

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANA LUÍSA LAURINDO**

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO PRODUZIDO NA USINA DE  
RECICLAGEM DO MUNICÍPIO DE GUARAPUAVA – PR NA FABRICAÇÃO DE  
NOVOS CONCRETOS PARA USO NÃO ESTRUTURAL**

**GUARAPUAVA**

**2022**

**ANA LUÍSA LAURINDO**

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO PRODUZIDO NA USINA DE  
RECICLAGEM DO MUNICÍPIO DE GUARAPUAVA – PR NA FABRICAÇÃO DE  
NOVOS CONCRETOS PARA USO NÃO ESTRUTURAL**

**Use of recycled aggregate produced at the recycling plant in the municipality  
of Guarapuava - PR in the manufacture of new concrete for non-structural use**

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).  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. 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.

**ANA LUÍSA LAURINDO**

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO PRODUZIDO NA USINA DE  
RECICLAGEM DO MUNICÍPIO DE GUARAPUAVA – PR NA FABRICAÇÃO DE  
NOVOS CONCRETOS PARA USO NÃO ESTRUTURAL**

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).  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Marcela Maier Farias Czap.

Data de aprovação: 29 de junho de 2022

---

Marcela Maier Farias Czap  
Doutorado em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

---

Gessica Katalyne Bilcati  
Mestrado em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

---

Rodrigo Scoczynski Ribeiro  
Doutorado em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

**GUARAPUAVA**  
**2022**

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e incentivo aos meus estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço a Deus, por ser meu apoio durante toda minha vida.

Agradeço a toda minha família, em especial meus pais Juraci e Marilda, e irmãos Aline, Carol e Lucas, por todo o apoio e incentivo os quais fortaleceram a minha caminhada acadêmica. Obrigada por tudo.

Ao meu tio Mauro, que sempre me incentivou e não pôde acompanhar o fim da minha formação.

Ao meu namorado Thales, pela ajuda e companheirismo durante a graduação na UTFPR.

Aos meus amigos.

Agradeço à minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Marcela Maier Farias Czap, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

O aumento populacional e das cidades, juntamente com o desenvolvimento da indústria da construção civil, vem ocasionando um grande impacto ambiental, aumento da geração de resíduos e consumo de recursos naturais, evidenciando o incentivo a pesquisas que tem como objetivo reduzir a quantidade de resíduos da construção civil nas usinas de reciclagem. Quanto a situação da geração desses resíduos e das usinas de reciclagem, o presente trabalho tem por objetivo a avaliação dos resíduos produzidos na usina de reciclagem do município de Guarapuava - PR para emprego em concretos não estruturais. Foi abordada a caracterização dos resíduos, assim como a avaliação das propriedades frescas e endurecidas dos concretos com substituição total do agregado graúdo, e posteriormente feito o estudo de dosagem do material através do método IPT/EPUSP. Os estudos foram obtidos conforme recomendações normativas, resultando em um concreto mais barato, pelo menor preço dos itens presentes na mistura, e com propriedades como trabalhabilidade, consistência e homogeneidade semelhantes ao concreto convencional. Os valores da resistência à compressão obtidos foram inferiores aos de concretos convencionais.

Palavras-chave: resíduos da construção civil; concreto; dosagem.

## **ABSTRACT**

The increase in population and cities, together with the development of the construction industry, has been causing a great environmental impact, increasing the generation of waste and consumption of natural resources, evidencing the incentive for research that aims to reduce the amount of waste from the civil construction in recycling plants. As for the situation of the generation of these residues and the recycling plants, the present work aims to evaluate the residues produced in the recycling plant in the municipality of Guarapuava - PR for use in non-structural concrete. The characterization of the residues was approached, as well as the evaluation of the fresh and hardened properties of the concretes with total substitution of the coarse aggregate, and later the study of the dosage of the material was carried out through the IPT/EPUSP method. The studies were obtained according to normative recommendations, resulting in a cheaper concrete, for the lowest price of the items present in the mixture, and with properties such as workability, consistency and homogeneity similar to conventional concrete. The values of compressive strength obtained were lower than those of conventional concrete.

Keywords: construction waste; concrete; dosage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fotografia 1 - Agregado reciclado .....	25
Fotografia 2 - Trabalhabilidade do concreto .....	38
Fotografia 3 - Homogeneidade do concreto .....	40
Fotografia 4 - Preenchimento dos corpos de prova.....	42
Fotografia 5 - Cura úmida .....	42
Gráfico 1 - Coleta total de RCD em 2010 e 2019 .....	16
Gráfico 2 - Coleta per capita em 2010 e 2019 .....	16
Gráfico 3 - Curva granulométrica.....	32
Gráfico 4 - Lei de Abrams .....	35
Gráfico 5 - Lei de Lyse .....	36
Gráfico 6 - Lei de Molinari.....	37
Gráfico 7 - Obtenção da relação água cimento através Lei de Abrams .....	44
Gráfico 8 - Obtenção da quantidade de agregados através Lei de Lyse.....	45
Gráfico 9 - Obtenção do consumo de concreto através da Lei de Molinari .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Série de peneiras .....	26
Tabela 2 - Adensamento manual.....	29
Tabela 3 - Resultados do ensaio de granulometria.....	31
Tabela 4 - Limites e zonas da NBR 7211 .....	32
Tabela 5 - Massa unitária e índice de vazios do RCC .....	33
Tabela 6 - Densidades e absorção da água do RCC .....	33
Tabela 7 - Resultados da Lei de Abrams.....	35
Tabela 8 - Resultados da Lei de Lyse.....	36
Tabela 9 - Resultados da Lei de Molinari .....	36
Tabela 10 - Classes de consistência .....	39
Tabela 11 - Resultados do ensaio do abatimento de cone .....	39
Tabela 12 - Massa específica do concreto do traço rico .....	40
Tabela 13 - Massa específica do concreto do traço piloto .....	41
Tabela 14 - Massa específica do concreto do traço pobre .....	41
Tabela 15 - Resistências à compressão do concreto em 7 dias .....	43
Tabela 16 - Resistências à compressão do concreto em 28 dias .....	43
Tabela 17 - Quantidade de materiais para a fabricação da calçada.....	46
Tabela 18 - Composição de 1,5 m <sup>3</sup> de concreto não estrutural convencional ...	47
Tabela 19 - Composição de 1,5 m <sup>3</sup> de concreto não estrutural com utilização do RCC .....	48
Tabela 20 - Comparação de resistências para os métodos IPT e ABCP .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira Para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NBR	Normas Brasileiras
NM	Norma Mercosul
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RCV	Resíduos de Cerâmica Vermelha
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Resíduos da Construção Civil</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Gerenciamento e Reciclagem dos Resíduos da Construção Civil</b> ...17	
<b>2.3</b>	<b>Utilização de Agregados Reciclados</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Métodos de Dosagem</b> .....	<b>19</b>
2.4.1	IPT/EPUSP .....	20
<b>2.5</b>	<b>Propriedades do Concreto no Estado Fresco</b> .....	<b>22</b>
2.5.1	Trabalhabilidade .....	22
2.5.2	Consistência .....	22
2.5.3	Homogeneidade .....	22
<b>2.6</b>	<b>Propriedades do Concreto no Estado Endurecido</b> .....	<b>23</b>
2.6.1	Resistência à Compressão.....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização do Agregado Reciclado</b> .....	<b>24</b>
3.1.1	Composição Granulométrica .....	25
3.1.2	Massa Unitária e Índice de Vazios .....	26
3.1.3	Densidade .....	27
<b>3.2</b>	<b>Dosagens</b> .....	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Propriedades do Concreto no Estado Fresco</b> .....	<b>29</b>
3.3.1	Consistência .....	29
3.3.2	Massa Específica .....	29
<b>3.4</b>	<b>Propriedades do Concreto no Estado Endurecido</b> .....	<b>30</b>
3.4.1	Resistência à Compressão.....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do Agregado Reciclado</b> .....	<b>31</b>
4.1.1	Composição Granulométrica .....	31
4.1.2	Massa Unitária e Índice de Vazios .....	33
4.1.3	Densidade .....	33
<b>4.2</b>	<b>Dosagens</b> .....	<b>34</b>

4.2.1	IPT/EPUSP .....	34
<b>4.3</b>	<b>Propriedades do Concreto no Estado Fresco.....</b>	<b>37</b>
4.3.1	Trabalhabilidade .....	37
4.3.2	Consistência .....	38
4.3.3	Homogeneidade .....	39
4.3.4	Massa Específica .....	40
<b>4.4</b>	<b>Propriedades do Concreto no Estado Endurecido.....</b>	<b>41</b>
4.4.1	Resistência à Compressão.....	41
<b>4.5</b>	<b>Análise Econômica.....</b>	<b>43</b>
4.5.1	Relação água cimento, teor de agregados e consumo de cimento .....	44
4.5.2	Traço e quantidade de materiais .....	46
4.5.3	Composição de preços .....	47
<b>4.6</b>	<b>Comparações com o Método de Dosagem ABCP .....</b>	<b>48</b>
4.6.1	Dosagem e Traços .....	48
4.6.2	Resistência à Compressão.....	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNCIDE A - TRAÇO RICO.....</b>	<b>57</b>
	<b>APÊNCIDE B - TRAÇO PILOTO .....</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNCIDE C - TRAÇO POBRE.....</b>	<b>61</b>
	<b>APÊNCIDE D - COMPARAÇÃO DOS TRAÇOS .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e das grandes cidades, juntamente com o desenvolvimento da indústria da construção civil, vem ocasionando o aumento da geração de resíduos oriundos das obras, criando a necessidade da reutilização e reciclagem desses materiais, com o propósito de desacelerar o uso de recursos naturais como o cimento e agregados.

Segundo Brasileiro *et al.* (2015), essa é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente, onde 50% dos recursos naturais extraídos estão relacionados à atividade de construção.

De acordo com a ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição), em 2019, 60% do lixo sólido das áreas urbanas do Brasil veio da construção civil, e desse total, 70% poderiam ser reaproveitados, e das cerca de 290,5 toneladas de entulho gerados diariamente no país, apenas 21% são reciclados.

Segundo Tam *et al.* (2018), a produção global de agregados quase dobrou em um período de 7 anos, sendo 21 bilhões de toneladas em 2007 e chegando a 40 bilhões em 2014, onde o Brasil foi um dos países a registrar um dos maiores aumentos quanto à geração de Resíduos da Construção Civil (RCC), evidenciando a necessidade de estudos com a reutilização de materiais reciclados como matéria prima e o aumento de usinas de reciclagem que aceitem a demanda atual.

Percebe-se a importância e magnitude da situação, quando em 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, homologou a resolução nº 307, a qual estabelece os procedimentos a serem seguidos sobre a gestão de resíduos da construção civil, visando a redução dos impactos ambientais gerados por eles. Especificamente, ela apresenta obrigações que devem ser cumpridas pelos geradores em suas próprias empresas, como a redução da geração desses materiais, reutilização, reciclagem e a destinação final apropriada.

Segundo Borhan (2015), a reciclagem de resíduos de concreto demolido ajuda a proteger os recursos naturais, a reduzir a poluição ambiental e o descarte inapropriado do RCC nos aterros. Pensando nisso, pesquisas e estudos sobre a incorporação de agregados reciclados na fabricação de novos concretos, são cada vez mais frequentes, pois segundo Silva *et al.* (2014), a reutilização dos materiais

descartados nas obras é frequentemente citado como uma das melhores maneiras de gerenciar o RCC.

Buscando diminuir a quantidade de resíduos destinados aos aterros da cidade e conseqüentemente o impacto que esses materiais causam na natureza, foram utilizados agregados reciclados provenientes da usina de reciclagem da cidade de Guarapuava - PR, na fabricação de novos concretos, por meio da substituição total do agregado graúdo por esse material, avaliando aspectos técnicos e suas propriedades mecânicas.

