,62	27,71
CP – 25% - 3	91,51	11,78	150,80	19,20	117,39	14,95	122,59	15,61

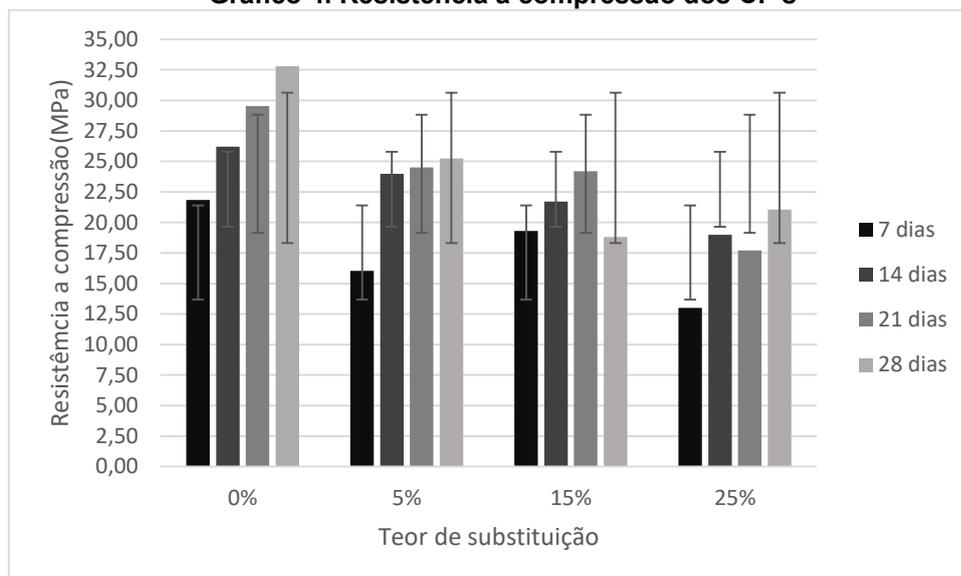
Fonte: Autoria Própria (2022)

A partir da Tabela 12, nota-se que conforme aumenta o teor de substituição do RCV pelo agregado graúdo natural há uma queda na força ruptura aplicada e, conseqüentemente, há redução na resistência do concreto, no ensaio realizado na mesma data. Com o decorrer dos dias há o aumento na resistência, mas comparando os traços com teores de substituição com o traço de referência sempre há queda na resistência do concreto.

Os Gráficos 3 e 4, representam os comparativos das forças médias aplicadas e da resistência a compressão, respectivamente, em diferentes idades nos CP's.

Gráfico 3. Força aplicada no ensaio de compressão dos CP's

Fonte: Autoria Própria (2022)

Gráfico 4. Resistência à compressão dos CP's

Fonte: Autoria Própria (2022)

Para elaboração dos gráficos efetuou-se a média aritmética dos valores obtidos na Tabela 12 entre os CP's de mesma porcentagem de substituição e idade de rompimento.

Quanto maior o a idade do concreto, ou seja, quanto mais tarde efetuou-se o rompimento, maior foi a resistência do concreto, em todas as porcentagens. Por outro lado, quando maior a quantidade de RCV na mistura, menor foi a resistência. Isso se

deu devido à alta absorção de água da cerâmica vermelha, aumentando assim o volume de vazios do concreto e diminuindo sua resistência.

Nota-se também, que não houve acréscimo de resistência nos CP's com substituição de 15% do agregado graúdo natural pelo RCV nas idades de 21 para 28 dias.

A Tabela 13 mostra a média aritmética da resistência a compressão nas diferentes idades de rompimento, onde nota-se a queda de resistência conforme o aumento de RCV na mistura. Stroher *et al* (2017) em seu estudo, afirma também, que os resultados são semelhantes.

Tabela 13. Média aritmética da resistência a compressão

Teor de substituição	Data de rompimento (dias)			
	7	14	21	28
	f_c (MPa)	f_c (MPa)	f_c (MPa)	f_c (MPa)
0%	21,84	26,20	29,53	32,79
5%	16,02	23,94	24,51	25,24
15%	19,31	21,70	24,20	18,81
25%	12,99	19,00	17,71	21,05

Fonte: Aatoria Própria (2022)

As setas indicam o sentido de maior resistência obtida nos ensaios de compressão, ou seja, o traço com maior resistência ainda é o convencional, o de referência, com 32,79MPa.

6 CONCLUSÃO

Com a análise dos ensaios experimentais pode-se concluir que a substituição do agregado graúdo por RCV nos traços de concreto gerou mudanças significativas no desempenho dos concretos.

Quanto a caracterização dos agregados notou-se que a cerâmica vermelha apresentou um maior volume de vazios e absorção de água, chegando ao dobro do valor do agregado natural, conseqüentemente, com a utilização do RCV obteve-se um concreto 11,26% mais leve, comparando o traço de referência com substituição de 25%, e nas demais porcentagens seguiu a mesma proporção.