## **1.1 Objetivos**

Os objetivos do trabalho estão classificados em geral e específicos e serão apresentados nos próximos itens.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a fabricação de novos concretos para uso não estrutural, por meio da substituição total do agregado graúdo natural por agregado reciclado produzido na usina de reciclagem do município de Guarapuava – PR.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o agregado produzido pela reciclagem de RCC gerado no município de Guarapuava – PR por meio de ensaios normativos;
- Calcular o traço para a produção de novos concretos através do método IPT/EPUSP;
- Avaliar as propriedades no estado fresco do concreto produzido;
- Avaliar as propriedades no estado endurecido do concreto produzido;
- Avaliar a viabilidade tecnológica e econômica do emprego de agregados de reciclados em concretos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Resíduos da Construção Civil

Sancionada no dia 2 de agosto de 2010, a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), caracteriza os RCC, também chamados de resíduos de construção e demolição, como aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, englobando os descartes da preparação do solo e escavação de terrenos. Segundo a resolução CONAMA nº 307, esses resíduos foram classificados e divididos em classes de acordo com algumas características:

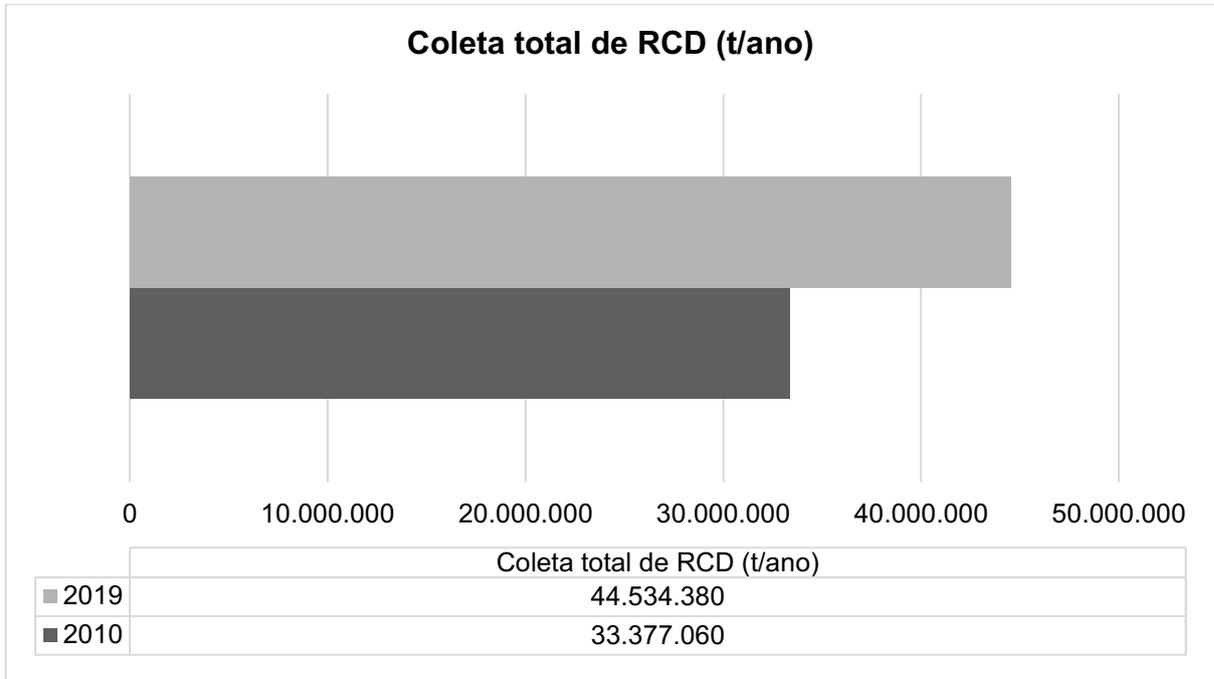
- Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, componentes cerâmicos, argamassa e concreto, blocos, tubos, meios-fios etc.;
- Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D – são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Sobre a reciclagem de RCC no Brasil, segundo estudo de Fagundes *et al.* (2009), realizada em um período de 1986 até 2008, foram utilizados os dados de 191 construtoras do país que fazem o descarte correto desse material. Considerando todas as usinas de reciclagem que estão ativas no Brasil, foram constatados que somente 3,6% dos resíduos produzidos nas indústrias da construção civil no país são reciclados. Esse valor poderia chegar a 4,5% caso todas as usinas estivessem funcionando normalmente.

Entretanto, os números mais recentes apontam valores ainda maiores e preocupantes. Segundo o panorama realizado em 2020 pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a quantidade de RCD coletados nos municípios do Brasil tiveram um aumento quantitativo. Em 2010, o recolhimento do material passou de 33 milhões de toneladas, para 44,5 milhões, em

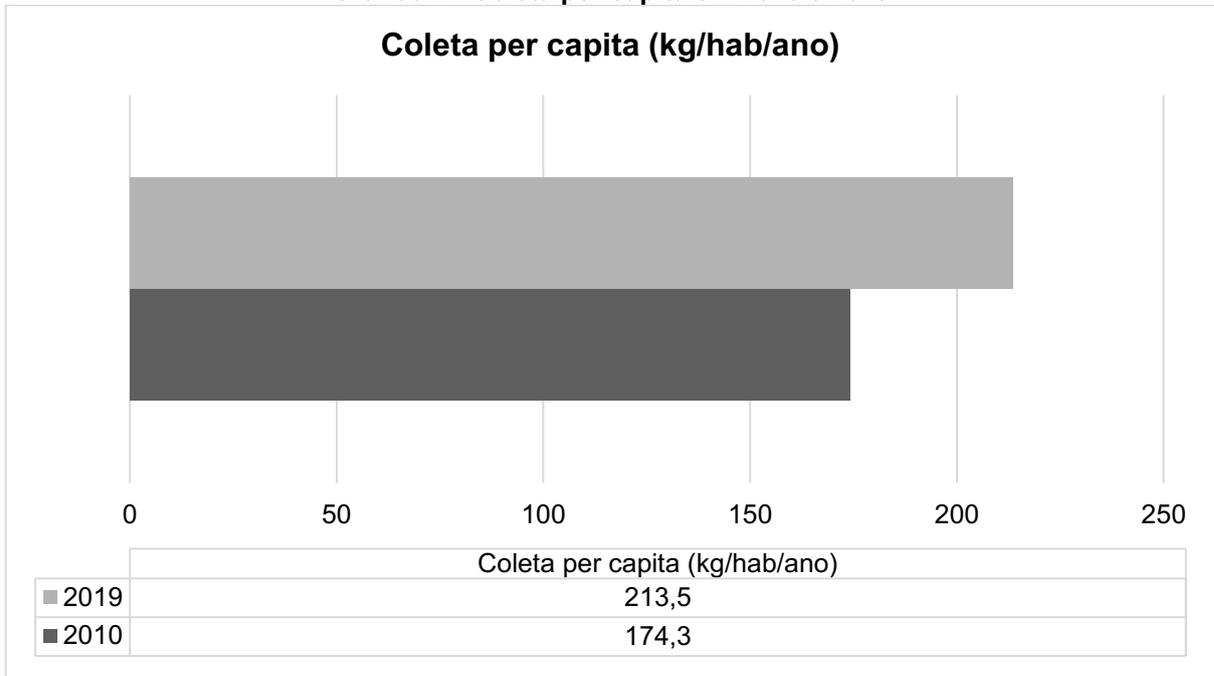
2019. Com isso, a quantidade coletada per capita cresceu de 174,3 kg para 213,5 kg por habitante, por ano, conforme os Gráficos 1 e 2 apresentados.

**Gráfico 1 - Coleta total de RCD em 2010 e 2019**



Fonte: Adaptado Panorama Abrelpe (2020)

**Gráfico 2 - Coleta per capita em 2010 e 2019**



Fonte: Adaptado Panorama Abrelpe (2020)

Porém, cidades como Belo Horizonte – MG, Socorro – SP e Piracicaba – SP são conhecidas no país como exemplo de gerenciamento e reciclagem do RCC. Na primeira cidade, dos 40% dos resíduos coletados, 25% são reciclados em duas usinas. Em Socorro, empresários comercializam agregados reciclados com um preço mais atrativo, para substituir o agregado natural na produção de argamassa para assentamento de alvenaria para vedações comuns. Piracicaba pode reciclar até 620 m<sup>3</sup>/dia, utilizando principalmente os agregados de cerâmica em obras de pavimentação e assentamento de alvenarias (FILHO, et al., 2007).

Em relação a outros países, nos últimos anos, nações da Ásia e América do Sul vêm mostrando um aumento acelerado na produção de agregados, principalmente na China, Índia, Indonésia, Malásia, Tailândia, Turquia, Rússia, Brasil e México. Somente a China foi responsável pela metade da geração de RCC do mundo entre os anos de 2010 e 2015 (TAM, et al., 2018).

Como uma meta para o ano de 2020, os países da União Europeia estabeleceram a reutilização de 70% de RCC produzido como uma maneira de reduzir os impactos gerados na natureza e na saúde humana (GONZÁLEZ, et al., 2017).

## **2.2 Gerenciamento e Reciclagem dos Resíduos da Construção Civil**

Para assegurar a diminuição na geração e a correta destinação dos resíduos das obras, métodos de gerenciamento devem ser seguidos pelos geradores, a fim de garantir o menor impacto ambiental causados por esses materiais.

Nagalli (2014), apresenta procedimentos para auxiliar os responsáveis a fazer uma correta gestão dos resíduos nas obras, seguindo os seguintes passos:

- A não geração, o qual propõe a substituição da matéria prima por aquelas que não precisem de embalagens, e a priorização da execução in loco;
- A minimização, evidenciando uma boa gestão e treinamento da equipe para evitar desperdícios com materiais e apresentar novas tecnologias;
- A reutilização, propondo aproveitar os resíduos diretamente nas obras como matéria prima, como o reuso da madeira das formas de concreto, a utilização de materiais descartados como agregados em novos concretos e em terraplanagens;

- A reciclagem, fazendo a correta separação dos materiais conforme as suas características e classes;
- O descarte adequado, encaminhando os resíduos para locais como aterros e usinas licenciadas, dando um destino ambientalmente correto para esses materiais.

No último século, a indústria da construção civil apresentava somente uma função exploratória, porém, questões ambientais e a preocupação com a escassez de recursos naturais, mostraram a importância da disseminação e aumento de estudos que apresentam uma diminuição no impacto ambiental, pensando no futuro do planeta.

De acordo com Fagundes, *et al.* (2009), as Prefeituras de São Paulo – SP (1991), Londrina – PR (1993) e de Belo Horizonte – MG (1994), foram as primeiras a instalarem usinas de reciclagem nas respectivas cidades.

Segundo a ABRECON, o Brasil poderia reciclar até 98% dos resíduos, mas só faz o destino correto de 21% desse material. O grande problema está no gerador de pequenas obras, responsáveis por 60 a 70% dos resíduos gerados, no qual descartam esses materiais de maneira incorreta, em áreas periféricas das cidades e até em terrenos sem construções. Somente a cidade de São Paulo apresenta um total de 4.500 locais de descarte inapropriado de RCC (PGIRS, 2014).

### **2.3 Utilização de Agregados Reciclados**

Estudos utilizando agregados reciclados em concretos para uso não estrutural, estão cada vez mais evidentes na indústria da construção civil, por reutilizar o RCC diretamente como matéria primas nas obras, promovendo a diminuição do volume desses materiais nos aterros pelo país e pelo mundo.

As pesquisas sobre o uso de RCC no país, começaram a ser realizadas por Pinto em 1986, depois Levy e Helene em 1995 e 1996 respectivamente, Hamassaki, Sbrighi e Florindo em 1996, todos dando ênfase ao uso em argamassas (TULIO; MACHADO, 2020).

Rao, *et al.* (2007), argumenta que os agregados reciclados podem ser aqueles oriundos de elementos pré-moldados ou corpos de prova que passaram por ensaios e testes, e aqueles vindos de edificações demolidas. No primeiro caso, os materiais devem somente passar por uma limpeza, para que posteriormente possam ser

adicionados à pasta de cimento. Já no segundo caso, o autor evidencia o cuidado com a possível contaminação desses materiais por sais, areia, poeira, madeira, plásticos e metais, mas após uma minuciosa limpeza e segregação dos objetos contaminantes, os resíduos de demolições podem ser utilizados como substituto dos agregados naturais em concretos.

Assim como os agregados comuns, os reciclados também devem passar por ensaios previstos em normas antes da utilização, como a composição granulométrica e massa específica.

Segundo Silva, *et al.* (2014), os agregados são a principal forma do concreto no estado endurecido resistir à compressão, já em concretos com o uso de agregados reciclados, essa resistência depende principalmente das propriedades dos tijolos triturados. Como as resistências suportadas pelos dois materiais apresentam uma divergência, o concreto produzido com a utilização de agregados reciclados poderá apresentar uma redução dessa capacidade.

Nos estudos feitos em 2017 por González, *et al.*, os autores afirmam que as características do concreto obtido por meio da utilização de RCC obtidas foram: menor densidade e maior absorção de água no agregado reciclado em comparação aos agregados naturais. A absorção de água encontrada foi maior, o qual forçou o aumento da quantidade do material no traço. A resistência à compressão diminuiu de maneira linear à medida que foi aumentada a porcentagem de substituição do agregado natural por agregado reciclado.

Por meio de ensaios realizados por Leite (2001), sobre a utilização de resíduos como agregados reciclados em concretos, conclui-se que:

O uso de agregados reciclados é perfeitamente viável para produção de concretos, pelo menos do ponto de vista das propriedades mecânicas avaliadas (...). É possível utilizar a fração miúda do material reciclado sem maiores prejuízos ao desempenho mecânico dos concretos (LEITE, 2001).

A autora também afirma ainda que somente o incentivo a pesquisas sobre agregados reciclados possibilitará a disseminação da sua utilização em novos concretos, podendo quebrar paradigmas, gerando produtos de melhor qualidade.

## **2.4 Métodos de Dosagem**

Com o decorrer dos anos, as estruturas projetadas por engenheiros estão evoluindo no sentido de complexidade e tamanho, evidenciando a procura por materiais cada vez mais resistentes a fim de suportar as cargas exercidas neles.

O estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland, são os procedimentos necessários para a obtenção da melhor relação entre os materiais constituintes do concreto (HELENE e TUTIKIAN, 2011).

Uma dosagem de excelência garante a qualidade final do concreto, sendo ela definida como:

os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Os concretos com adição de agregados reciclados também devem passar por estudos de dosagens, a fim de se obter a quantidade correta de materiais necessários na mistura da pasta de cimento e agregados, garantindo propriedades mecânicas esperadas em estudos prévios.

Como no Brasil não existe um método oficial sobre os procedimentos de dosagem proposto em norma, ou um consenso de como esses estudos devem proceder, deste modo, muitos pesquisadores acabam criando métodos próprios, assim como o método IPT/EPUSP.

Como métodos de dosagem de concreto existentes, podemos citar o INT, proposto por Fernando Luiz Lobo Carneiro em 1937, o ITERS, proposto por Eládio Petrucci em 1985, o ABCP, proposto por Ary Torres e Carlos Rosman em 1956, o qual é uma adaptação do método americano do ACI, entre outros, também são métodos de dosagem conhecidos e utilizados no Brasil (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

#### 2.4.1 IPT/EPUSP

O método IPT/EPUSP foi criado na Escola Politécnica da USP, como uma atualização do método desenvolvido no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Ele é conhecido por ser adaptável às necessidades dos projetos (BOGGIO, 2000).

O método do IPT é baseado na determinação experimental de um teor de argamassa ideal para o recobrimento do agregado graúdo utilizado. Ele divide-se, basicamente, em duas etapas. A primeira delas consiste na determinação do teor de argamassa ideal e, a segunda, no traçado de um ábaco de dosagem (TORALLES, et al. 2018).

O método apresenta as “leis de comportamento” representadas por um diagrama com três quadrantes, obtidas através da Lei de Abrams, Lei de Lyse, Lei de Molinari e o teor de argamassa seca.

A Lei de Abrams nos apresenta que a resistência do concreto em uma determinada idade, é inversamente proporcional à relação água cimento. Já a Lei de Lyse, é denotada quando a quantidade de cimento e agregados é fixada, e assim, a consistência do concreto fresco dependerá da quantidade de água presente nesse material. Como a Lei de Molinari depende do valor do consumo do concreto, esse valor é alterado na proporção inversa da relação em massa seca dos agregados e do cimento (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Portanto, as leis de comportamento citadas são representadas pelas expressões:

$$f_{cj} = \frac{A}{B^x} \quad (1)$$

Onde:

$f_{cj}$  = resistência à compressão axial em MPa, à idade j em dias;

x = relação água/cimento, em kg/kg.

$$m = K_3 + K_4 \times x \quad (2)$$

Onde:

m = relação água/cimento, em kg/kg.

$$m = (a + b) \quad (3)$$

Onde:

a = relação agregado miúdo/cimento, em kg/kg;

b = relação agregado graúdo/cimento, em kg/kg.

$$C = \frac{1000}{K_5 + K_6 \times m} \quad (4)$$

Onde:

C é o consumo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto.

$$\alpha(\%) = \frac{(1 + a)}{(1 + m)} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

$\alpha$  = teor ideal de argamassa seca, em %.

## 2.5 Propriedades do Concreto no Estado Fresco

O concreto é chamado de fresco quando a mistura de agregados miúdos e graúdos se encontra em estado fluido ou plástico (SOBRAL, 2000). As principais e mais importante propriedades do concreto nesse estado são a trabalhabilidade, consistência e homogeneidade.

### 2.5.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto no estado fresco é a facilidade com que o material pode ser manipulado sem que ocorra a segregação.

A trabalhabilidade de um concreto, assim como sua consistência, depende da granulometria dos materiais sólidos, da incorporação de aditivos e, principalmente, do fator água/cimento (relação entre a quantidade de água e a quantidade de cimento usada na mistura do concreto). (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2013, p. 26).

### 2.5.2 Consistência

A consistência do concreto no estado fresco está relacionada com a fluidez da mistura de agregados graúdos e miúdos, e é fundamental para assegurar a trabalhabilidade dessa pasta de materiais (ANDOLFATO, 2002). Para a obtenção dessa propriedade é realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), determinado com auxílio da NBR 16889 (ABNT, 2020).

### 2.5.3 Homogeneidade

A homogeneidade tem grande influência na qualidade final do concreto. Quando os agregados se mostram distribuídos de forma uniforme, e a pasta se envolve totalmente pelos agregados graúdos, melhor será a qualidade do produto solicitado (PAIVA FILHO, 2017).

## 2.6 Propriedades do Concreto no Estado Endurecido

O concreto endurecido deve apresentar resistência mecânica e durabilidade compatíveis com as indicadas no projeto (CORRÊIA e SOUZA, 2014). Para o estudo, a principal característica estudada é a resistência à compressão.

### 2.6.1 Resistência à Compressão

O ensaio de resistência característica à compressão ( $F_{ck}$ ) é o principal meio de confirmar a qualidade do concreto nas obras, e se os seus parâmetros atendem aos valores esperados em projetos (MARTINS e MAIA FILHO, 2015).

A resistência à compressão deve ser calculada conforme a Equação 6, com auxílio da NBR 5739 (ABNT, 2018).

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (6)$$

Onde:

$f_c$  = resistência à compressão, em MPa;

F = força máxima alcançada, em N;

D = diâmetro do corpo de prova, em mm.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para atingir os objetivos é de abordagem quantitativa, realizada através da análise de resultados e dados obtidos em laboratório, por meio de ensaios. Essa abordagem é constantemente utilizada em estudos descritivos, que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis e a causalidade entre acontecimentos (RAUPP e BEUREN, 2006).

#### **3.1 Caracterização do Agregado Reciclado**

Os agregados utilizados na pesquisa foram coletados na usina de reciclagem de RCC localizada no bairro Vila Bela, na cidade de Guarapuava – PR. Ela foi fundada no final de 2018, e recebe cerca de 60% de todo o resíduo gerado no município, recolhendo em média 1500 m<sup>3</sup> de resíduos todo mês (BILYK, 2021).

Primeiramente foi realizada a caracterização dos resíduos em relação às classes a qual pertencem, para assim fazer a coleta e prosseguir com realização dos ensaios. Já em laboratório, foi feita uma seleção manual do futuro agregado para separar qualquer outro material indesejável.

Na Fotografia 1 observam-se as características do RCC recebido da usina de reciclagem e sua composição, onde são verificados todos os materiais que compõe a mistura. Foram separados dessa mistura os compostos como madeira, pregos e outros tipos de metais.

**Fotografia 1 - Agregado reciclado**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

### 3.1.1 Composição Granulométrica

Para determinar a composição granulométrica dos resíduos, foi executado o peneiramento desses materiais, no Laboratório de Materiais da Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Guarapuava, com o auxílio da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Primeiramente, as duas amostras são submetidas à uma umidificação e posteriormente à secagem em estufa, por um período de 24 horas. Após o seu resfriamento à temperatura ambiente, são determinadas suas massas, para assim serem depositadas nas peneiras e submetidos à agitação mecânica, por um tempo razoável.

As peneiras foram escolhidas conforme a séries normal e intermediária presentes da NBR NM 248, conforme apresentado na Tabela 1, sendo elas classificadas em ordem crescente como: 4,75 mm, 6,3 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 25 mm, 19 mm, 31,5 mm e 37,5 mm.

Tabela 1 - Série de peneiras

Série normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19	-
-	12,5 mm
9,5	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: Adaptado NBR NM 248 (2003)

A quantidade de material depositado em cada malha foi determinada através da Equação 7:

$$m = 2,5 \times a \times s \quad (7)$$

Onde:

m = quantidade máxima de material em cada peneira, em kg;

a = abertura da malha, em mm;

s = superfície efetiva de peneiramento, em m<sup>2</sup>.

O material é removido das peneiras e classificado como retido, se esse estiver no lado interno, ou passante, se estiver na parte inferior. É repetido o processo com todas as peneiras, para posteriormente determinar a massa total obtida em cada etapa.

### 3.1.2 Massa Unitária e Índice de Vazios

A determinação da massa unitária e índice de vazios foi executada com auxílio da NBR 16972 (ABNT, 2021), primeiramente selecionando o procedimento “método

C”, empregado quando o material em estudo se apresenta no estado solto. Inicialmente foi determinada a massa do recipiente vazio, esse que logo depois é preenchido com os resíduos, até que ocorra o transbordamento do material estudado. A camada de resíduos é nivelada, para depois fazer o registro da massa do recipiente em somatório com seu conteúdo. Para o cálculo da massa unitária foi utilizada a Equação 8:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ra} - m_r}{V} \quad (8)$$

Onde:

$\rho_{ap}$  = massa unitária do agregado, em kg/m<sup>3</sup>;

$m_{ra}$  = massa do recipiente mais agregado solto, em kg;

$m_r$  = massa do recipiente, em kg;

$V$  = volume do recipiente, em kg.

Para a obtenção do índice de vazios do agregado graúdo, foi utilizada a Equação 9, seguindo os procedimentos normativos.

$$E_v = \frac{100[(d_1\rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1\rho_w} \quad (9)$$

Onde:

$E_v$  = volume de vazios, em %;

$d_1$  = massa específica relativa do agregado seco, em kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_w$  = massa específica da água, em kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.3 Densidade

Para a determinação da densidade do RCC, a amostra foi pesada e depositada na água à temperatura ambiente, por um período de 24 horas. Posteriormente, ela é seca com auxílio de um pano, até que toda camada aparente de umidade seja eliminada, sendo imediatamente pesada com precisão de 1g. Em seguida, os resíduos são novamente depositados na água, pesados, secos em estufa e pesados mais uma vez. Todos os procedimentos foram realizados conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021). Assim, através das respectivas Equações 10, 11 e 12, podemos

obter a densidade do RCC na condição seca, na condição saturada superfície seca e por fim, a absorção.

$$\rho_S = \frac{m_A}{m_B - m_C} \quad (10)$$

$$\rho_{SSS} = \frac{m_B}{m_B - m_C} \quad (11)$$

$$Abs = \frac{m_B - m_A}{m_A} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

$\rho_S$  = densidade do agregado na condição seca, em g/cm<sup>3</sup>;

$m_A$  = massa da amostra seca em estufa, em g;

$m_B$  = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em g;

$m_C$  = massa da amostra submersa em água na condição saturada superfície seca, em g;

$\rho_{SSS}$  = densidade do agregado na condição saturada superfície seca, em g/cm<sup>3</sup>;

Abs = absorção de água, em %.

### 3.2 Dosagens

O estudo de dosagem do concreto utilizado neste trabalho foi o IPT/EPUSP. Por meio de manipulações matemáticas das Fórmulas 3 e 5, foram obtidos os traços e posteriormente calculados os valores em quilograma dos materiais presentes nos concretos fabricados. Os traços rico, piloto e pobre se diferenciam pela proporção de cimento e agregados totais resultantes nos concretos. Para o traço rico, a proporção é de 1:3,5, para o piloto 1:5 e para o pobre 1:6,5. Assim, foram fabricados os concretos, aumentando o valor do teor de argamassa, para atingir o concreto com melhores propriedades e características avaliadas.

### 3.3 Propriedades do Concreto no Estado Fresco

#### 3.3.1 Consistência

Para a obtenção dessa propriedade é realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), determinado com auxílio da NBR 16889 (ABNT, 2020).

Inicialmente o molde e a placa de base são umedecidos, para serem preenchidos com o concreto, em três camadas, cada uma com um terço da altura total do molde compactado. Essa compactação foi feita com a utilização da haste de socamento, em que cada uma das três camadas deve receber 25 golpes de forma uniforme.

O conteúdo foi depositado na placa base, e o molde retirado na vertical. Em seguida, realiza-se a medição, para determinar a diferença entre as alturas do molde e do eixo corpo-de-prova.

#### 3.3.2 Massa Específica

Seguindo as especificações da NBR 9833 de 2008, pode-se calcular a massa específica do concreto no estado fresco. Primeiramente deve-se utilizar um recipiente cilíndrico, fazer sua pesagem e preenchê-lo com o concreto em três camadas, adensando entre elas. O número de golpes depende diretamente do volume do recipiente utilizado, conforme a Tabela 2, adaptada da mesma norma.