Nos ensaios do concreto no estado fresco, notou-se que a massa específica do concreto diminui com o aumento do RCV na mistura, comprovando novamente que se obteve um concreto leve. Observa-se também que o consumo do cimento reduz 17,91% com a substituição de 25% da brita natural pelo RCV, comprovando assim uma grande economia com o uso do cimento e redução da pedra brita.

Para o concreto no estado endurecido conclui-se que a substituição do agregado graúdo pelo RCV não é adequada para fins estruturais, pois há uma queda de 35% da resistência à compressão comparando o traço de referência com o de 25 % de substituição.

Por se tratar de um concreto leve, visando a economia e também a redução dos impactos ambientais causados pelos RCV's, os traços com substituições até 25 % do agregado graúdo por RCV podem ser empregados na construção civil como concreto de vedação e contrapiso sem fins estruturais.

Fica de sugestão para trabalhos futuros análise de desempenho do concreto com substituições do agregado miúdo pelo RCV em comparação com o agregado graúdo.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, P. S. X. **Desenvolvimento de argamassas com adição de cerâmica vermelha para aplicação no cotidiano de obras**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru: 2012, 52 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38937>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**: normas, especificações, aplicações e ensaios de laboratório. São Paulo: Pini, 2012.

ANGULO, S.C.; TEIXEIRA, C. E.; CASTRO, A. L.; NOGUEIRA, T. P. **Resíduos de construção e demolição**: avaliação de métodos de quantificação. Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 16, n. 3, p. 299-306. Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a13>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

ANICER, **Associação Nacional da Indústria Cerâmica: dados oficiais**. dez. 2020. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

ARAÚJO, A. R. **Influência da utilização do resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. **Informações técnicas – definição e classificação**, São Paulo: 2016. Disponível em: <<http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>>. Acesso em 2 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**, São Paulo: 2002. Disponível em: <<https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/11/28-Guia-basico-de-utilizacao-do-cimento-portland.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais ABRELPE. **Panorama de resíduos no Brasil**. dez. 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **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, 2018.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9776:** Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 9833:** Concreto fresco – determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9935:** Agregados - terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9939:** Agregado graúdo – determinação do teor de umidade total – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 11578:** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 16889:** Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 16915:** Agregados - amostragem. Rio de Janeiro, 2021.

Associação Mercosul de Normalização (AMN). **NM 30:** Agregado miúdo – determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NM 51:** Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NM 53:** Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NM 137:** Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.

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

BAUER, L.A. F. **Materiais de construção civil**, 1. 5. Ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

Bauer, L.A. F. **Materiais de Construção - Vol. 1:** Grupo GEN, 2019. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/>>. Acesso em: 07 Mar 2022

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário oficial da República Federativa do Brasil: Brasília, 17 jul. 2002. Disponível em: <https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/legislacao/residuos2/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R.S. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/DkRynRJfxQDpRK9qpTqfz4S/?lang=pt>>. Acesso em: 25 out. 2021.

CASTRO, A. L.; SANTOS, R F C.; QUARCIONI, V A.; CARLOS, S.; PAULO, S. Caracterização de cimentos compostos com resíduos da indústria de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 63, p. 65-76, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/4gkQcmdPhnwVT94xbR8drMH/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 23 out. 2021.

DINIZ, F. W. C.; MORAIS, M. M.; MAXWELL, A.; HOLANDA, R. M. **Quantificação de perdas na construção civil através de indicador de eficácia Morant para blocos cerâmicos.** Estudo de caso em obra. XIII JORDANA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX 2013 – EFRPE: Recife, 2013. Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R1683-2.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

DURAN, A. P.; FRACARO, D. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagens de 30 kg.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2011. Disponível em: < <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9321>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

FIGUEIREDO, N.; VARGAS, A. **Análise da influência do uso de agregados reciclados da região de Criciúma/SC nas propriedades mecânicas.** 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, SC, Brasil. Disponível em: < <http://repositorio.unesc.net/handle/1/4994>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

GASQUES, A. C. (2015). IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: Breve revisão teórica. **Revista Tecnológica**, 23(1), 13-24. Disponível em: < <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/23375>>. Acesso em: 06 mai. 2021.

GONÇALVEZ, J. P.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R. **Estudo da hidratação de pastas de cimento Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 83-94, 2006. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3721>>. Acesso em: 01 mai. 2021.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland.** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. In: Geraldo Isaia. São Paulo: IBRACON, 2010, cap. 29, p. 905-944. Disponível em: < <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2 ed. São Paulo: IBRACON, São Paulo, 2010. Disponível em: < http://ibracon.org.br/eventos/59cbc/Paginas_Iniciais_Rev6R.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2021.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (Livre docência) – USP, São Paulo, 2000. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/item/001124878> >. Acesso em: 01 mai. 2021.

LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO, G. G. C.; BARROS, T. Y. G.; TAUBER, T. C. **Concreto e suas inovações**. Faculdade Integrada Tiradentes – FITS. Maceió. 2013. 10p. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/1285>>. Acesso em: 30 abri. 2021.

KARPINSKI, L. A.; PANDOUFO, A.; REINEHER, R.; GUIMARÃES, J. C. B.; PANDOUFO, L. M.; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009, 163p. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/read/14256069/gestao-diferenciada-de-residuos-da-construcao-civil-uma-pucrs>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

MEDEIROS, M. H. F.; SOUZA, D. J.; FILHO, J. H.; ADORNO, C. S.; QUARCUIONI, V.A.; PEREIRA, E. Resíduo de cerâmica vermelha e fíler calcário em compósito de cimento Portland: efeito no ataque por sulfatos e na reação álcali-sílica. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro - RJ, v.21, n. 02, p. 282-200, jun. 2016. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/5114>>. Acesso em: 26 mai. 2021.

MORAIS, M. H. L.; SOUZA, W.M., RIBEIRO, A. J. A. *Use of red ceramic waste as fine aggregate in concretes*. **Research, Society and Development**, v. 09, n. 07, p. 1-17, 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4145>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

NETTO, R. M. **Materiais pozolânicos**. Monografica de Especialização em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006, 148 p. Disponível em: <<https://xdocs.com.br/doc/materiais-pozolanicos-tcc-ufmg-eqnj2p4e0mo6>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookmann, 2016, 888p.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookmann, 2013, 446p.

OLIVEIRA, E. M.; OLIVEIRA, C. M.; PETERESON, M.; PELISSER, F.; ANTUNES, E. G. P. Análise da resistência à compressão de argamassa com adição de resíduo de cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro - RJ, v.24, n. 02, p. 282-200, jun. 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/29010>>. Acesso em: 9 ago. 2021.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto & Construções. São Paulo. P. 14-19. Instituto Brasileiro de Concreto: IBRACON, 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

PÉREZ, C. A. et al. **Caracterização de Massas Cerâmicas Utilizadas na Indústria de Cerâmica Vermelha em São Domingos do Sul – RS**. Cerâmica Industrial. ABCERAM: São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657407f8c9d6e028b477c/pdf/ci-15-1-587657407f8c9d6e028b477c.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13 ed. rev. por Vladimir Antônio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca B.; CRIVELARO, Marcos. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. Editora Saraiva, 2020. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532769/>>. Acesso em: 01 mar. 2022.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, SP, Brasil. 189p. Disponível em: <<http://www.casoi.com.br/hjr/pdfs/GestResiduosSolidos.pdf>>. Acesso em 02 mai. 2021.

QUADIR, S. S. *Strength and behavior of self compacting concrete with crushed ceramic tiles as partial replacement for coarse aggregate to elevated temperature*. **International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Science**, v. 03, n. 04, p. 278-286, 2015. Disponível em: <<http://www.ijetmas.com/admin/resources/project/paper/f201504271430187416.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

RIPPER, E. **Manual práticos de materiais de construção: recebimento, Transporte interno, estocagem, manuseio e aplicação**. 1995, São Paulo, Pini, p. 252.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros da dosagem racional do concreto**. ABCP, anexo 5 – 34º reunião de técnicos da indústria de cimento. Rio de Janeiro. 1998. Disponível em: <https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Parametros-dosagem_34aRTIC1983.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.

SANTOS, A. Pesquisa ressalta presente e futuro do concreto. **Cimento Itambé**. 13 set. 2013. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/pesquisa-ressalta-presente-e-futuro-do-concreto/>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: <https://ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Dissert_Schneider_-_Dls_de_RCC_na_Cidade_de_S%C3%A3o_Paulo.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

SCOBAR, R. L. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. 2016. Monografia (Grauação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento acadêmico de construção civil. Campo Mourão, PR, Brasil. 45p. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6314/3/CM_COECI_2016_1_29.pdf>. Acesso em 02 mai. 2022.

STROHER, A. P.; KATO, D. S.; YAMAGUCHI, N. U.; JUNIOR, O. M. C. **Utilização da Cerâmica de Entulho na Substituição de Agregado Graúdo do Concreto**. 2017. Cerâmica Industrial. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2017.001/pdf/ci-22-4-34.pdf>>. Acesso em 10 mai. 2022.

SZLAK, B. et al. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. Associação Brasileira de Cimento Portland. Jaguaré, 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS**. Revista ambiente construtivo: Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121 -130, jun/2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000200008>. Acesso em: 02 mai. 2021.

WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduo de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas *in loco***. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha solteira. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91448>>. Acesso em: 1 mai. 2021.