**Tabela 2 - Adensamento manual**

Volume do recipiente (dm <sup>3</sup> )	Número de golpes por camada
≤ 15	25
≥ 30	50

**Fonte: Adaptado NBR 9833 (2008)**

Após completar o recipiente com o concreto, deve ser feito o arrasamento da superfície, a limpeza e pesagem.

Utilizando a Equação 13, podemos obter a massa específica do concreto em suas diferentes dosagens.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \times 1000 \quad (13)$$

Onde:

$\rho_{ap}$  = massa específica aparente do concreto, em  $\text{kg/m}^3$ ;

$m$  = massa do concreto, em kg;

$V$  = volume do recipiente, em  $\text{dm}^3$ .

### **3.4 Propriedades do Concreto no Estado Endurecido**

#### **3.4.1 Resistência à Compressão**

A NBR 5739 (ABNT, 2018) determina os procedimentos para a realização do ensaio, iniciando pela medição do diâmetro e da altura dos corpos de prova. Com a utilização da NBR 5738 (ABNT, 2015), é feita a moldagem dos corpos de provas para cada traço, aplicação do desmoldante e preenchimento do recipiente, através de golpes entre as camadas, para posteriormente serem rompidos à compressão, em idades específicas com tolerâncias determinadas na norma.

Realiza-se a retificação, limpeza e secagem das faces do testemunho antes de cada ensaio, sendo eles submetidos aos carregamentos, prevendo a correta calibragem da máquina. O carregamento só deve acabar quando houver a queda de força que mostre a ruptura.

Para os estudos, foram preenchidos seis corpos de prova de cada traço para serem rompidos em idades de 7 e 28 dias.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização do Agregado Reciclado

#### 4.1.1 Composição Granulométrica

Após a realização do ensaio de granulometria, utilizando as massas dos materiais retidos nas peneiras das séries normal e intermediária, classificadas na NBR NM 248, podemos obter o diâmetro máximo em milímetros do agregado reciclado, o qual resultou em 25 mm, equivalendo a granulometria da chamada Brita 2. Os cálculos também resultaram no módulo de finura da amostra, obtida através da soma da porcentagem retida acumulada das peneiras da série normal, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3 - Resultados do ensaio de granulometria**

Série normal e Série intermediária - NBR NM 248							
Peneira	m <sub>1</sub> = 2000g		m <sub>2</sub> = 2000g			Médias	
# (mm)	Massa retida	Porcentagem retida	Massa retida	Porcentagem retida	Variação ≥ 4%	Média retida	Porcentagem retida acumulada
37,5	<b>0,00</b>	0,00%	<b>0,00</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
31,5	<b>0,00</b>	0,00%	<b>0,00</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%
19	<b>19,95</b>	1,00%	<b>0,00</b>	0,00%	1,00%	0,50%	1,00%
25	<b>33,78</b>	1,70%	<b>0,00</b>	0,00%	1,70%	0,85%	1,85%
12,5	<b>426,65</b>	21,41%	<b>476,13</b>	24,55%	3,14%	22,98%	24,83%
9,5	<b>741,81</b>	37,23%	<b>770,8</b>	39,74%	2,52%	38,48%	63,31%
6,3	<b>510,70</b>	25,63%	<b>421,38</b>	21,73%	3,90%	23,68%	86,99%
4,75	<b>106,04</b>	5,32%	<b>95,20</b>	4,91%	0,41%	5,11%	92,10%
Fundo	<b>153,82</b>	7,72%	<b>176,04</b>	9,08%	1,36%	8,40%	100,00%
Soma	<b>1992,75</b>	100,00%	<b>1939,55</b>	100,00%		100,00%	

**Diâmetro máximo (mm)**

**25**

**Módulo de finura**

**1,56**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

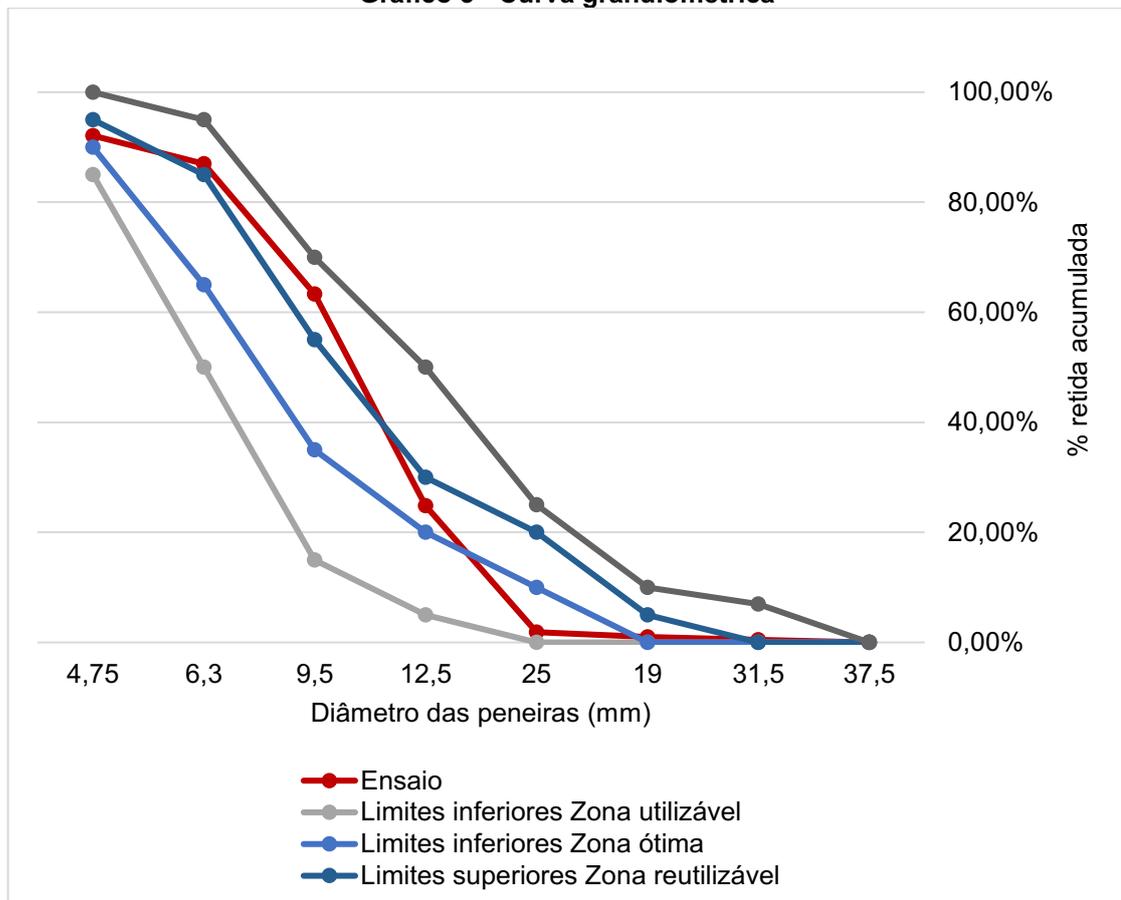
Com a utilização da Tabela 4, a qual resume os limites inferiores e superiores das zonas utilizável, ótima e reutilizável contidas na NBR 7211 (ABNT 2009), podemos traçar o gráfico da curva granulométrica, apresentado no Gráfico 3, permitindo mostrar a porção de cada classe de material em estudo, facilitando a destinação para uma finalidade específica, como por exemplo lajes, pilares, drenos e gabiões.

Tabela 4 - Limites e zonas da NBR 7211

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona reutilizável	Zona ótima
9,5 mm	0%	0%	0%	0%
6,3 mm	0%	0%	0%	7%
4,75 mm	0%	0%	5%	10%
2,36 mm	0%	10%	20%	25%
1,18 mm	5%	20%	30%	50%
600 µm	15%	35%	55%	70%
300 µm	50%	65%	85%	95%
150 µm	85%	90%	95%	100%

Fonte: Adaptado NBR 7211 (2009)

Gráfico 3 - Curva granulométrica



Observando a curva, podemos analisar que os valores obtidos no ensaio estão dentro dos limites da zona utilizável presente na norma.

#### 4.1.2 Massa Unitária e Índice de Vazios

Após obter e registrar a massa e volume do recipiente presente no laboratório, preenchê-lo com os RCC em estudo, e determinar sua massa novamente, em somatório com esse material, com o auxílio da NBR 16972, podemos calcular a sua massa unitária conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 - Massa unitária e índice de vazios do RCC**

<b>Massa Unitária e Índice de Vazios</b>		
Massa do recipiente mais agregado reciclado solto	$m_{ar}$ (kg)	7,95
Massa do recipiente	$m_r$ (kg)	0,26
Volume do recipiente	$V$ (m <sup>3</sup> )	6,28E-03
Massa específica do agregado reciclado seco	$d_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	2482,15
Massa específica da água	$\rho_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	1000,00
<b>Massa unitária do agregado reciclado</b>	<b><math>\rho_{ap}</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1223,24</b>
<b>Índice de vazios</b>	<b><math>E_v</math> (%)</b>	<b>10,00</b>

Fonte: Autoria própria (2022)

Portanto, a massa unitária obtida do agregado reciclado a ser utilizado é de 1223,24 kg/m<sup>3</sup> e o índice de vazio é de 10%.

#### 4.1.3 Densidade

Após obter as massas dos resíduos através da sua secagem em estufa por um período de 24 horas, submetê-los à imersão em água pelo mesmo tempo e secá-lo superficialmente, podemos calcular a densidade do RCC na condição seca, saturada superfície seca e sua absorção em água, conforme mostrado na Tabela 6.

**Tabela 6 - Densidades e absorção da água do RCC**

(continua)

<b>Densidades e Absorção</b>		
Massa do agregado reciclado seco em estufa	$m_A$ (g)	2150,78
Massa do agregado reciclado na condição saturada superfície seca	$m_B$ (g)	2307,42

Tabela 6 - Densidades e absorção da água do RCC

(conclusão)

Densidades e Absorção		
Massa do agregado reciclado submerso em água na condição saturada superfície seca	$m_c$ (g)	1440,92
<b>Densidade do agregado reciclado na condição seca</b>	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,48</b>
<b>Densidade do agregado reciclado na condição saturada superfície seca</b>	$\rho_{sss}$ (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,66</b>
<b>Absorção da água</b>	<b>Abs (%)</b>	<b>7,28%</b>

Fonte: Autoria própria (2022)

Portanto, a densidade do agregado reciclado na condição seca resultou em 2,48 g/cm<sup>3</sup>, na condição saturado superfície seca em 2,66 g/cm<sup>3</sup> e a absorção da água em 7,28%.

## 4.2 Dosagens

### 4.2.1 IPT/EPUSP

Como método de dosagem IPT/EPUSP é estabelecido experimentalmente através de leis de comportamento de Abrams, Lyse e Molinari, primeiramente foram determinados os três traços, modificando a proporção dos agregados miúdos e do RCC. Para o traço piloto, essa relação foi de 1:5, para o pobre 1:3,5 e para o rico 1:6,5, onde trabalhando matematicamente as Equações 3 e 5 e adotando uma quantidade total em quilogramas de RCC a ser adicionado no concreto e um teor ideal de argamassa seca, podemos obter a massa de cimento, areia e resíduos na mistura.

Para a quantidade de água a ser adicionada na mistura, foi estipulado uma quantidade inicial desse material e com o aumento do teor de argamassa, essa adição também aumenta gradativamente. Assim, com os valores das quantidades de todos os materiais, podemos obter a relação água cimento, resultado esse que é ligado diretamente à qualidade do concreto e tem grande influência na sua resistência.

Posteriormente, foram iniciadas as misturas de concreto, realizadas no laboratório de construção civil. Para todos os três traços, os testes iniciaram com um teor de argamassa em 45%. Foi constatado que os agregados e a pasta de cimento

não se encontravam coesos, havendo separação desses materiais, isso indicava a falta de água na mistura.

Aumentando o teor de argamassa em 2% de cada vez, percebeu-se que o concreto resultante com melhor aparência foi o de 49%, sendo esse o teor de argamassa ideal. Já para o teor no valor de 51%, o concreto se apresentou muito fluido, o qual resultaria em um teor de argamassa sobressalente, podendo causar segregação no concreto fresco.

Os resultados de todos os cálculos dos traços rico, piloto e pobre são apresentados nos Apêndices A, B e C.

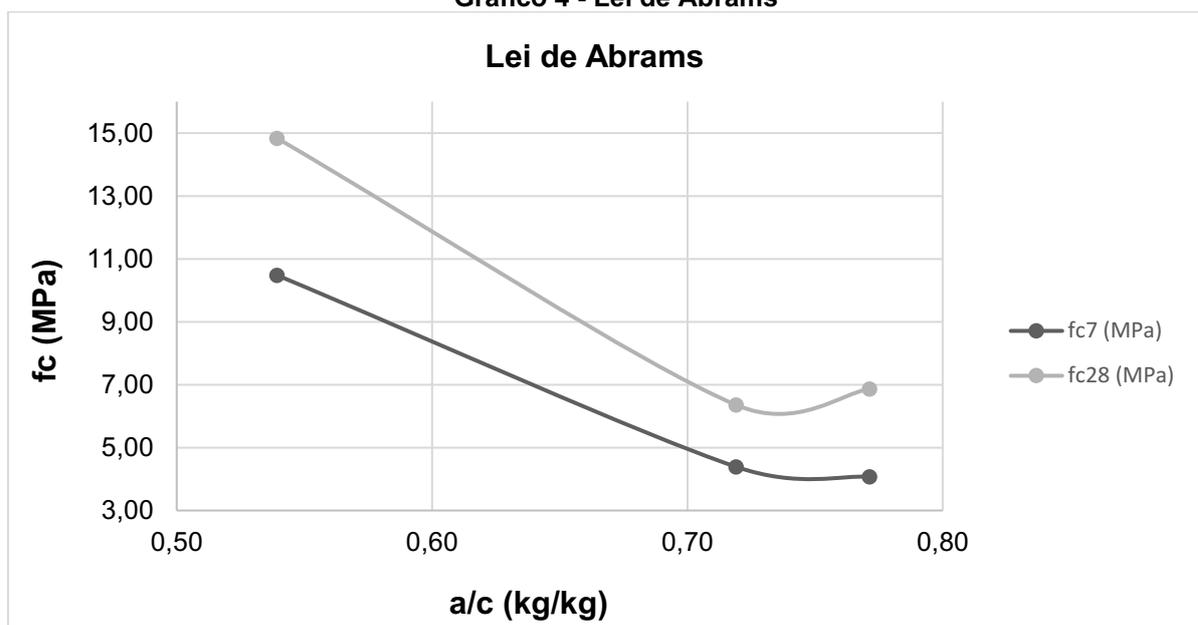
Após os cálculos da relação água cimento e das resistências à compressão em 7 e 28 dias, conforme as Tabelas 15 e 16, podemos obter o gráfico de comportamento seguindo a Lei de Abrams, o qual relaciona ambas as variáveis em kg/kg e em MPa, conforme apresentado no Gráfico 4.

**Tabela 7 - Resultados da Lei de Abrams**

Lei de Abrams			
	Traço Rico	Traço Piloto	Traço Pobre
<b>fc<sub>7</sub> (MPa)</b>	10,48	4,39	4,07
<b>fc<sub>28</sub> (MPa)</b>	14,84	6,36	6,86
<b>a/c (kg/kg)</b>	0,54	0,72	0,77

Fonte: Autoria própria (2022)

**Gráfico 4 - Lei de Abrams**



Fonte: Autoria própria (2022)

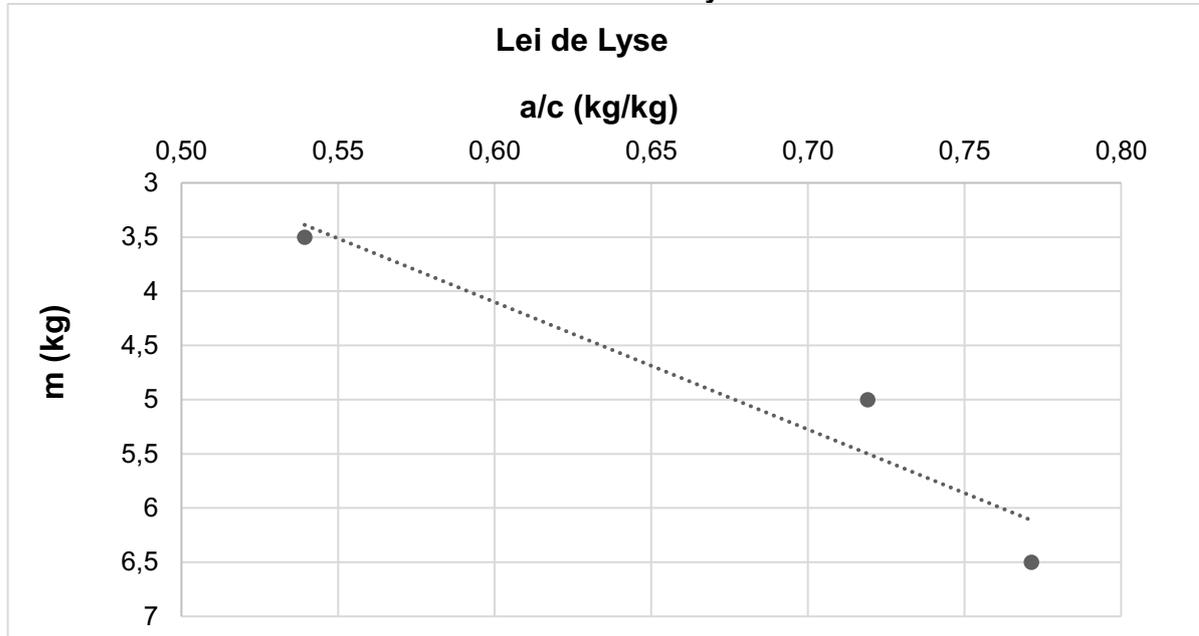
No Gráfico 5, podemos relacionar a quantidade total de agregados em cada traço, com a relação água cimento em kg e kg/kg, respectivamente. Assim, teremos a representação da Lei de Lyse, seguindo os valores da Tabela 8.

**Tabela 8 - Resultados da Lei de Lyse**

Lei de Lyse			
	Traço Rico	Traço Piloto	Traço Pobre
a/c (kg/kg)	0,54	0,72	0,77
m (kg)	3,5	5	6,5

Fonte: Autoria própria (2022)

**Gráfico 5 - Lei de Lyse**



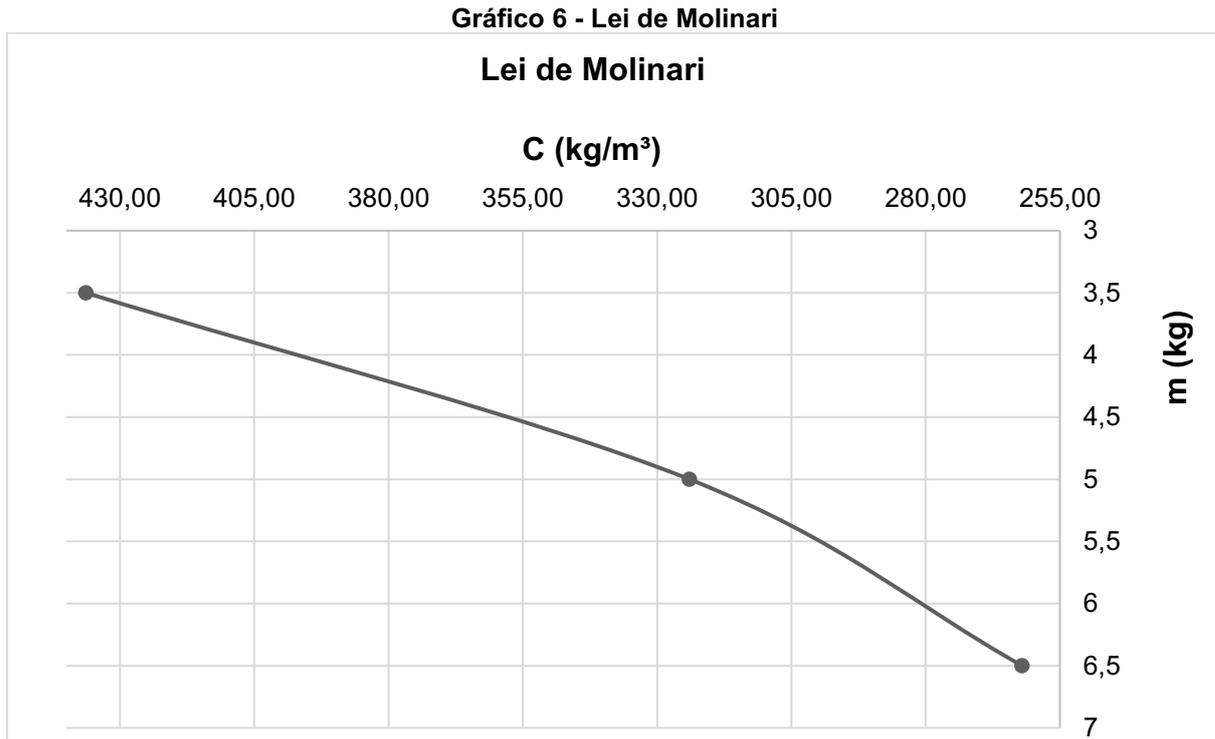
Fonte: Autoria própria (2022)

A Lei de Molinari relaciona a quantidade total de agregados em cada traço, em kg, com o consumo de cimento em  $\text{kg/m}^3$ . Com os resultados obtidos na Tabela 9, obtemos o Gráfico 6, o qual podemos visualizar a lei de comportamento estudada.

**Tabela 9 - Resultados da Lei de Molinari**

Lei de Molinari			
	Traço Rico	Traço Piloto	Traço Pobre
m (kg)	3,5	5	6,5
C ( $\text{kg/m}^3$ )	436,35	323,98	262,04

Fonte: Autoria própria (2022)



Fonte: Autoria própria (2022)

Assim, a junção dos três gráficos apresentados anteriormente, representa o Diagrama de Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.

### 4.3 Propriedades do Concreto no Estado Fresco

#### 4.3.1 Trabalhabilidade

Com a fabricação do concreto através dos traços e da mistura dos materiais com a utilização da betoneira, podemos observar a trabalhabilidade do material, estudada por meio de estudos visuais, a qual é a facilidade e a homogeneidade com qual ele é misturado, lançado e adensado. Essa propriedade é diretamente ligada com a granulometria do agregado graúdo, nesse caso o RCC, e a relação água cimento, pois quanto maior a dimensão desse material, maior será a dificuldade de se trabalhar com o concreto final.

Após a fabricação do concreto nos três traços em estudo, quando o seu teor de argamassa era menor que 49%, pode-se observar que havia uma dificuldade em se trabalhar com esse material, sendo aplicada uma maior força na colher de pedreiro para mexer no concreto de maneira manual. Já o concreto obtido com o teor de argamassa ideal, 49%, apresentou uma maior facilidade de se adensar e de se trabalhar, sem a presença vazios, conforme a Fotografia 2.

**Fotografia 2 - Trabalhabilidade do concreto**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

O concreto obtido através do teor de argamassa acima do ideal, apresentou uma fluidez exagerada, o qual representa uma quantidade excessiva de água no traço, também se observou uma segregação entre a pasta de cimento e o RCC, ou seja, uma movimentação das partículas do material. Esse comportamento resultaria em ninhos e falhas de preenchimento dos corpos de prova.

#### 4.3.2 Consistência

A consistência do concreto fresco representa a coesão entre os componentes que formam essa substância. Nos três traços, os concretos obtidos com o teor de argamassa com valores de 45 e 47%, apresentaram uma segregação entre a pasta de cimento e o RCC, ou seja, não era um material coeso.

Com o teor de argamassa ideal, com o valor de  $\alpha$  de 49%, os concretos apresentaram melhor consistência e coesão, sendo submetidos ao teste do abatimento de cone. Logo após a realização do ensaio, observou-se que o material

não apresentou desprendimento entre o RCC e a pasta de cimento, quando submetidos a golpes ao redor da placa metálica da base.

Após verificar visualmente que o concreto com melhor consistência era o qual apresentava o teor de argamassa ideal, foram realizados o ensaio do abatimento de cone, conforme a NBR 16889, para os três traços estudados. Inicialmente foi estabelecido que o *slump test* ideal resultaria em valores de  $80 \pm 10$  mm, o qual permanece dentro do intervalo proposto na NBR 8953 de 2015, conforme a Tabela 10.

**Tabela 10 - Classes de consistência**

<b>Classes</b>	<b>Abatimento (mm)</b>	<b>Aplicações típicas</b>
S10	$10 \leq a < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq a < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq a < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq a < 220$	Elementos estruturais, com lançamento bombeado do concreto
S220	$\geq 200$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

**Fonte: Adaptado NBR 8953 (2015)**

A Tabela 11 apresenta os valores encontrados para os três ensaios.

**Tabela 11 - Resultados do ensaio do abatimento de cone**

<b>Traço</b>	<b>Abatimento (mm)</b> <b><i>Slump test</i></b>
Rico	90,00
Piloto	80,00
Pobre	75,00

**Fonte: Autoria própria (2022)**

#### 4.3.3 Homogeneidade

A homogeneidade do concreto estudado foi observada através de um exame visual, demonstrando que o material ideal não apresenta separação dos seus componentes. A Fotografia 3 representa a homogeneidade do concreto obtido através dos estudos do traço, indicando que a pasta de cimento e o RCC estão coesos entre si.

Fotografia 3 - Homogeneidade do concreto



Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.3.4 Massa Específica

Como apresentado nas Tabelas 12, 13 e 14, após a o preenchimento com concreto do recipiente com volume calculado, adensamento, arrasamento e determinação das massas, calculamos a massa específica do concreto no estado fresco para os traços rico, piloto e pobre.

**Tabela 12 - Massa específica do concreto do traço rico**

<b>Rico</b>		
<b>Massa específica</b>		
Massa de concreto	m (kg)	<b>1,99</b>
Volume do recipiente	V (dm <sup>3</sup> )	<b>9,03E-01</b>
<b>Densidade do Concreto</b>	<b><math>\rho_{ap}</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2198,90</b>

Fonte: Autoria própria (2022)

**Tabela 13 - Massa específica do concreto do traço piloto**

<b>Piloto</b>		
<b>Massa específica</b>		
Massa de concreto	m (kg)	<b>1,97</b>
Volume do recipiente	V (dm <sup>3</sup> )	<b>9,03E-01</b>
<b>Massa específica do concreto</b>	<b><math>\rho_{ap}</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2176,83</b>

**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Tabela 14 - Massa específica do concreto do traço pobre**

<b>Pobre</b>		
<b>Massa específica</b>		
Massa de concreto	m (kg)	<b>1,96</b>
Volume do recipiente	V (dm <sup>3</sup> )	<b>9,03E-01</b>
<b>Massa específica do concreto</b>	<b><math>\rho_{ap}</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2167,46</b>

**Fonte: Autoria própria (2022)**

De acordo com a NBR 12655, de 2022, os concretos obtidos através dos três traços são classificados como Normal (C), pois suas densidades se encontram compreendidas entre 2000 kg/m<sup>3</sup> e 2800 kg/m<sup>3</sup>.

#### **4.4 Propriedades do Concreto no Estado Endurecido**

##### **4.4.1 Resistência à Compressão**

Posteriormente aos estudos feitos com o concreto no estado fresco, foram preenchidos seis corpos de prova cilíndricos para cada traço, para serem rompidos nas idades de 7 e 28 dias. Após 24 horas, eles foram desformados e submetidos a cura úmida, ou seja, submerso em água, até um dia antes do ensaio de compressão, conforme apresentados nas Fotografias 4 e 5.

**Fotografia 4 - Preenchimento dos corpos de prova**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Fotografia 5 - Cura úmida**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Com a utilização da prensa hidráulica do laboratório de materiais da construção civil da UTFPR, campus Guarapuava, os corpos de prova foram submetidos a forças de compressão para a obtenção das suas resistências.

Assim, após a utilização da Equação 6, podemos calcular a resistência à compressão a qual os concretos resistiram, e a média entre esses valores encontrados.

Com os resultados das resistências à compressão de todos os corpos de prova, foram observados que alguns valores se encontravam distantes da média obtida. Essa discrepância de valores pode ocorrer como resultados de problemas durante o preenchimento dos corpos de provas e da retificação feita antes do ensaio de compressão. Portanto, foi aplicado um intervalo de confiança de 10% sobre a média I, para calcular uma média II, onde foram excluídos os valores que se encontravam fora desse intervalo.

Apresentados nas Tabelas 15 e 16, obtemos os valores das resistências à compressão dos três traços em 7 e 28 dias e suas médias I e II.

**Tabela 15 - Resistências à compressão do concreto em 7 dias**

Resistência à compressão em 7 dias					
Traço	Corpo de prova	fck <sub>7</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	fck <sub>7</sub> (MPa)	Média I (MPa)	Média II (MPa)
Rico	1	1,02	10,36	10,48	10,48
	2	1,05	10,67		
	3	1,02	10,40		
Piloto	1	0,46	4,71	4,39	4,39
	2	0,40	4,05		
	3	0,43	4,41		
Pobre	1	0,33	3,41	3,85	4,07
	2	0,41	4,15		
	3	0,39	4,00		

Fonte: Autoria própria (2022)

**Tabela 16 - Resistências à compressão do concreto em 28 dias**

Resistência a compressão em 28 dias					
Traço	Corpo de prova	fck <sub>28</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	fck <sub>28</sub> (MPa)	Média I (MPa)	Média II (MPa)
Rico	1	1,18	12,01	13,89	14,84
	2	1,47	14,98		
	3	1,44	14,70		
Piloto	1	0,74	7,51	6,74	6,36
	2	0,61	6,24		
	3	0,64	6,48		
Pobre	1	0,70	7,17	6,27	6,86
	2	0,67	6,86		
	3	0,47	4,78		

Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.5 Análise Econômica

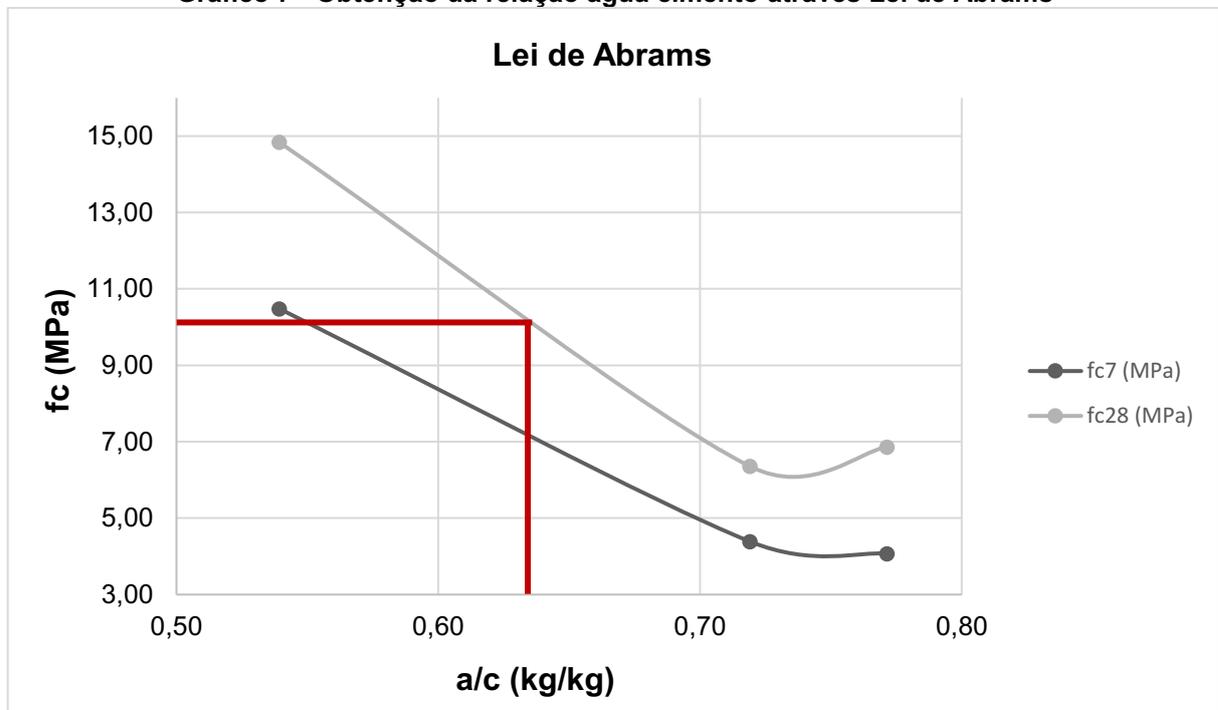
Tendo um concreto de 10 MPa e um *slump* de 80 ± 10 mm, para a produção de 15 m<sup>2</sup> de área uma calçada com espessura de 10 cm, foram calculados o consumo

de cimento e de materiais, e qual o gasto em reais para produzir essa estrutura, através da utilização da Tabela de Composições e Preço para Orçamentos e dos estudos de dosagem pelo método IPT/EPUSP.

#### 4.5.1 Relação água cimento, teor de agregados e consumo de cimento

Inicialmente, através dos Gráficos 4, 5 e 6, os quais representam o comportamento e características do concreto obtido com utilização do RCC, podemos adquirir a relação água cimento, massa dos agregados e consumo de cimento, fixando a resistência requerida, conforme os Gráficos 7, 8 e 9.

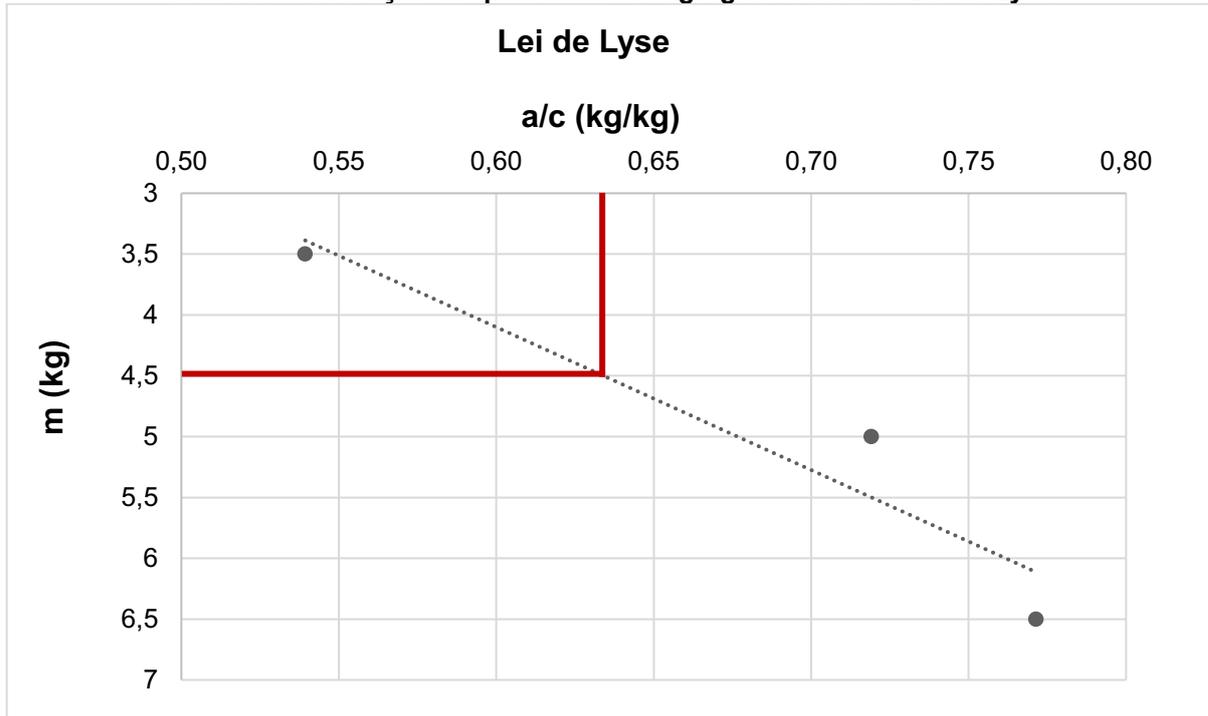
**Gráfico 7 - Obtenção da relação água cimento através Lei de Abrams**



Fonte: Autoria própria (2022)

Para o  $f_{c28}$  de 10 MPa, podemos encontrar a relação água cimento de 0,63.

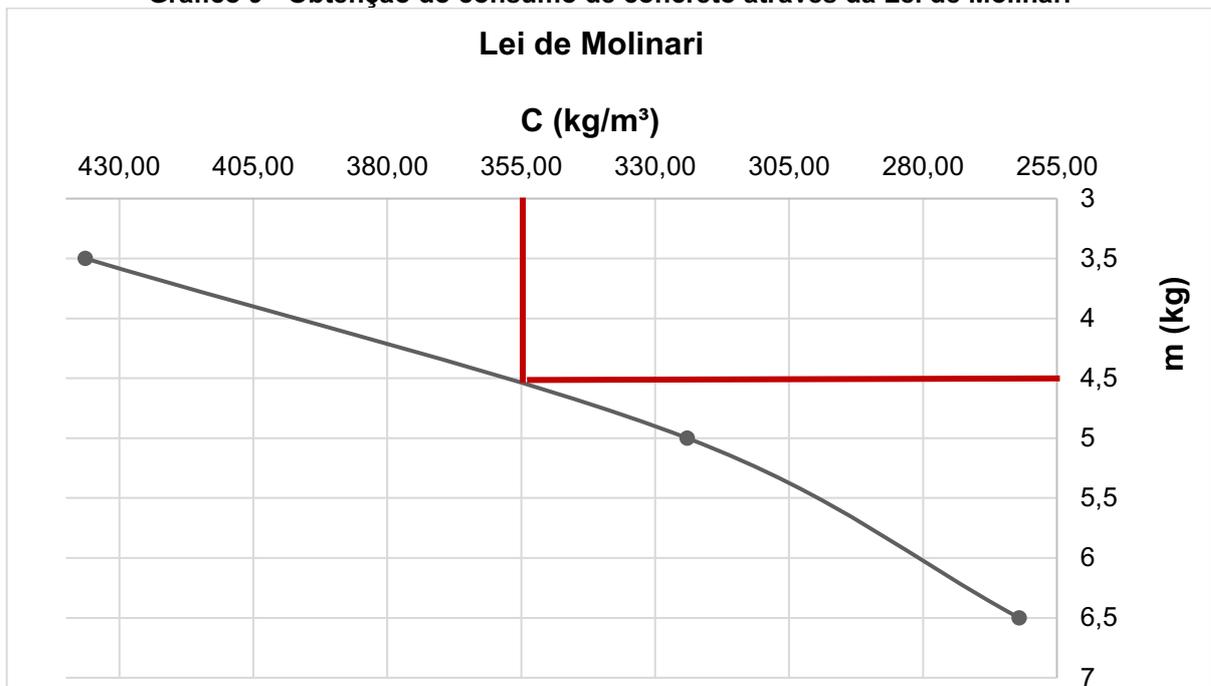
Gráfico 8 - Obtenção da quantidade de agregados através Lei de Lyse



Fonte: Autoria própria (2022)

Portanto, para uma relação água cimento de 0,63, obtemos que relação agregados secos é de 4,5 kg.

Gráfico 9 - Obtenção do consumo de concreto através da Lei de Molinari



Fonte: Autoria própria (2022)

Com a relação agregados secos de 4,5 kg, o consumo de cimento para um concreto de 10 MPa resultou em 355,00 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.5.2 Traço e quantidade de materiais

Com os valores obtidos através dos gráficos das leis de comportamento do método de dosagem IPT, juntamente com a utilização da tabela de cálculos dos traços, podemos calcular a quantidade de materiais totais em quilogramas para a fabricação de 1,5 m<sup>3</sup> de calçada, conforme apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17 - Quantidade de materiais para a fabricação da calçada**

		Traço 1:4,5								
Quantidade de RCC (kg)		Agregados totais (RCC e miúdos)							4,5	
Teor de Argamassa α (%)	Traço			Quantidade de cimento (kg)		Quantidade de areia (kg)		Quantidade de água (kg)		
	1	a	p	Massa total	Acréscimo de cimento	Massa total	Acréscimo de areia	Massa total	Acréscimo de água	Relação a/c
35	1	0,93	3,58	<b>534,23</b>	-	<b>494,16</b>	-	<b>336,56</b>	-	0,63
37	1	1,04	3,47	<b>551,19</b>	16,96	<b>570,48</b>	76,32	<b>336,76</b>	0,20	0,61
39	1	1,15	3,36	<b>569,26</b>	18,07	<b>651,80</b>	81,32	<b>336,96</b>	0,20	0,59
41	1	1,26	3,25	<b>588,55</b>	19,30	<b>738,64</b>	86,84	<b>337,16</b>	0,20	0,57
43	1	1,37	3,14	<b>609,21</b>	20,65	<b>831,57</b>	92,93	<b>337,36</b>	0,20	0,55
45	1	1,48	3,03	<b>631,36</b>	22,15	<b>931,25</b>	99,69	<b>337,56</b>	0,20	0,53
47	1	1,59	2,92	<b>655,18</b>	23,82	<b>1038,47</b>	107,21	<b>337,76</b>	0,20	0,52
49	1	1,70	2,81	<b>680,88</b>	25,69	<b>1154,09</b>	115,62	<b>337,96</b>	0,20	0,50
51	1	1,81	2,70	<b>708,67</b>	27,79	<b>1279,15</b>	125,06	<b>338,16</b>	0,20	0,48

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Portando, como a relação agregados secos no traço é de 4,5 kg e a relação água cimento obtida é de 0,63, a massa total de RCC, cimento, areia e água para a fabricação de 1,5 m<sup>3</sup> de um calçada com concreto de 10 MPa é de 1909,86 kg, 534,23 kg, 494,16 kg e 336,56 kg, respectivamente.

#### 4.5.3 Composição de preços

Após os cálculos do consumo de materiais para um volume de 1,5 m<sup>3</sup> de concreto, foram realizados os estudos da composição e análise de preços com a utilização da TCPO, a qual apresenta uma quantidade de preços de referência para diversos insumos. A análise da composição foi realizada apenas do ponto de vista dos materiais, sem levar em consideração a mão de obra para a realização do serviço. Inicialmente foram calculados os valores para o produção do concreto da calçada com a utilização das Britas 1 e 2, como é feito no concreto convencional, apresentados na Tabela 18.

**Tabela 18 - Composição de 1,5 m<sup>3</sup> de concreto não estrutural convencional**

<b>Código: 3R 04 24 00 00 00 15 33 - Serviço Composto - Concreto não estrutural, preparo com betoneira</b>							
<b>Código TCPO</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Classe</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Preço unitário sem taxas (R\$)</b>	<b>Total sem taxas (R\$)</b>	<b>Consumo</b>
2C0302021105	Areia média lavada	m <sup>3</sup>	MAT	0,667	136,92	139,04	1,02
2C0302030005	Brita 1	m <sup>3</sup>	MAT	0,263	157,73	62,22	0,39
2C0302030006	Brita 2	m <sup>3</sup>	MAT	0,615	149,3	137,73	0,92
2C0303021106	Cimento CP - 32	kg	MAT	220	0,75	247,50	330,00
						<b>Total dos itens, sem taxas (R\$):</b>	<b>587,73</b>

**Fonte: Adaptado TCPO (2022)**

Para a fabricação de 1,5 m<sup>3</sup> de concreto não estrutural convencional, com preparo na betoneira, foram gastos R\$ 587,73 em materiais, sem taxas.

Através da pesquisa de preço do RCC comercializado pela usina de reciclagem de Guarapuava – PR, constatamos que o seu valor de venda é de R\$ 45,00 por m<sup>3</sup>, assim, por meio da adaptação da TCPO, podemos calcular o preço da fabricação da calçada, com a utilização do resíduo em estudo, conforme apresentado na Tabela 19.

**Tabela 19 - Composição de 1,5 m<sup>3</sup> de concreto não estrutural com utilização do RCC**  
**Concreto fc=10 MPa, traço 1:0,93:3,58 - Preparo com utilização da betoneira elétrica 400L**

Descrição	un	Classe	Preço unitário sem taxas (R\$)	Material utilizado no traço de dosagem IPT	Total sem taxas (R\$)
Areia média lavada	m <sup>3</sup>	MAT	136,92	0,27	37,59
RCC da usina de reciclagem de Guarapuava - PR	m <sup>3</sup>	MAT	45,00	0,76	34,26
Cimento CP - 32	kg	MAT	0,75	534,23	400,67
				Total outros itens, sem taxas (R\$):	<b>472,52</b>

**Fonte: Adaptado da TCPO (2022)**

Para a fabricação de uma área de 15 m<sup>2</sup> de calçada contendo 10 cm de espessura, com a utilização do RCC comercializado na cidade de Guarapuava – PR, seria gasto R\$ 472,52 em materiais, sem taxas.

Consequentemente, a substituição das Britas 1 e 2 por RCC na fabricação de uma calçada de concreto, resultaria em uma economia de R\$ 115,21, ou seja, 19,60%.

#### **4.6 Comparações com o Método de Dosagem ABCP**

Com a utilização dos resultados obtidos por Santos (2022), o qual fez a utilização do método de dosagem ABCP para analisar o desempenho do concreto com a substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de cerâmica vermelha, podemos fazer uma análise referente a dosagens, traços e resistências à compressão obtidas, comparando com o método de dosagem IPT/EPUSP estudado.

##### **4.6.1 Dosagem e Traços**

Em relação a comparação das dosagens e traços, foram igualadas as quantidades de agregados graúdos totais utilizados na fabricação do concreto para os dois métodos, um estudo utilizando da substituição total do agregado graúdo por RCC, outro da substituição parcial por RCV.

Posteriormente, os traços rico, piloto e pobre obtidos pelo método IPT/EPUSP, foram comparados aos traços representados pelas porcentagens de substituição dos agregados graúdos por RCV do método ABCP, 5, 15 e 25%, respectivamente.

Por meio do Apêndice D, podemos verificar que a quantidade de cimento utilizada no traço do método ABCP é maior que a utilizada no IPT, o comportamento também se repete para a quantidade de água na mistura. Entretanto, para o agregado miúdo, a quantidade em quilogramas usada pelo método IPT é maior para os três traços, apresentando uma grande discrepância de valores entre os dois estudos.

Portando, obtendo inicialmente a mesma massa de agregado graúdo, a fabricação de concreto com a utilização do método de dosagem ABCP, resultaria em um maior consumo de cimento e água, podendo encarecer o material final obtido.

#### 4.6.2 Resistência à Compressão

Como para os dois estudos em comparativo foram realizados os ensaios de compressão, ambos no mesmo intervalo de tempo, somos capazes de fazer a analogia dos traços, rico, piloto e pobre do método de dosagem IPT/EPUSP, pelos traços com 5, 15 e 25% de substituição do agregado graúdo por resíduo de cerâmica vermelha, agora com as resistências à compressão ( $f_c$ ) para 7 e 28 dias após a fabricação dos concretos. Através da Tabela 20, podemos observar os valores obtidos para a resistência à compressão dos corpos de prova fabricados por meio dos métodos IPT/EPUSP e ABCP.

**Tabela 20 - Comparação de resistências para os métodos IPT e ABCP**

**(continua)**

Comparação das resistências à compressão							
Concreto com substituição de 100% do agregado graúdo por RCC				Concreto com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de cerâmica vermelha			
Traço	Corpo de prova	$f_{c7}$ (MPa)	$f_{c28}$ (MPa)	Porcentagem da substituição	Corpo de prova	$f_{c7}$ (MPa)	$f_{c28}$ (MPa)
Rico	1	10,36	12,01	5%	1	17,06	28,29
	2	10,67	14,98		2	16,16	21,55
	3	10,40	14,70		3	14,86	25,87

**Tabela 20 - Comparação de resistências para os métodos IPT e ABCP  
(conclusão)**

<b>Comparação das resistências à compressão</b>							
<b>Concreto com substituição de 100% do agregado graúdo por RCC</b>				<b>Concreto com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de cerâmica vermelha</b>			
<b>Traço</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>fc<sub>7</sub> (MPa)</b>	<b>fc<sub>28</sub> (MPa)</b>	<b>Porcentagem da substituição</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>fc<sub>7</sub> (MPa)</b>	<b>fc<sub>28</sub> (MPa)</b>
Piloto	1	4,71	7,51	15%	1	18,41	21,40
	2	4,05	6,24		2	14,93	16,03
	3	4,41	6,48		3	24,59	19,00
Pobre	1	3,41	7,17	25%	1	15,08	19,85
	2	4,15	6,86		2	12,13	27,71
	3	4,00	4,78		3	11,78	15,61

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Por meio do comparativo, podemos observar que os valores da resistência à compressão dos corpos de prova fabricados pelo método ABCP são significativamente maiores que aqueles obtidos pelo método IPT, devido ao uso de maior quantidade de cimento e de agregados naturais na mistura, sendo recomendada a sua aplicação quando a estrutura a ser construída demandar de uma maior resistência aos esforços submetidos.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio dos estudos dos materiais utilizados, evidenciando o RCC, ensaios laboratoriais, cálculos de dosagem, comparativos, estudo de aplicação e análise econômica, foram observados os comportamentos de um concreto não estrutural, com a substituição do agregado graúdo por agregado reciclado, a fim de analisar e identificar as suas características e viabilidade de utilização.

Por meio dos estudos realizados, a utilização do concreto com RCC é viável em estruturas e elementos que não sofram esforços elevados, como calçadas, blocos pré-moldados utilizados como meio fio, visto que as resistências à compressão obtidas são significativamente inferiores às resistidas por concretos convencionais que utilizam a brita como agregado graúdo, evidenciando a proposta inicial da aplicação em elementos não estruturais.

O método de dosagem do concreto IPT/EPUSP utilizado se mostrou eficiente ao decorrer dos estudos por ser de fácil entendimento e por estabelecer parâmetros iniciais para a obtenção do melhor traço, a fim de conseguir a melhor proporção entre os agregados e a menor quantidade de água na mistura. Além disso, como a quantidade de água é adicionada conforme o aumento do teor de argamassa, o ajuste da proporção desse material ocorre de maneira simples, e associado às planilhas eletrônicas, qualquer alteração nos cálculos geram novos resultados de maneira imediata.

Após a fabricação dos concretos dos três traços e do alcance dos resultados laboratoriais, foi observado que a obtenção do diagrama de dosagem do concreto, contendo nos três quadrantes as “leis de comportamento”, facilita o desenvolvimento de estudos futuros, já que apresenta de forma gráfica as características do concreto antes mesmo da sua fabricação, possibilitando uma maior exatidão da quantidade de materiais, resistências e comportamentos requeridos.

Em comparação com o método de dosagem ABCP, comumente utilizado, observa-se que esse faz uso de tabelas obtidas através de valores médios de materiais, dificultando a adequação para diferentes materiais das regiões de onde o concreto será fabricado, o qual resultaria em uma diferenciação na execução dos traços, necessitando ajustes durante a sua confecção.

Dessa forma, o emprego do método de dosagem IPT/EPUSP apresentou diversas vantagens, pelo fato da fixação inicial de parâmetros e comportamentos

esperados no concreto, pelo uso em conjunto com as planilhas eletrônicas, facilitando os cálculos e pela obtenção do diagrama de dosagem dos concretos, contribuindo com estudos posteriores.

Apesar do RCC apresentar características e comportamentos heterogêneos, devido a diversidade de materiais encontrados na mistura, as propriedades do concreto final puderam ser observadas de forma semelhante às daquelas do concreto fabricado convencionalmente.

Para o concreto no estado fresco, quando atingido o teor de argamassa ideal do traço e mediante a estudos visuais, a mistura apresentou uma trabalhabilidade conforme as características esperadas inicialmente, sem a ocorrência de segregação dos componentes da mistura. Da mesma forma, com a realização do ensaio do abatimento de cone, notou-se uma consistência com valores dentro do intervalo inicialmente proposto por meio valores normativos. Por fim, a mistura final dos componentes do concreto se mostrou homogênea, com o total envolvimento do RCC pela pasta de cimento.

A caracterização do concreto no estudo endurecido foi realizada a partir do ensaio de resistência à compressão, onde notou-se que a maior resistência média suportada foi de 14,84 MPa para o traço rico, 28 dias após a fabricação do concreto.

Através da análise econômica, para a fabricação de uma calçada com um volume total de 1,5 m<sup>3</sup> de concreto, a utilização do RCC resultou em uma economia de mais de 19% em relação ao uso concreto convencional. Além disso, como a venda do resíduo em Guarapuava – PR acontece diretamente na usina da cidade, a compra do material resulta na diminuição de RCC presente nesse local.

Conseqüentemente, a incorporação do RCC no concreto se mostrou vantajoso em vários aspectos como: baratear o custo da obra por meio da redução da compra de agregados graúdos, reduzindo o consumo de recursos naturais, diminuição da quantidade do material nas usinas de reciclagem, disseminação e aumento de estudos com a utilização do RCC nas obras.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16917: Agregado graúdo – Determinação de densidade e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738: Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953: Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABRECON. **Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil**. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/#:~:text=Brasileiro%20produz%20por%20ano%20meia%20tonelada%20de%20res%C3%ADduos%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil,-por%20luciano&text=Hewerton%20Bartoli%2C%20vice->>

presidente%20da,n%C3%A3o%20reciclar%20materiais%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o.>. Acesso em: 1 nov. 2021.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira, 2002.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos**. São Paulo, 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama 2020**.

BAZAZ, Jafar Bolouri; KHAYATI, Mahmood; AKRAMI, Navid. **Performance of concrete produced with crushed bricks as the coarse and fine aggregate**. In: The Geological Society of London. 2006.

BILYK, M. **Gerenciamento de resíduos da construção civil no município de Guarapuava – PR: Percepção de Gestores de Obras**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.

BOGGIO, Aldo J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. 2000.

BORHAN, Tumadhir. **Effect of Using Recycled Lightweight Aggregate on the Properties of Concrete**. Journal of Babylon University/Engineering Sciences, n. 2, p. 2015. Disponível em: [http://qu.edu.iq/eng/wp-content/uploads/2016/02/uobj\\_paper\\_2015\\_81045942.pdf](http://qu.edu.iq/eng/wp-content/uploads/2016/02/uobj_paper_2015_81045942.pdf). Acesso em: 1 nov. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002**. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002\\_Res\\_CONAMA\\_307.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf). Acesso em: 1 nov. 2021.

BRASIL. **L12305**. Planalto.gov.br. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 25 nov. 2021.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178–189, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2020.

CARVALHO, R. C; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de Concreto Armado: Segundo NBR 6118:2003**. 3. ed. São Carlos: EdUFScar, 2013. p.26

CORRÊIA, Adailton Estevão; SOUZA, Dayane Priscila Bicalho de. **Avaliação Da Resistência A Compressão Do Concreto Através De Testemunhos Extraídos De Construções Na Cidade Caratinga-Mg**. 2014.

DOS SANTOS, JULIANE. **Análise de desempenho do concreto com a substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de cerâmica vermelha.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2022.

FAGUNDES, Leonardo; FAGUNDES, Leonardo; SÉRGIO CIRELLI ANGULO; et al. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237311662\\_A\\_reciclagem\\_de\\_residuos\\_de\\_construcao\\_e\\_demolicao\\_no\\_Brasil\\_1986-2008](https://www.researchgate.net/publication/237311662_A_reciclagem_de_residuos_de_construcao_e_demolicao_no_Brasil_1986-2008). Acesso em: 25 nov. 2021.

FILHO, R. P.; CHIAVINI, P. P. R.; CIMINO, R. J. P.; GUIMARÃES, S. A. V. **Gestão de resíduos da construção civil e demolição no município de São Paulo e normas existentes.** 2007. Acesso em: 29 de nov. 2021.

FROTTÉ, Camila; NUBILA, Clarisse Sophia Alejandra Di; NAGALLI, André; et al. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD.** 2017.

GONZÁLEZ, J.S.; GAYARRE, F.L.; PÉREZ, C.L.C.; ROS, P.S.; LÓPEZ M.A.S. **Influence of recycled brick aggregates on properties of structural concrete for manufacturing precast prestressed beams.** *Construction and Building Materials*. 2017.

HANSEN, T. C.; NARUD, H. Strength of recycled made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International*, v5. N. 1, p. 79-83, 1983.

JOHN, Vanderley M. **Aproveitamento de Resíduos Sólidos como Materiais de Construção.** Disponível em: [https://www.pick-upau.org.br/mundo/reciclagem\\_entulho/capitulo\\_01.pdf](https://www.pick-upau.org.br/mundo/reciclagem_entulho/capitulo_01.pdf). Acesso em: 1 nov. 2021.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001.

MARTINS, A.S.F.D.S; MAIA FILHO, H. M. **Verificação da resistência do concreto in loco: métodos de ensaios mais usuais.** *Vetor*, v. 25, n. 2, p. 25-40, 2015.

MUELLER, A. **Closed Loop of Concrete Rubble?** Bauhaus Universitat Weimar. 2007. Disponível em: [www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Lehre/Gastvorlesung/Barcelona/Lecture07.pdf](http://www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Lehre/Gastvorlesung/Barcelona/Lecture07.pdf). Acesso em 25 de nov. 2021.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** 1ª ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2014.

PAIVA FILHO, Julio Cesar de. **Análise da resistência à compressão e consistência de concreto produzido com brita calcária e aditivo plastificante.** 2017.

PGIRS – **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo.** Prefeitura do Município de São Paulo. São Paulo, 2014.

RAO, Akash; JHA, Kumar N.; MISRA, Sudhir. **Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 1, p. 71–81, 2007. Disponível em: [www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344906001315](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344906001315). Acesso em: 25 nov. 2021.

RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências. **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, p. 76-97, 2006.

RCD. Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, n. 2, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/4mZ9PFnw7vf4FGZyh8yZVXm/?lang=pt>. Acesso em: 8 nov. 2021.

ROUSSAT, Nicolas et al. **Leaching behaviour of hazardous demolition waste**. Waste management, v. 28, n. 11, p. 2032-2040, 2008.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production**. Construction and Building Materials, v. 65, p. 201-217, 2014.

SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedades do concreto fresco**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000.

TAM, Vivian W.Y.; SOOMRO, Mahfooz; EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017)**. Construction and Building Materials, v. 172, p. 272–292, 2018.

TCPOweb PINI - **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. Pini.com.br. Disponível em: <https://tcpoweb.pini.com.br/home/home.aspx>

TORALLES, Berenice Martins et al. Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 10, n. 1, p. páginas 184-198, 2018.

TULIO, Franciele B.; MACHADO, Lucio M. B. **A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil**. Atena Editora. 2020.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. 2011.

ZORDAN, Sergio. **A UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO, NA CONFECÇÃO DO CONCRETO**. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/entulho-como-agregado-concreto.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2021.

## **APÊNCIDE A - Traço rico**

Rico - traço 1:3,5

Quantidade de RCC (kg)		12		12		12			
Teor de Argamassa α (%)	Traço	Quantidade de cimento (kg)		Quantidade de areia (kg)		Quantidade de água (kg)		Abatimento (cm)	Observações
		Massa total	Acréscimo de cimento	Massa total	Acréscimo de areia	Massa total	Acréscimo de água		
45	1 :a :p 1,03 2,48	4,85	0,17	4,97	0,60	2,42	-	0,50	agregados separados, sem realização de slump
47	1 :a :p 1,12 2,39	5,03	0,18	5,61	0,64	2,62	-	0,52	agregados separados, sem realização de slump
49	1 :a :p 1,21 2,30	5,23	0,20	6,30	0,69	2,82	9,00	0,54	coeso, melhor resultado, foi realizado o slump
51	1 :a :p 1,30 2,21	5,44	0,21	7,05	0,75	3,02	-	0,55	muito fluido, muita quantidade de água

## **APÊNCIDE B - Traço piloto**

Piloto - traço 1:5

Quantidade de RCC (kg)		12		12		Quantidade de RCC (kg)		12		
Teor de Argamassa $\alpha$ (%)	Traço	Quantidade de cimento (kg)		Quantidade de areia (kg)		Quantidade de água (kg)		Abatimento (cm)	Observações	
		Massa total	Acréscimo de cimento	Massa total	Acréscimo de areia	Massa total	Acréscimo de água			Relação a/c
1	:a :p									
45	1 1,70	3,30	3,64	0,13	6,18	0,64	1,82	-	0,50	agregados separados, sem realização de slump
47	1 1,82	3,18	3,77	0,14	6,87	0,69	2,02	-	0,54	agregados separados, sem realização de slump
49	1 1,94	3,06	3,92	0,15	7,61	0,74	2,82	8,00	0,72	coeso, melhor resultado, foi realizado o slump
51	1 2,06	2,94	4,08	0,16	8,41	0,80	3,02	-	0,74	muito fluido, muita quantidade de água

**APÊNCIDE C - Traço pobre**

**Pobre - traço 1:6,5**

		Quantidade de RCC (kg)				Quantidade de RCC (kg)				12			
		Traço		Quantidade de cimento (kg)		Quantidade de areia (kg)		Quantidade de água (kg)		Abatimento (cm)		Observações	
Teor de Argamassa α (%)		:a	:p	Massa total	Acréscimo de cimento	Massa total	Acréscimo de areia	Massa total	Acréscimo de água	Relação a/c			
45	1	2,38	4,13	<b>2,91</b>	0,10	<b>6,91</b>	0,66	<b>1,45</b>	-	0,50	-		agregados separados, sem realização de slump
47	1	2,53	3,98	<b>3,02</b>	0,11	<b>7,62</b>	0,71	<b>1,65</b>	0,20	0,55	-		agregados separados, sem realização de slump
49	1	2,68	3,83	<b>3,14</b>	0,12	<b>8,39</b>	0,77	<b>2,42</b>	0,20	0,77	7,50		coeso, melhor resultado, foi realizado o slump
51	1	2,83	3,68	<b>3,27</b>	0,13	<b>9,22</b>	0,83	<b>2,62</b>	0,20	0,80	-		muito fluido, muita quantidade de água

## **APÊNCIDE D - Comparação dos traços**

Comparação da quantidade de materiais nos dois métodos de dosagem

IPT/EPUSP

ABCP

	Traço cimento: areia: RCC	Massa total de cimento (kg)	Massa total de areia (kg)	Massa total de RCC (kg)	Massa total de água (kg)	Porcentagem de substituição	Traço cimento: areia: brita: RCV: água	Massa total de cimento (kg)	Massa total de areia (kg)	Massa total de brita (kg)	Massa total de RCV (kg)	Massa total de água (kg)
Rico	<b>1: 1,21: 2,30</b>	10,3	12,41	23,64	5,18	5%	<b>1: 0,923: 1,795: 0,062: 0,430</b>	12,73	11,754	22,85	0,789	5,474 + 100ml
Piloto	<b>1: 1,94: 3,06</b>	7,45	14,46	22,81	3,86	15%	<b>1: 0,914: 1,606: 0,186: 0,430</b>	12,73	11,637	20,445	2,367	5,474 + 350ml
Pobre	<b>1: 2,68 :3,83</b>	5,75	15,38	21,99	3,06	25%	<b>1: 0,905: 1,417: 0,3100: 0,430</b>	12,73	11,52	18,04	3,946	5,474